Cátedra Doctoral | 13

Educación en ciencias y matemáticas: contextos, desafíos y oportunidades

Diana Lineth Parga Lozano
Pedro Nel Zapata Castañeda
Rosa Nidia Tuay-Sigua

Edición académica

UNIVERSIDAD PEDAGOGICA NACIONAL
Educadora de educadores

Doctorado Interinstitucional en Educación DIE
Universidad del Valle | UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS | UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL

CÁTEDRA DOCTORAL

Educación en ciencias y matemáticas: contextos, desafíos y oportunidades

Adolfo León Atehortúa Cruz
Rector (E)

Magda Patricia Bogotá Barrera
Vicerrectora de Gestión Universitaria

Jairo Alejandro Fernández
Vicerrector Académico

Yaneth Romera Coca
Vicerrectora Administrativa y Financiera

Gina Paola Zambrano Ramírez
Secretaria General

Carlos Ernesto Noguera Ramírez
Coordinador Doctorado Interinstitucional en Educación

Todos los derechos reservados

Ángel Daniel López y Mota,
Claudia Salazar Amaya,
Diana Lineth Parga Lozano,
Edgar Alberto Guacaneme Suárez,
Édgar Orlay Valbuena Ussa,
Fidel Antonio Cárdenas Salgado,
Irma Catherine Bernal Castro,
Isabel Garzón Barragán,
Jenny Johanna Duarte Díaz,
Julio Alejandro Castro Moreno,
Leonardo Fabio Martínez Pérez,
Leonor Camargo Uribe,
Libia Stella Niño Zafra,
Luz Amelia Hoyos Cuartas,
María Rocío Pérez Mesa,
Óscar Javier Molina Jaime,
Pedro Nel Zapata Castañeda,
Pedro Rocha dos Reis,
Rosa Nidia Tuay-Sigua,
William Manuel Mora Penagos,
Yair Alexander Porras Contreras
© Universidad Pedagógica Nacional

Primera edición: Bogotá, 2024

ISBN impreso: 978-628-7651-66-1
ISBN PDF: 978-628-7651-68-5
ISBN ePub: 978-628-7651-67-8

Colección: Cátedra Doctoral - n.º 13
Educación en ciencias y matemáticas: contextos, desafíos y oportunidades

Hecho el depósito legal que ordena la Ley 44 de 1993 y decreto reglamentario 460 de 1995.

Universidad Pedagógica Nacional
Carrera 16A n.º 79 - 08
editorial.upn.edu.co
Teléfono: (57 601) 594 1894
Bogotá, Colombia

Preparación editorial
Universidad Pedagógica Nacional
Grupo Interno de Trabajo Editorial

Alba Lucía Bernal Cerquera
Coordinación

Maritza Ramírez Ramos
Edición

Felipe Chavarro
Corrección de estilo

Fredy Johan Espitia B.
Diagramación

Mauricio Esteban Suárez Barrera
Diseño de cubierta

Impresión
Estudio 45-8 S.A.S.

Fechas de evaluación:
06-04-2023/30-04-2023

Fecha de aprobación:
25-11-2022

Esta publicación puede ser distribuida, copiada y exhibida por terceros si se muestra en los créditos. No se puede obtener ningún beneficio comercial. No se pueden realizar obras derivadas.

Diana Lineth Parga Lozano
Pedro Nel Zapata Castañeda
Rosa Nidia Tuay-Sigua

Edición académica

CÁTEDRA DOCTORAL

Educación en ciencias y matemáticas: contextos, desafíos y oportunidades

UNIVERSIDAD PEDAGOGICA NACIONAL
Educadora de educadores

Doctorado Interinstitucional en Educación DIE
Universidad del Valle · Universidad Distrital Francisco José de Caldas · Universidad Pedagógica Nacional

Catalogación en la fuente - Biblioteca Central de la Universidad Pedagógica Nacional

Educación en ciencias y matemáticas: contextos, desafíos y oportunidades / Diana Lineth Parga, Pedro Nel Zapata, Rosa Nidia Tuay y dieciocho autores más. – Primera edición. – Bogotá: Universidad Pedagógica Nacional, 2024.
468 páginas.

Incluye: Referencias bibliográficas al final de cada capítulo
Incluye: Índice temático y onomástico.

ISBN: 978-628-7651-66-1 (impreso)
ISBN: 978-628-7651-68-5 (PDF)
ISBN: 978-628-7651-67-8 (Epub)

1. Sociología de la Educación. 2. Educación – Evaluación. 3. Medio Ambiente - Educación. 4. Formación Profesional de Maestros. 5. Investigación Social. 6. Política Educativas – Colombia. 7. Desarrollo Social. 8. Programas Académicos – Evaluación – Colombia. 9. Filosofía de la Educación. 10. Educación – Investigaciones – Colombia. 11. Currículo. 12. Conocimiento Científico. 13. Enseñanza – Aprendizaje.

370.11 21ed.

ÍNDICE

PRÓLOGO 15

INTRODUCCIÓN 25

CAPÍTULO 1.
DE LAS IDEAS PREVIAS A LOS MODELOS
Y LA MODELIZACIÓN: ESTADO Y DESAFÍOS 37
Ángel Daniel López y Mota

CAPÍTULO 2.
UNA EDUCACIÓN EN CIENCIAS FILOSÓFICAMENTE
FUNDAMENTADA PARA AFRONTAR TIEMPOS DE PANDEMIA:
EL CASO DE LAS VACUNAS CONTRA LA COVID-19 67
Irma Catherine Bernal Castro y Julio Alejandro Castro Moreno

CAPÍTULO 3.
RELEVANCIA DE LA EDUCACIÓN CIENTÍFICA
EN CONTEXTOS COLOMBIANOS 103
Yair Alexander Porras Contreras, María Rocío Pérez Mesa
y Rosa Nidia Tuay-Sigua

CAPÍTULO 4.
LA EDUCACIÓN EN CIENCIAS EN EL CONTEXTO
DE LA EDUCACIÓN MEDIADA POR TIC: CRISIS,
RETOS Y OPORTUNIDADES 121
Pedro Nel Zapata Castañeda

CAPÍTULO 5.
LA EDUCACIÓN EN CIENCIAS
PARA LA TRANSFORMACIÓN SOCIAL 143
Pedro Rocha dos Reis

CAPÍTULO 6.
ARTICULACIÓN ENTRE EDUCACIÓN AMBIENTAL
Y EDUCACIÓN EN CIENCIAS EN ESCENARIOS
DE CAMBIO GLOBAL: APORTES A UNA EDUCACIÓN
RESILIENTE POS-SOSTENIBILIDAD DESDE UNA DIDÁCTICA
CENTRADA EN CUESTIONES SOCIOAMBIENTALES 169
William Manuel Mora Penagos

CAPÍTULO 7.
MECANISMOS DE AMBIENTALIZACIÓN
EN LA EDUCACIÓN EN CIENCIAS. EL CASO
DE LA EDUCACIÓN QUÍMICA EN INTERACCIÓN CON
LA EDUCACIÓN PARA LA SUSTENTABILIDAD AMBIENTAL 201
Diana Lineth Parga Lozano

CAPÍTULO 8.
LA EDUCACIÓN AMBIENTAL EN LA ESCUELA.
APORTES DESDE EL CONOCIMIENTO DEL PROFESOR 231
Jenny Johanna Duarte Díaz y Édgar Orlay Valbuena Ussa

CAPÍTULO 9.
PERSPECTIVAS DE IDENTIDAD AMBIENTAL
EN LOS CONTEXTOS EDUCATIVOS ESCOLARES.
APORTES DE PROFESORES EN SERVICIO 253
María Rocío Pérez Mesa y Yair Alexander Porras Contreras

CAPÍTULO 10.
ARTICULANDO LA EDUCACIÓN EN CIENCIAS
Y LA FORMACIÓN ECOCIUDADANA DESDE
EL ENFOQUE DE LAS CAPACIDADES HUMANAS 273
Isabel Garzón Barragán

CAPÍTULO 11.
ABORDAJE DE CUESTIONES SOCIOCIENTÍFICAS
PARA LA SUSTENTABILIDAD AMBIENTAL 307
Leonardo Fabio Martínez Pérez

CAPÍTULO 12.
EVALUACIÓN Y ESTANDARIZACIÓN: RELACIÓN DE LAS PRUEBAS EXTERNAS CON LAS DE AULA. EXPERIENCIAS EN EL ÁREA DE CIENCIAS NATURALES 325
Libia Stella Niño Zafra

CAPÍTULO 13.
ALINEAMIENTO CONSTRUCTIVO Y EVALUACIÓN AUTÉNTICA: ORIENTACIONES TEÓRICAS COMPLEMENTARIAS PARA LA ENSEÑANZA DE LA QUÍMICA 343
Fidel Antonio Cárdenas Salgado

CAPÍTULO 14.
EL DESAFÍO DE LA FORMACIÓN DE PROFESORES DE MATEMÁTICAS EN RELACIÓN CON LOS PROCESOS MATEMÁTICOS: EL CASO DE LA ARGUMENTACIÓN 363
Óscar Javier Molina Jaime y Leonor Camargo Uribe

CAPÍTULO 15.
ASPECTOS ESENCIALES EN LA CONSTITUCIÓN DE LA IDENTIDAD DEL PROFESOR DE MATEMÁTICAS COMO OPORTUNIDADES Y RETOS PARA LA FORMACIÓN 395
Edgar Alberto Guacaneme Suárez y Claudia Salazar Amaya

CAPÍTULO 16.
EL DEPORTE COMO DISCIPLINA CIENTÍFICA Y SU ENSEÑABILIDAD 423
Luz Amelia Hoyos Cuartas

SOBRE LOS AUTORES 439

ÍNDICE TEMÁTICO 451

ÍNDICE ONOMÁSTICO 457

LISTA DE TABLAS

Tabla 2.1. Ventajas y desventajas de las plataformas de producción de vacunas contra la covid-19 85

Tabla 3.1. Comparativa instrumental del proyecto rose 2000 vs. el proyecto roses 2020 106

Tabla 3.2. Índices de acuerdo de estudiantes colombianos (n = 163) 113

Tabla 6.1. Desarrollismo, sostenibilidad y sustentabilidad 172

Tabla 6.2. Problemas para superar y principios para educar en el Antropoceno 175

Tabla 6.3. Líneas de investigación en educación ambiental 186

Tabla 6.4. Diferencias y similitudes entre CTSA, CSC y CSV 191

Tabla 6.5. Contraste entre las cuestiones sociocientíficas y cuestiones socioambientales 192

Tabla 7.1. Características de la sostenibilidad como táctica o principio 214

Tabla 7.2. Formas de entender la EDS a partir de la educación química 216

Tabla 7.3. Perspectivas de aprendizaje a partir de la EDS 218

Tabla 7.4. Evolución de enfoques del currículo 220

Tabla 8.1. Matriz de articulación de los ejes DOC de los elementos potenciadores del CDCEA desde el caso de Samuel e Isabella 245

Tabla 9.1. Frecuencia de evocación de las palabras 261

Tabla 9.2. Organización de las palabras evocadas mediante software EVOC/2005 262

Tabla 9.3. Dimensión ética de la identidad ambiental 264

Tabla 9.4. Dimensión epistémica de la identidad ambiental 265

Tabla 9.5. Dimensión afectiva de la identidad ambiental 266

Tabla 9.6. Dimensión educativa de la identidad ambiental 267

Tabla 9.7. Dimensión política de la identidad ambiental 268

Tabla 10.1. Diez capacidades centrales que definen el nivel de umbral que se debe procurar a todos los ciudadanos de una nación con justicia social aceptable 291

Tabla 10.2. Tres capacidades propuestas por Nussbaum (2006) para una eco-ciudadanía democrática 300

Tabla 14.1. Síntesis de las posturas sobre argumentación 369

Tabla 14.2. Descripción de tareas de formación profesional 386

Tabla 14.3. Ejemplo de tareas para la formación profesional sobre argumento 387

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1. Modelo de reconstrucción educativa 51

Figura 1.2. Dimensiones por considerar en el diseño y validación de secuencias didácticas para el caso de modelos/modelización 53

Figura 1.3. Modelo ONEPSI para la construcción y reconstrucción de modelos mentales 57

Figura 2.1. ¿De dónde provino el SARS-CoV-2? Posible origen zoonótico 79

Figura 2.2. Componentes de las vacunas 82

Figura 2.3. Producción de una vacuna a base de ARNm 86

Figura 3.1. Porcentaje de participantes colombianos por género 111

Figura 6.1. Ciencia posnormal y cambio climático 181

Figura 7.1. Transición de la ambientalización: de E2QV a E2Q-E2DS 212

Figura 7.2. Principios de una educación en ciencias para la sustentabilidad ambiental 222

Figura 9.1. Estructura de la representación social 260

Figura 9.2. Dimensiones de la identidad ambiental 263

Figura 10.1. Desarrollo de competencias a lo largo de los niveles educativos 283

Figura 10.2. Diagrama de las capacidades humanas de acuerdo al enfoque de las capacidades 287

Figura 10.3. Tasa de desempleo en 23 ciudades y áreas metropolitanas (noviembre 2021-noviembre 2022) 289

Figura 11.1. Etapas de evolución histórica enseñanza de las ciencias (EC) con enfoque CTSA en contraste con el marco político y normativo del desarrollo histórico de la educación ambiental (EA) 314

Figura 14.1. Modelo básico de argumento 371

Figura 14.2. Representación de la situación sobre la que surge una interacción 372

Figura 14.3 Argumento 1 del ejemplo 374

Figura 14.4. Argumento 2 del ejemplo 374

Figura 14.5. Esquema de un argumento deductivo 376

Figura 14.6. Esquema para argumento inductivo 377

Figura 14.7. Esquema para argumento inductivo 378

Figura 14.8. Esquema para argumento deductivo 379

Figura 14.9. Esquema de argumento abductivo teórico 380

Figura 14.10. Esquema de argumento abductivo creativo 381

Figura 14.11. Esquema para ejemplo de argumento abductivo teórico y esquema para ejemplo de argumento abductivo creativo 381

PRÓLOGO

Educação, conhecimento, formação, qualificação académica, ciência, tecnologia, cultura são termos carregados de conceitos, aos quais todos nós atribuímos significados que, podendo ser diferentes, não nos impedem de comunicar e de confrontar ideias. Refletir sobre o que pensamos e o modo como valorizamos opiniões, nossas e de outros, é algo que nos acompanha e desafia de forma continuada.

Este é um livro escrito por académicos para outros académicos, alguns em formação, pejado de conceitos e saberes provenientes de trabalho científico de várias áreas de conhecimento, cujo interesse se estende para além daqueles e daquelas que foram os destinatários das conferências integrantes da XVII Cátedra Doutoral em Educação, inserida no Doutoramento Interinstitucional em Educação sediado na Universidade Pedagógica Nacional (Colômbia), nesta edição com ênfase na Educação em Ciências. Ao longo deste texto abordaremos, ainda que de forma sumária, como se organizam hoje as universidades para preparar cientistas de diversas áreas, os autores do conhecimento científico produzido e de valor inquestionável para a resolução de muitos problemas, uns já identificados, outros ainda não conhecidos. A comunidade científica vai muito além dos cientistas premiados, nos mais diversos *fora*, com destaque máximo para os Prémios Nobel. Ninguém ignora a importância crucial desse galardão, embora muito poucos compreendam a natureza dos estudos premiados e a essência da descoberta ou invenção em destaque. Contudo, importa que todos saibam que esse conhecimento científico foi alcançado em trabalho de equipa, muitas delas ancoradas em equipas anteriores e ao longo de muitos anos.

A investigação científica tem hoje um lugar de relevo na sociedade, e mesmo quem não tem formação própria numa determinada área, não lhe nega o valor epistemológico intrínseco e, em consequência, o valor social. A investigação científica, enquanto atividade humana, é um bem público. Ser cientista hoje pode ser uma profissão e ser regulada por uma carreira, o que acontece em muitos países.

Estamos no início da terceira década do século XXI repleta de acontecimentos, alguns muito preocupantes, do foro social, económico, sanitário, bélico e ambiental, os quais representam grandes retrocessos relativamente a compromissos assumidos até no passado recente. Muitas das crianças de hoje entrarão no século XXII e poderão fazer o balanço do que se vier a passar ao longo das próximas décadas. O desenvolvimento científico e tecnológico irá crescer, mas os problemas gerados pela diminuição das matérias-primas disponíveis irão tornar-se mais gravosos para o planeta que habitamos, se a exploração desmesurada continuar a acontecer. As alterações climáticas previsíveis e as já constatáveis, consideradas por uns como devastações climáticas, estão a demonstrar a insustentabilidade do modo de vida das sociedades, com prejuízo maior para os mais carenciados e, por isso, mais débeis. Instituições internacionais como a UNESCO, OCDE, Nações Unidas, UE, OEI, têm alertado para a gravidade da situação e dos perigos, com impacto na educação, à escala mundial, que determinadas ações como o uso de armas nucleares, químicas e biológicas podem desencadear de forma irreversível. Sendo verdade que este arsenal foi conseguido à custa de conhecimento científico e tecnológico, importa consciencializarmo-nos de que o perigo está no seu uso, esse determinado pela vontade humana condicionada, muitas vezes, pelo poder político. Ética e Ciência deve ser um conhecimento académico desenvolvido em programas de formação para públicos generalizados, embora com aprofundamento orientado segundo os destinatários.

E COMO SE ORGANIZA A FORMAÇÃO DE CIENTISTAS?

Até à década de 1980 a formação superior foi predominantemente equacionada numa lógica de obtenção de um primeiro diploma de estudos superiores (bacharelato ou licenciatura) indispensável para aceder a algumas profissões, isto é, uma formação académica orientada *por* e *para* profissões. Por exemplo, ser médico, jurista,

arquiteto ou engenheiro exigia uma formação própria de raiz, o que, aliás, ainda se verifica. Ter um diploma atribuído por uma universidade acreditada é necessário para a inscrição na Ordem profissional respetiva, um requisito para o exercício da profissão. No entanto, com a globalização económica e social o acesso ao mercado de trabalho e consequente emprego passou a ser de livre circulação e as qualificações académicas, enquanto garantia de competências, constituem a mais-valia que permitirá a cada diplomado disputar o acesso a uma profissão, mudar de profissão ou criar o seu próprio emprego.

O Ensino Superior não se alheou desta nova orientação e tem vindo, de forma crescente, a assumir que a formação dos estudantes num ambiente internacional será uma via para melhorar a competitividade das instituições. A par de programas de mobilidade de estudantes e professores, as universidades europeias e não europeias começaram a incluir em vários cursos colaboração de professores de outras instituições nacionais e estrangeiras. Um novo passo foi dado com a criação de graus em parcerias interinstitucionais. As universidades podem organizar-se em consórcios para criar cursos de gestão conjunta, nos quais está prevista a mobilidade de estudantes e professores. O tipo de diplomas a atribuir pode seguir uma de duas vias. Grau duplo (ou múltiplo) conferido pelas instituições onde o estudante passou, nalguns casos necessitando de um número mínimo de créditos concluídos. Grau conjunto conferido por todas as instituições do consórcio, ainda que o estudante não tenha frequentado alguma delas. Este tipo de programas partilhados em consórcios tem merecido uma atenção muito especial por parte da União Europeia, envolvendo também universidades não europeias.

Apesar do interesse de muitas instituições pela internacionalização, com programas de mobilidade em prática, cada instituição deve esforçar-se por oferecer a todos os estudantes as competências necessárias para cada um deles obter sucesso no mundo global, mesmo que tal mobilidade não possa ser concretizada. O modelo associado a este propósito é designado por muitos como *internacionalização at-home.* Com efeito, a mobilidade física concentra-se num pequeno conjunto de países de proximidade geográfica e de prática de língua inglesa. Por exemplo, em 2015, na área da OCDE, apenas cerca de 5,6 % das matrículas a nível mundial representavam os estudantes em mobilidade internacional e na União Europeia o valor era de 7,5 %.

As universidades, nascidas na Europa há mais de oito séculos, são consideradas, apesar de diferenças reconhecidas, instituições promissoras para a sociedade do conhecimento, de onde saem aqueles e aquelas que virão a assumir posições de liderança na política, na economia, na ciência, na saúde, nas artes, nas humanidades e em muitas outras áreas. Contribuir para uma sociedade construtiva e tolerante foi apanágio do espírito universitário. Hoje espera-se também que as universidades, através de conhecimento gerado, consigam contribuir para a resolução de problemas, alguns de dimensão planetária. É hoje assumido por muitos decisores a importância da investigação fundamental e aplicada para transformar o conhecimento em inovação tecnológica e social. Problemas como as alterações climáticas, a crise energética, consequências do aumento da longevidade humana, a evolução rápida das tecnologias digitais, a inteligência artificial, a interdependência socioeconómica à escala mundial e as crescentes desigualdades entre países e entre estratos sociais do mesmo país, necessitam para a sua resolução de novo conhecimento, grande parte dele gerado em contexto de investigação.

Para que tal possa acontecer é muito importante a existência de um sistema universitário diversificado, capaz de acolher estudantes de proveniências muito distintas. Pode dizer-se que após a massificação do ensino básico e secundário conseguido no final do século XX, estamos a entrar, no século XXI, na massificação do ensino superior, com o ingresso de jovens que são a primeira geração das suas famílias a fazê-lo. Este número, em algumas regiões, já duplicou. Admitir estudantes de estratos socioeconómicos e culturais mais desfavorecidos, alterou o padrão elitista vigente, levou à criação de mais universidades públicas e privadas, e exigiu uma colaboração estreita entre universidades, governos e outras instituições, de modo a aumentar, de forma sustentada, os apoios financeiros a estratos mais carenciados.

Segundo relatório *Education at a Glance 2022*, a educação superior aumentou de forma apreciável nas últimas duas décadas. Com efeito, a população da OCDE com 25-34 anos com diploma superior passou de 27 % no ano 2000, para 48 % em 2021. O aumento foi maior ainda nas mulheres, na faixa etária 25-34 anos (57 % de mulheres contra 43 % de homens), considerando os três ciclos do ensino superior. O mercado de trabalho também contribuiu para esta situação: a

formação superior aumenta a empregabilidade e proporciona melhor remuneração, embora, em alguns países e grupos profissionais, a situação deva ser ainda ajustada.

PARA QUÊ A FORMAÇÃO DOUTORAL?

A formação doutoral tal como a conhecemos e se pratica hoje é um modelo criado e desenvolvido neste século, resultante da reformulação do ensino superior decorrente da Declaração de Bolonha, assinada em 1999, na cidade de Bolonha (Itália), pelos ministros responsáveis pelo ensino superior de 29 países europeus. O objetivo principal foi a criação do Espaço Europeu de Ensino Superior (EEES) organizado em três ciclos de formação superior comparáveis e facilmente inteligíveis em toda a Europa, propiciando aos estudantes beneficiar da mobilidade interinstitucional de forma equitativa.

A Declaração de Bolonha colocou grandes desafios às instituições no modo como deveriam encarar a função do ensino superior: a organização da oferta formativa segundo três ciclos de estudos direcionados para objetivos centrais comuns; o ensino centrado no estudante; e a institucionalização de um sistema europeu de transferência de créditos (ECTS), facilmente reconhecidos inter-instituições. A criação de ambientes propícios à aprendizagem de uma população heterogénea foi um enorme desafio. O processo de Bolonha constitui ainda hoje uma das marcas europeias com maior êxito e atraiu a atenção de muitos outros países não europeus que o adaptaram aos seus contextos. Nasceu, assim, a internacionalização do espaço europeu de educação superior.

Antes disso preparar um doutoramento era preparar uma tese, escrita a partir de um trabalho de investigação original supervisionado por um doutor, podendo ser co supervisionado por outro, normalmente da preferência do primeiro. Salvo raras exceções, por exemplo de realização de estágios em outras instituições afins, fazer um doutoramento era um trabalho solitário, intercalado com algumas participações em congressos, quando estes começaram a ser uma prática de instituições com grupos dedicados a investigação. Tão pouco existiam, em muitas universidades, cursos de doutoramento com inscrição formalizada e correspondente pagamento de propina. Os candidatos a doutor eram, em geral, assistentes de instituições de ensino superior, muitos deles admitidos por convite direto, os quais

precisavam do título de doutor para poder prosseguir a carreira universitária. Quando o trabalho de investigação era considerado concluído e a tese aceite pelo supervisor, o candidato submetia o pedido de provas à universidade, entregando a tese original preparada. Daí em diante o processo seguia conforme procedimentos equivalentes aos de hoje.

A grande diferença entre esses tempos e os atuais é de que a formação doutoral hoje é um grau (3.º ciclo da formação superior) que está disponível a todos os que a ela se queiram candidatar, desde que aceites segundo requisitos criteriais cumpridos e com disponibilidade financeira para custear as respetivas propinas. As universidades competem entre si pelas especialidades científicas oferecidas e pelo 'prestígio' dos seus cientistas. Também há, naturalmente, grandes diferenças no valor das propinas, sobretudo nas universidades privadas e continua a haver candidatos a universidades de grande prestígio internacional, na Europa e nos Estados Unidos. Ser aluno da Universidade de Oxford, Cambridge, Imperial College London, Sorbonne ou Stanford, apenas para citar algumas, é algo que continua a ser o sonho de muitos jovens e, sobretudo, das suas famílias com situação financeira que lhes permite fazer tal investimento.

Mas porquê esta ênfase na formação doutoral? Porquê a relação formação doutoral e sociedade do conhecimento? Na organização do Ensino Superior, segundo o modelo de Bolonha, a formação pós-graduada, isto é, aquela que se segue ao primeiro ciclo de formação, passou a assumir uma importância crescente por induzir ser uma mais-valia com impacte socioeconómico.

A discussão em torno da formação doutoral ultrapassou o contexto académico. Referem-se doutoramentos em parceria, por exemplo, doutoramentos universidade-empresa, discutem-se modelos e práticas de preparação de um doutoramento, questionam-se as finalidades de tal formação e defende-se mesmo que o produto esperado da educação doutoral não deve ser a Tese, mas as competências do novo Doutor. Para dar visibilidade a tal orientação o *Council for Doctoral Education,* da European University Association (EUA), tem vindo a desenvolver amplo debate sobre questões relativas à supervisão de projetos de doutoramento, formação de supervisores e avaliação da qualidade da supervisão. Os seminários da EUA neste domínio continuam a ser *fora* de grande importância pelas

referências que representam para todas as instituições. Por exemplo, no seminário de 2005, realizado em Salzburg, os participantes aprovaram um conjunto de princípios que ficaram como referência para a formação doutoral e passaram a ser referidos como os dez princípios de Salzburg, aqui resumidos a seguir:

1. A componente principal da formação doutoral é a produção de conhecimento através de investigação original;
2. Estratégias e políticas institucionais deverão ser articuladas de forma a que os programas doutorais sejam objetivos centrais das universidades;
3. Importância da diversidade de programas doutorais, incluindo programas conjuntos de qualidade;
4. Doutorandos considerados investigadores em início de carreira e, como tal, trabalhadores científicos;
5. Papel fundamental da supervisão e da avaliação, as quais devem ser objeto de contrato partilhado por doutorando, supervisor e instituição;
6. Alcançar massa crítica em programas doutorais, tendo em conta diferentes soluções para diferentes contextos;
7. Duração de um doutoramento: 3-4 anos, a tempo inteiro, como regra;
8. Promoção de estruturas inovadoras que permitam alcançar uma preparação interdisciplinar e a mobilização de competências diversificadas;
9. Aumentar a mobilidade de preferência em programas integrados interinstitucionais;
10. Assegurar financiamento adequado que permita a formação com qualidade dos estudantes.

Os estudos doutorais desempenham um papel muito importante no desenvolvimento de futura inovação, preparando investigadores necessários para criar conhecimento e explorar novas áreas de conhecimento relevantes para a economia e sociedades do futuro. Trata-se, naturalmente, de uma área que exige um forte investimento pessoal, da parte dos estudantes e também das instituições. Atrair

jovens capazes de aceitar o desafio de explorar e desenvolver as suas competências e capacidades no domínio da investigação, onde não existam diferenças de género ou de condição sociocultural, e com perspetivas de carreiras dedicadas à investigação científica, é absolutamente crucial. Mais ainda, a importância da investigação vai muito além do novo conhecimento alcançado, visto que a qualidade da educação de nível superior está fortemente dependente da sua relação com a investigação e é largamente reconhecido que as competências para um mercado em constante evolução exigem que a formação decorra em ambiente de investigação.

O conhecimento científico criado por um doutoramento é, em si mesmo, uma mais-valia que poderá ser investido na resolução de problemas do domínio científico respetivo. É o caso da área científica da Educação, a qual nunca poderá dispensar a formação doutoral como via para melhorar a capacidade de interventores poderem responder aos problemas educacionais que se (re)configuram em períodos temporais cada vez mais curtos. A nível da OCDE, e em valores médios, iniciaram o 3.º ciclo de formação, na área da Educação (inclui todas as especialidades), em 2020, apenas 6% dos novos doutorandos. Embora variável com o país, globalmente, as áreas de ciências naturais, engenharias e saúde detêm mais de 50% das preferências, segundo o relatório *Education at a Glance 2022*.

As universidades confrontam-se hoje com enormes desafios, aliás como sempre sucedeu no passado. Nada de novo, portanto. Mas os problemas são novos o que exige respostas ainda não conhecidas. A criação de uma sociedade do conhecimento está altamente dependente dos sistemas de educação e formação (qualidade e eficácia, facilidade do acesso de todos e abertura ao resto do Mundo). No que respeita à formação doutoral há problemas a resolver. Em 2021, apenas 1,3% da população com 25-64 anos, possuía um grau de doutoramento ou equivalente, em média, nos países da OCDE (com variações de 0,1% a 3%). Mais ainda, entre 2013 e 2020, o número de novos ingressos em programas doutorais diminuiu, nos países da OCDE, cerca de 4%. Importa, pois, que sejam desenvolvidos mecanismos que permitam aumentar o interesse dos jovens por esta formação e às universidades desenvolver mecanismos de reconhecimento do seu importante papel social, económico e cultural na formação de investigadores. A formação doutoral deve ser, portanto, um eixo central no modo como as universidades encaram o seu papel.

RETOMANDO…

Estamos no terceiro ano da disseminação da pandemia COVID-19, e apesar da grande conquista científica que as vacinas desenvolvidas especificamente para controlar a propagação e as consequências da infeção pelo vírus SARS-COV-2, a doença não está erradicada. A Organização Mundial da Saúde tem vindo a dispensar apoio na definição de medidas a adotar pelos diferentes países. Praticamente saiu-se de uma situação de obrigatoriedade de cumprimento de regras de proteção, para o nível de recomendação. Não se terá atingido a normalidade, mas para muitas atividades sociais não existem restrições impostas, em muitos países. Questiona-se qual deve ser o limite das restrições e quanto isso afeta a economia, o equilíbrio social e a saúde mental. Os sistemas de saúde, em quase todos os países, foram postos à prova e os resultados foram, em muitos casos, devastadores. A preparação dos países para lidar com situações limite era, de facto, insuficiente e teve custos enormes.

A vida não retomou padrões anteriores e, sobretudo, não foi reposto aquilo que a população mundial deixou de poder fazer. O confinamento imposto, com repercussões drásticas, jamais será esquecido por aqueles que o viveram, e a escola, e a educação em sentido lato, inventou formas de comunicação que eram consideradas como ficção num passado ainda recente. Cursos online, aulas práticas virtuais, exames não-presenciais, turmas sem colegas sentados lado a lado, estudantes destinados a trabalhar em casa não tendo condições de privacidade ou de comunicação estável da internet, e outros, ainda, sem a refeição que a escola garantia, vieram acentuar diferenças sociais que muitos não conheciam. Muitas aprendizagens, algumas delas essenciais, ficaram por fazer e a sua recuperação será impraticável para muitos. Puseram-se a descoberto as diferenças que os bancos da escola disfarçavam e, sobretudo, tornou-se mais complicada a progressão académica dos estudantes provenientes de meios sociais mais débeis. Os efeitos desta pandemia estão ainda por estudar na sua plenitude, mas já existem muitos projetos sobre o assunto. Uma coisa é certa: a comunicação didática online não é a reprodução da didática presencial, e os professores não estavam preparados para tal.

A formação doutoral em tempos de uma pós-pandemia mundial não pode ignorar o que se passou, e ainda passa embora numa escala menor e, sobretudo, de menor impacte social. Um programa doutoral

dedicado à educação em ciências e matemática tem na situação vivida múltiplos contextos para evidenciar a importância do conhecimento científico em várias disciplinas e também de caráter interdisciplinar. A minha geração nunca tinha vivido nada equivalente. Mesmo aqueles que nada sabiam de virologia, vacinas, epidemias e pandemias ficaram presos às notícias da Organização Mundial de Saúde e à descodificação que os especialistas nacionais faziam da informação transmitida e que os governos de praticamente todos os países seguiram para fundamentar medidas políticas a implementar. Os *contextos* para fundamentar a importância do conhecimento eram evidentes, os *desafios* e as *oportunidades* para mais e melhor *educação em ciências e em matemática* tornaram-se propósitos da escola, de educadores e professores, de organizações internacionais e foram o mote para reforçar a importância da educação para a sustentabilidade e o perigo das alterações climáticas para toda a humanidade.

O livro que se segue, escrito por vinte e um autores, apresenta de forma aprofundada questões, problemas e desafios que se colocam aos professores. Tornar este livro produto de uma cátedra doutoral dirigida a futuros doutores em educação é uma prova de que os seus organizadores, também autores, assumem de forma inequívoca a importância da investigação como via para ajudar a compreender melhor os problemas da educação em ciências e em matemática de hoje, recuperando trabalhos de autores anteriores e projetando vias de resolução de problemas futuros. Ser investigador em Educação exige partilha de experiências, pensamento crítico apurado, criatividade para imaginar soluções ainda não pensadas e, sobretudo, saber que o passado não se repete no futuro, mas há fundamentos epistemológicos, didáticos, psico-sociológicos e éticos que deverão estar presentes na formação de professores em todas as épocas.

Isabel P. Martins
Universidade de Aveiro
Portugal, outubro 2022

INTRODUCCIÓN

Este libro es producto de las conferencias semanales presentadas en la XVII Cátedra Doctoral en Educación y Pedagogía, desarrollada en el primer semestre del 2022 por el Doctorado Interinstitucional en Educación, sede Universidad Pedagógica Nacional (UPN), que fue ofrecida por el énfasis en Educación en Ciencias y estuvo coordinada por los profesores Diana Lineth Parga Lozano, Pedro Nel Zapata Catañeda y Rosa Nidia Tuay-Sigua.

La cátedra se justifica teniendo en cuenta que, más allá de conocimientos y competencias cognitivas, la comunidad internacional insta por una educación que ayude a resolver los desafíos mundiales emergentes que amenazan nuestro planeta (Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura - Unesco, 2016). Si bien la educación ayuda a favorecer conocimientos, habilidades, valores y actitudes en los estudiantes (Ministerio de Educación Nacional – MEN, 2016a), hoy es necesario garantizar un mundo más justo, pacífico, tolerante, inclusivo, sostenible y seguro. Por ello, se debe fomentar una educación para comprender y solucionar problemas mundiales en sus dimensiones social, política, cultural, económica y ambiental (Unesco, 2016).

En este contexto, la coyuntura actual generada por la pandemia de la COVID-19 nos interpela a asumir la relación de la educación en ciencias con las dimensiones anotadas, de tal manera que seamos parte de la búsqueda de soluciones. En el escenario mundial, por citar algunos casos, surgen educaciones para la ciudadanía mundial (ECM), para el desarrollo sostenible (EDS), para los ODS-2030 —que tienen su propio objetivo específico (ODS 4, Educación de calidad)— o para la ciudadanía ambiental (Hadjichambis *et al.*, 2020), que tienen en común un compromiso con la propuesta de la Unesco (2017) de

poder "garantizar una educación inclusiva, equitativa y de calidad y promover oportunidades de aprendizaje durante toda la vida para todos" (p. 199).

Si esto es así, ¿qué está sucediendo en Colombia? Sus políticas curriculares instan por la formación crítica, el establecimiento de relaciones ente lo social y lo natural, la protección y conservación de la naturaleza, una formación integral y articulada con la educación ambiental (EA), como se establece desde 1998 en los lineamientos curriculares (MEN, 1998) sobre inclusión de la dimensión ambiental al currículo (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial – MAVDT y Ministerio de Educación Nacional - MEN, 2012), formación de ciudadanos críticos y responsabilidad social (MEN, 2006).

Ante estos requerimientos para la educación básica y media, se cuestiona la educación en ciencias y la formación de profesores, pues si bien se establece la integralidad e interdisciplinariedad del contenido en los programas de formación docente, como se define en el Decreto 2450 del 2015 (MEN, 2015) y en la Resolución 02041 del 2016 (MEN, 2016b), que enfatizan en trabajar la naturaleza de la ciencia, habilidades para la actividad científica, actitudes científicas e informadas hacia la ciencia y la relación de la ciencia con otras disciplinas —como se promulga en los derechos básicos de aprendizaje o DBA (MEN, 2016a)—, las dos últimas propuestas, quizás, poco se abordan. En los DBA se propone promover actitudes científicas y ambientales, el desarrollo de valores, actitudes, acciones para la convivencia, democracia, solidaridad y "sostenibilidad" ambiental y trabajar abordajes desde problemas auténticos, contextualizados y de interés como los "asuntos sociocientíficos", entre otros. Sin embargo, resulta pertinente preguntarse ¿en qué́ medida el profesorado está siendo formado para ello?, ¿esto es suficiente y necesario para las demandas actuales?

De acuerdo con lo expuesto, la cátedra pretendió, en primer lugar, aportar a los referentes conceptuales que vienen abordando los grupos de investigación del Énfasis en Educación en Ciencias y Matemáticas, desarrollando tópicos que den cuenta de las dimensiones de la educación en ciencias, la educación matemática, la educación ambiental, la educación física, entre otras. En segundo lugar, atender los desafíos emergentes para caracterizar las nuevas realidades y oportunidades que enfrenta la educación en ciencias y matemáticas.

Teniendo en cuenta los objetivos planteados, el libro se organizó en dos partes. En la primera se presentan los aportes enfocados en la educación en ciencias y la educación ambiental, mientras que la segunda parte expone las contribuciones de la educación matemática, la educación física y el papel de la evaluación, que buscan, todas, responder a los desafíos actuales, analizando los contextos y desafíos para identificar oportunidades hacia donde se debe direccionar la educación en ciencias y matemáticas en particular.

La primera parte cuenta con once capítulos que aportan, a propósito de los contextos, desafíos y oportunidades para la educación en ciencias (EC) y la educación ambiental (EA), conceptos y cuestionamientos relacionados con los modelos y la modelización, la fundamentación filosófica de la EC, la relevancia de la EC, el desarrollo de habilidades y actitudes de los estudiantes sobre la realidad ambiental, la EC y las TIC, la EC para la transformación social, la articulación entre EC y EA, la didáctica de cuestiones socioambientales, la ambientalización curricular, el conocimiento didáctico del contenido de la EA, la identidad ambiental y el profesorado de ciencias. Estos se analizan desde contextos como la didáctica de las ciencias y su evolución, la COVID-19, los problemas ambientales, la crisis planetaria, la inteligencia artificial, las actitudes, el enfoque CTSA, la ciudadanía ambiental, la formación ecociudadana, el activismo y las competencias ciudadanas, la ciencia ciudadana, el Antropoceno, las educaciones emergentes, la educación para el desarrollo sostenible y para la sustentabilidad ambiental, la educación resiliente pos-sostenibilidad, la decolonialidad, el enfoque de las capacidades humanas y las cuestiones sociocientíficas, socialmente vivas y socioambientales.

El capítulo 1, "De las ideas previas a los modelos y la modelización: estado y desafíos", fue escrito por Ángel Daniel López y Mota, de la Universidad Pedagógica Nacional de México, quien plantea que a partir de los inicios de la investigación en el campo internacional de educación en ciencias (o *science education*) y en el hispanoamericano de didáctica de las ciencias prevaleció la indagación sobre el pensar espontáneo de los estudiantes por un buen periodo; sin embargo, el autor concluye que ellos *piensan como piensan* y no como quisiéramos que lo hicieran. Después se propusieron varias versiones sobre el cambio conceptual en la manera de pensar de los estudiantes, pero no resultaron demasiado exitosas. Ahora se abre una expectativa

didáctica de hacer ciencia fundamentada en una visión de modelos/modelización, que puede incluir maneras fructíferas de interpretar y aprovechar el pensamiento estudiantil y, así, construir una didáctica de las ciencias que aporte información para construir conocimiento científico escolar y mejorar la enseñanza.

El capítulo 2, "Una educación en ciencias filosóficamente fundamentada para afrontar tiempos de pandemia: el caso de las vacunas contra la COVID-19", fue escrito por Irma Catherine Bernal Castro y Julio Alejandro Castro Moreno, de la UPN-Colombia. Los autores consideran que la situación de pandemia de la COVID-19 generó un escenario propicio para volver la mirada hacia discusiones filosóficas sobre la ciencia que se creían superadas, como la racionalidad, el reduccionismo, la objetividad, el conocimiento y la práctica, entre otras. En este sentido, plantean que una educación científica filosóficamente fundamentada puede promover una comprensión más rica y genuina de la ciencia y su lugar intelectual y social en el mundo. Este capítulo está centrado en la discusión sobre la producción, distribución y aplicación de las vacunas contra la COVID-19, en aras de aportar a que los ciudadanos tomen la mejor decisión respecto a la vacunación, con base en la construcción de una confianza racionalizada acerca del devenir y la dinámica de la ciencia.

El capítulo 3, "Relevancia de la educación científica en contextos colombianos", de Yair Alexander Porras Contreras, María Rocío Pérez Mesa y Rosa Nidia Tuay-Sigua, de la UPN-Colombia, parte del postulado de que la educación científica es un aspecto esencial de la cultura, no solo por el desarrollo de habilidades sino por su relevancia para la vida ciudadana. Por tal razón, se hace necesario aportar perspectivas teóricas en torno al aprendizaje de la ciencia y la tecnología en la escuela y fuera ella, que los autores desarrollan teniendo como referentes los hallazgos preliminares de la aplicación del cuestionario ROSES a estudiantes de 15 años de Colombia; de igual forma, consideran necesario proponer recomendaciones para la mejora del currículo, los libros de texto y las actividades de clase, basadas en los resultados empíricos. En el texto se examinan las actitudes de un grupo de estudiantes sobre los intereses y motivaciones en torno a la realidad ambiental, tomando como referencia la categoría "Los desafíos ambientales y yo" del cuestionario ROSES, la cual consta de 13 ítems. Los autores destacan la actitud moderadamente positiva hacia el ambiente y la legitimación del

discurso identitario ambiental, al igual que el compromiso por promover iniciativas que permitan enfrentar las problemáticas ambientales desde el aporte de la ciencia y la tecnología.

El capítulo 4, "La educación en ciencias en el contexto de la educación mediada por TIC: crisis, retos y oportunidades", de Pedro Nel Zapata Castañeda, de la UPN-Colombia, comprende tres partes; la primera es una breve revisión de los principales avances en el campo de la didáctica de las ciencias a partir de la década de los ochenta en el contexto colombiano; en la segunda se hace un análisis de la situación actual de la didáctica de las ciencias a partir del texto de Porlan (1998), *Pasado, presente y futro de la didáctica de las ciencias*, y de lo que asume como crisis del paradigma constructivista y el desarrollo de un nuevo paradigma en la educación caracterizado por la utilización de las TIC; en la tercera parte, con base en las tendencias de investigación en los últimos años, el autor reflexiona sobre las cuestiones más relevantes a las que debe atender la educación en ciencias, considerando los postulados de la ONU y de la Unesco sobre la crisis planetaria, el papel de la educación para afrontar los problemas derivados de dicha crisis y los desarrollos del programa de investigación en inteligencia artificial.

En el capítulo 5, "La educación en ciencias para la transformación social", escrito por Pedro Rocha dos Reis, del Instituto de Educación de la Universidad de Lisboa (Portugal), se plantea que la capacidad de un ciudadano para actuar en la sociedad como agente de cambio se constituye en un elemento importante de la ciudadanía ambiental. Para sustentar dicho postulado, se discute el concepto de activismo y la importancia de las iniciativas de activismo en el desarrollo de la disposición y las competencias de los ciudadanos para una participación crítica, activa y democrática en la prevención y resolución de problemas ambientales, y se presentan varias formas posibles para que los jóvenes se impliquen en activismo ambiental. También se discute la posible y deseable combinación del activismo juvenil y la ciencia ciudadana como catalizadora del empoderamiento de ciudadanos con la disposición y capacidades necesarias para la participación en el esfuerzo global por el desarrollo sostenible y la responsabilización por las generaciones futuras.

El capítulo 6, "Articulación entre educación ambiental y educación en ciencias en escenarios de cambio global: aportes a una educación resiliente pos-sostenibilidad, desde una didáctica centrada en

cuestiones socio-ambientales", fue escrito por William Manuel Mora Penagos, de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Para el autor, la modernidad tecnocientífica y desarrollista ha generado un momento histórico de cambio global para la humanidad conocido como Antropoceno, caracterizado por un exacerbado desarrollo digital que ha traído amenazas tecnológicas, bélicas y ambientales y que pone en duda la continuidad de la vida en la Tierra. Enfrentar esta situación apremiante no solo requiere de un nuevo contrato social de las ciencias, sino de proyectos de anticrisis que gestan propuestas globalizantes de sostenibilidad y proyectos como la Agenda 2030 de Naciones Unidas, que incluyen la continuidad de la educación para el desarrollo sostenible. Posturas alternativas decoloniales desde el Sur epistémico reclaman alternativas como las de sustentabilidad ambiental y, por ende, una educación ambiental (EA) resiliente y de pos-sostenibilidad, que invita a la creación de nuevas didácticas que articulen distintas educaciones para tratar contenidos de la relación sociedad-naturaleza desde cuestiones socioambientales.

El capítulo 7, "Mecanismos de ambientalización en la educación en ciencias. El caso de la educación química en interacción con la educación para la sustentabilidad ambiental", escrito por Diana Lineth Parga Lozano, de la UPN-Colombia, expone la necesidad de transformar los contenidos de enseñanza de las ciencias, y en especial de la química, a través de la ambientalización del contenido. Para ello, la autora analiza perspectivas educativas como química verde, química sustentable, química ambiental y modelos que desde estas se han desarrollado, en contraste con la sustentabilidad como táctica y como principio, y subraya que es necesario tener currículos y contenidos en la formación de licenciados en química y profesores de ciencias que analicen sus compromisos con la ambientalización del contenido desde la educación para la sustentabilidad ambiental (EpSA), la cual pasa por diferentes niveles y abordajes.

El capítulo 8, "La educación ambiental en la escuela. Aportes desde el conocimiento del profesor", es de autoría de Jenny Johanna Duarte Díaz (profesora de la Secretaría de Educación Distrital - SED) y Édgar Orlay Valbuena Ussa, de la UPN-Colombia. Los autores consideran que si bien en Colombia la EA se incluye como contenido formativo, la manera como se implementa en la práctica no está documentada, pues por lo general se delega en los profesores del área

de ciencias naturales, mediante la formulación y desarrollo de los proyectos educativos ambientales (PRAE). Esta situación es preocupante, porque los constructos ambiente y EA, así como las problemáticas, trascienden los fenómenos de la naturaleza, situación que se analiza desde las características del conocimiento de cuatro profesores, con distintos perfiles profesionales, que enseñan EA en instituciones educativas de Bogotá, en diferentes espacios curriculares. El análisis se enfocó en los referentes de ambiente y conocimiento didáctico del contenido EA (CDCEA), desde la perspectiva de los ejes dinamizador, obstáculo, cuestionamiento y potenciador (Martínez 2000; Martínez y Valbuena, 2013; Duarte, 2020). En la práctica, los profesores del estudio aportan elementos a la enseñanza de la EA en la escuela, mostrando que representa un contenido metadisciplinar integrador formativo en la educación básica.

En el capítulo 9, "Perspectivas de identidad ambiental en los contextos educativos escolares. Aportes de profesores en ejercicio", de María Rocío Pérez Mesa y Yair Alexander Porras Contreras, los autores asumen que reconocer las ideas que construyen los profesores en ejercicio frente a la identidad ambiental y las prácticas educativas permiten fortalecerlas. La identidad ambiental es un concepto complejo, asociado a la manera en que las personas elaboran una conexión con el entorno natural a partir de sus representaciones y actividades cotidianas. Examinar este concepto en profesores de ciencias que trabajan en diferentes contextos educativos contribuye a alimentar la discusión sobre la manera en que se convierten en dinamizadores de la cultura ambiental, constituyéndose en referentes que promueven la reflexión en función del autoconcepto y la configuración de una mirada colectiva del ambiente. Las respuestas de los profesores evidencian una asociación de la identidad ambiental con la identidad de lugar, que pone de manifiesto el vínculo existente entre las ideas que se construyen sobre el ambiente y las experiencias de vida que permiten consolidar un sentimiento de apego.

El capítulo 10, "Articulando la educación en ciencias y la formación ecociudadana desde el enfoque de las capacidades humanas", fue elaborado por Isabel Garzón Barragán, de la UPN-Colombia, y en él se muestran algunos aspectos para tener en consideración con el fin de abordar la formación eco-ciudadana en el campo de la educación en ciencias, en el marco del enfoque de las capacidades humanas

propuesto por Martha Nussbaum. Para este propósito, se analiza el concepto de capacidades en términos de las libertades sustanciales creadas en la combinación entre facultades personales y el entorno político, social y económico, lo que implica un análisis crítico del enfoque de competencias que subyace a la política educativa en Colombia.

El capítulo 11, "Abordaje de cuestiones sociocientíficas para la sustentabilidad ambiental", escrito por Leonardo Fabio Martínez Pérez, de la UPN-Colombia, analiza la relación entre las cuestiones sociocientíficas (CSC) y la sustentabilidad ambiental, y describe investigaciones llevadas a cabo del año 2003 al 2021 por el grupo de investigación Alternativas para la Enseñanza de las Ciencias (Alternaciencias). El autor destaca los aportes a la formación de los estudiantes como ciudadanos críticos y proactivos respecto a problemáticas ambientales; discute además sobre el origen y desarrollo histórico de la enseñanza CTSA en contraste con la educación ambiental y mediante conexiones que permiten trabajar CSC hacia la sustentabilidad ambiental; también retoma los aportes de J. Simonneaux y L. Simonneaux (2012) y de L. Simonneaux (2013) frente a las cuestiones socialmente vivas, que requieren un tratamiento interdisciplinario y político. Por último, hace unas consideraciones sobre el abordaje de la COVID-19 como CSC para ejemplificar la complejidad ambiental de esta cuestión desde el punto de vista científico, social y político.

La segunda parte del libro se compone por cinco capítulos relacionados con la educación matemática, la evaluación y la educación física, y comprende discusiones sobre la evaluación, su estandarización, los factores que influyen en ella, la evaluación auténtica, el alineamiento constructivo, el conocimiento declarativo, la argumentación matemática, la actividad demostrativa, la identidad del profesorado y un modelo para la identidad docente. El contexto son las pruebas nacionales e internacionales, la formación de profesores, los profesores de ciencias, de matemáticas, de educación física, el deporte y su enseñabilidad, la investigación educativa y el conocimiento didáctico matemático del profesor.

El capítulo 12, "Evaluación y estandarización: relación de las pruebas externas con las de aula: experiencias en el área de ciencias naturales", de Libia Stella Niño Zafra, de la UPN-Colombia, analiza las relaciones e incidencias de las pruebas externas estandarizadas internacionales y nacionales en las evaluaciones de aula en los

sistemas educativos, e indaga por la influencia de los factores ideológicos, políticos, socioeconómicos y educativos en los resultados obtenidos por los estudiantes. Además, aborda las relaciones y las tensiones entre las pruebas Saber y las evaluaciones de los profesores en las áreas del currículo, y plantea que la comprensión de sus diferencias conceptuales y epistemológicas (cuantitativas, de medición, y cualitativas, de valoración, respectivamente) puede ayudar a disminuir el distanciamiento que hay en la distribución de resultados del Icfes entre las instituciones del país. En esta reflexión sobre las experiencias y conocimientos de profesores del área de ciencias naturales de tres instituciones del Distrito Capital se aprecian las tensiones actuales, así como se vislumbran los retos para el Icfes y para los profesores respecto a la construcción de prácticas de evaluación formativa y crítica.

En el capítulo 13, "Alineamiento constructivo y evaluación auténtica: orientaciones teóricas complementarias para la enseñanza de la química", escrito por Fidel Antonio Cárdenas Salgado, de la UPN-Colombia, el autor plantea que la facilidad de acceso a la información académica por parte de docentes y estudiantes en la actualidad no necesariamente conduce al conocimiento y menos a su apropiación y uso. Se requiere entonces trascender la enseñanza para el conocimiento declarativo y avanzar hacia una didáctica para el desarrollo de habilidades de pensamiento que acompañen al ser humano a lo largo de toda la vida; el alcance de esta meta podría verse favorecido por la complementariedad entre el alineamiento constructivo (AC) y la evaluación auténtica. En este sentido, en el texto se exponen las características generales del AC y sus potenciales apoyos a los docentes para la implementación de experiencias didácticas en el aula y para la realización de investigaciones en el campo del aprendizaje de conceptos, con miras al desarrollo de las operaciones de pensamiento con prioridad al mero aprendizaje conceptual. Asimismo, se presentan algunas ideas acerca de la evaluación auténtica con el fin de establecer sus características y, a partir de ellas, promover en el aula una evaluación más ligada al aprendizaje cuyas aplicaciones en situaciones de la vida cotidiana trasciendan los contextos escolares.

El capítulo 14, "El desafío de la formación de profesores de matemáticas en relación con los procesos matemáticos: el caso de la argumentación", escrito por Óscar Javier Molina Jaime y Leonor

Camargo Uribe, de la UPN-Colombia, gira en torno al proceso de argumentación matemática y discute los desafíos que su complejidad demanda para la educación matemática, especialmente para la formación de profesores. Dicha complejidad es reconocida gracias a la relación simbiótica establecida entre la investigación que adelanta el grupo Aprendizaje y Enseñanza de la Geometría y la participación propia de los autores en los procesos de renovación curricular de los programas de formación inicial y continuada de profesores de matemáticas de la UPN. Además de presentar una postura sobre la argumentación matemática como proceso sociocultural esencialmente discursivo, se describe e ilustra cómo la han operativizado en la formación inicial y continuada de profesores. En particular, los autores se centran en una aproximación metodológica que busca favorecer la "actividad demostrativa" (ligada con la argumentación) en un plan formativo para profesores en ejercicio, estructurado a partir de un modelo de conocimiento didáctico matemático del profesor que apunta a apoyarlo en la tarea de impulsar en su aula ambientes de aprendizaje que contribuyan a favorecer la argumentación matemática.

El capítulo 15, titulado "Aspectos esenciales en la constitución de la identidad del profesor de matemáticas como oportunidades y retos para la formación", fue escrito por Édgar Alberto Guacaneme Suárez y Claudia Salazar Amaya, de la UPN-Colombia. Los autores consideran que la investigación en el campo formación del profesor de matemáticas les ha permitido entrever la categoría "identidad" como la interacción dialógica entre tres dimensiones: el ser, el hacer y el saber del profesor de matemáticas. Esta nueva óptica indica que los programas de formación de profesores, concebidos desde tal interacción dialógica, tienen la oportunidad y el reto de dirigir su atención a la complejidad de los procesos de configuración de la identidad de profesionales de la educación matemática, quienes asumen su función social de manera trascendente, como parte de una comunidad de práctica. Este capítulo, a la vez que presenta un modelo para la identidad, revela algunas de las oportunidades y de los retos que enfrenta la formación de profesores de matemáticas, concebidos desde la categoría identidad.

En el capítulo 16, "El deporte, como disciplina científica y su enseñabilidad", de Luz Amelia Hoyos, de la UPN-Colombia, la autora plantea que son diversas las teorías que explican el origen del deporte

moderno, entre ellas la perspectiva antropológica de Blanchard y Cheska (1986), e identifica prácticas lúdicas y de competencia que recrean algunas características de los deportes, como se conocen en la actualidad; es a partir de esas características lúdicas que se plantea una evolución del juego al deporte. Desde finales del siglo XIX, el deporte moderno de Coubertin, fundamentado en valores morales como el esfuerzo y la resiliencia, se convierte en deporte de masas, respondiendo a las necesidades sociales, de espectáculo, nacionalismo y representación. El campo de las ciencias del deporte se desarrolla a lo largo del siglo XX, consolidando procesos de construcción de conocimiento científico, en referencia con la mejora de las cualidades físicas, el perfeccionamiento de los procesos de enseñanza y el entrenamiento. En ese sentido, desde el contexto educativo se plantean discusiones sobre el carácter enseñable del deporte.

REFERENCIAS

Blanchard, K. y Cheska, A. (1986). *Antropología del deporte*. Bellaterra.

Duarte, J. (2020). *Caracterización del conocimiento didáctico del contenido sobre educación ambiental de profesores de Bogotá, Colombia*. (Tesis de doctorado). Doctorado Interinstitucional en Educación. Universidad Pedagógica Nacional.

Hadjichambis, A., Reis, P., Paraskeva-Hadjichambi, D., Cincera, J., Pauw, J., Gericke, N. y Knippels, M. (Eds.) (2020). *Conceptualizing environmental citizenship for 21st century education.* Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-030-20249-1

Martínez, C. (2000). *Las propuestas curriculares sobre el conocimiento escolar en el área de conocimiento del medio: dos estudios de caso en profesores de primaria.* (Tesis de doctorado). Programa Didáctica de las Ciencias Experimentales y Sociales, un Enfoque Interdisciplinar. Universidad de Sevilla.

Martínez, C. y Valbuena, E. (Comps.). (2013). *El conocimiento profesional de los profesores de ciencias sobre el conocimiento escolar. Resultados de investigación.* Universidad Distrital Francisco José de Caldas.

Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (MAVDT) y Ministerio de Educación Nacional (MEN). (2012). *Política Nacional de Educación Ambiental.* SINA.

Ministerio de Educación Nacional (MEN). (1998). *Lineamientos curriculares en ciencias naturales y educación ambiental.* MEN.

Ministerio de Educación Nacional (MEN). (2006). *Estándares básicos de competencias en lenguaje, matemáticas, ciencias y ciudadanas*. MEN.

Ministerio de Educación Nacional (MEN). (2015). Decreto 2450 del 2015, por el cual se reglamentan las condiciones de calidad para el otorgamiento y renovación del registro calificado de los programas académicos de licenciatura y los enfocados a la educación, y se adiciona el Decreto 1075 del 2015, Único Reglamentario del Sector Educación. 17 de diciembre del 2015. *Diario Oficial* 49729.

Ministerio de Educación Nacional (MEN). (2016a). *Derechos básicos de aprendizaje:* DBA *en ciencias naturales.* MEN.

Ministerio de Educación Nacional (MEN). (2016b). Resolución 02041 del 2016, por la cual se establecen las características de calidad de los programas de licenciatura para obtención, renovación o modificación del registro calificado. 3 de febrero del 2016.

Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (Unesco). (2016). *Educación para la ciudadanía mundial. Preparar a los educandos para los retos del siglo* XXI. Unesco.

Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (Unesco). (2017). *Informe de seguimiento de la educación en el mundo 2016. La educación al servicio de los pueblos y el planeta: creación de futuros sostenibles para todos.* Unesco.

Porlán, R. A. (1998). Pasado, presente y futuro de la didáctica de las ciencias. Enseñanza de las ciencias. *Revista de Investigación y Experiencias Didácticas, 16*(1), 175-185. https://raco.cat/index.php/Ensenanza/article/view/83243

Simonneaux, J. y Simonneaux, L. (2012). Educational configurations for teaching environmental socioscientific issues within the perspective of sustainability *Research in Science Education, 42*(1), 75-94.

Simonneaux, L. (2013). *Questions socialement vives and socioscientific issues: new trends of research to meet the training needs of postmodern society.* Springer.

Capítulo 1. De las ideas previas a los modelos y la modelización: estado y desafíos

Ángel Daniel López y Mota
Universidad Pedagógica Nacional - Ajusco, México

INTRODUCCIÓN

Con este texto se propone mostrar cómo se ha transformado la idea de poner el pensamiento estudiantil espontáneo en el centro de la preocupación didáctica en ciencias naturales, a partir de la cual puede construirse un edificio conceptual de didáctica de las ciencias. También pretendemos resaltar cómo el planteamiento de modelos/modelización en el hacer científico adoptado en la didáctica hace posible configurar un escenario en el que sea plausible la estructuración de un ámbito de investigación que permita la visualización de la construcción de conocimiento científico escolar en diversos dominios de conocimiento interdisciplinar. Todo ello con el fin de mejorar la enseñanza.

De esta manera, se iniciará el recorrido por diversas etapas de la investigación en el campo —que se explicitan líneas abajo—, empezando por el asunto que reunió a investigadores de distintos

países y que permitió la conjunción de intereses educativos alrededor de un fenómeno, ideas previas, que se documentó ampliamente: los sujetos piensan los conceptos científicos como los piensan y no como otros quisieran que los pensaran. Una vez satisfecha esta necesidad de documentar el pensamiento espontáneo de estudiantes, se dirige la atención a contestar la pregunta: ¿qué significa y cómo se logran cambiar las conceptualizaciones de estudiantes sobre los fenómenos y conceptos científicos estudiados previamente? Este movimiento, conocido como "cambio conceptual", no dejó satisfechos a muchos investigadores, por lo que se abrieron otros horizontes de estudio. De ahí surge la pregunta: ¿por dónde proseguir la investigación? La ruta adoptada explora el camino de los modelos y la modelización, pero abordando el asunto de la investigación emergente del diseño y validación de secuencias didácticas, pues en ellas se aplicarán los conceptos teóricos de modelos y modelización. Por último, se ofrecerán los desafíos que este recorrido del campo puede proveer.

EN EL INICIO FUERON LAS IDEAS PREVIAS (IP)

La investigación en el campo de la didáctica de las ciencias,[1] o educación en ciencias,[2] comenzó reuniendo evidencias de cómo estudiantes de distintos niveles educativos piensan diversos conceptos científicos y fenómenos asociados en varios dominios de conocimiento de las ciencias naturales, como la biología, la física o la química (Driver y Easley, 1978; Viennot, 1979).[3] Esta indagación permitió diferenciar dos aspectos involucrados en la enseñanza: cómo piensan los estudiantes y cómo profesores, educadores e investigadores pensamos (o más bien desearíamos) que lo hicieran, ambos en el contexto de los requerimientos curriculares impuestos al aprendizaje de las ciencias naturales o en el de las expectativas de los docentes en el aula al respecto.

Los especialistas coinciden en que el inicio de las investigaciones acerca de la manera espontánea de pensar del estudiantado está en los trabajos pioneros de J. Piaget sobre el pensamiento espontáneo

1 Denominación continental-europea y latinoamericana.

2 Traducción de la tradición anglosajona science education.

3 DiSessa (2014) destaca el trabajo pionero en este campo de A. Tiberghien de 1980, además de las mencionadas R. Driver y L. Viennot, y se refiere a ellas como "tres investigadoras europeas que contribuyeron al campo de las concepciones estudiantiles desde sus inicios".

de los sujetos; también concuerdan en que estos trabajos constituyen un antecedente claro de las investigaciones desarrolladas sobre ideas previas (IP) en el terreno de la didáctica de las ciencias. En otro texto (López y Mota y Sanmartí, 2011) abordé este asunto, referenciando el trabajo que Piaget realizó con Binet y Simon y que dio lugar a la búsqueda de explicaciones de los "errores" cometidos por los alumnos durante los aprendizajes; es decir, se pretendía exponer por qué suceden los "errores" de los estudiantes al explicar o aprender algo, pero no dar cuenta de cuánto difieren los aprendizajes de los conceptos científicos.

Sin embargo, la teoría de la inteligencia de Piaget —visión estructuralista que explica por qué los sujetos piensan como lo hacen con respecto a las ciencias naturales— enfrentó controversias; a pesar de que la teoría suponía la presentación de conductas similares dentro de un mismo estadio de desarrollo, empezaron a aparecer reportes de investigación que encontraron un desfase entre lo predicho por esta teoría y las conductas cognitivas exhibidas por los estudiantes en una temática científica, pero no en otra.

Ante estas críticas, Piaget presentó su ajuste a la teoría desarrollada introduciendo el concepto de *décalage*[4] horizontal, una forma muy *ad hoc* de mantener su posición. Dada la deficiencia de la teoría para explicar el pensamiento *espontáneo* de los sujetos, R. Driver irrumpió en la escena de la *science education*; sus trabajos fueron el detonante de las investigaciones sobre IP (Driver, 1973; 1978).

Los trabajos sobre pensamiento espontáneo que siguieron al de Driver, Tiberghien y Viennot quedaron marcados por el distintivo de apegarse a lo *conceptual*, es decir, dejaron de lado el planteamiento —independientemente de los contenidos científicos abordados en la enseñanza (diSessa, 2014)— de los estadios de Piaget para concentrarse en la indagación de lo que sucedía al interior de cada asunto temático o conceptual, pues el ajuste de los *décalages* ya no funcionaba para explicar de manera general la construcción de conocimiento debido a *estructuras* de pensamiento.

El predominio de estas investigaciones —se les puede denominar sobre IP— en el campo se mantuvo de mediados de los años setenta hasta principios de los noventa, aumentando considerablemente la

4 Desfase, en español.

producción académica en los ochenta (diSessa, 2014; Duit y Treagust, 2003). Estas investigaciones mostraron una variedad de denominaciones (Flores *et al*., s. f.) para el fenómeno investigado: "IP", "concepciones alternativas", "teorías implícitas", "razonamiento espontáneo", "teorías en acción", "errores conceptuales" y "preconceptos", entre otras. Tales denominaciones varían de acuerdo con la posición teórica adoptada de lo que significa *conocer* en educación en ciencias naturales y lo que se entiende como *aprender* en estas ciencias.[5] Sin embargo, la mayoría deja ver la intención de referirse a la manera como *genuinamente* piensan y explican los estudiantes los fenómenos científicos, si bien algunas otras —las menos— reflejan una división tajante entre las concepciones científicas y las estudiantiles —"errores conceptuales", por ejemplo—.

La interpretación de las llamadas IP se volvió un ejercicio necesario de investigación en el campo, dada la multitud de reportes de investigación referidos a diversos fenómenos y conceptos científicos, como lo muestra el repositorio elaborado por Pfundt y Duit entre 1985 y 1998. Sin embargo, las IP parecían concepciones independientes unas de otras sin un claro origen común ni una explicación que les diera sentido y organización, de modo que sobrevinieron los esfuerzos para solventar esta situación.

En primer lugar, fue necesario dar cuenta de la naturaleza de la investigación sobre IP. Flores *et al*. (s. f.) reportan diversas formas de concebir este fenómeno educativo, que dio gran impulso a la investigación dentro del campo de la didáctica de las ciencias; entre las principales posiciones adoptadas, los autores mencionan: considerar a las IP una especie de "miniteorías" parecidas a las generadas en las ciencias, concebirlas como "modelos representacionales" que forman parte de redes conceptuales en las que se establecen niveles jerárquicos y, por último, atribuirles una existencia temporal y circunstancial proveniente de una visión fenomenológica.

Este prolongado e intenso periodo de investigación dejó claro en la mente de los investigadores que los estudiantes tienen formas de pensar espontáneas —no provenientes de la enseñanza—, muchas veces apartadas de lo planteado en la ciencia escolar y, con mayor

5 Lo que no necesariamente significa lo mismo, pues se deben a dos tradiciones distintas; una más influenciada por la disciplina científica que pretende enseñarse y otra más referida a fundamentos psicológicos y teorías del aprendizaje.

razón, de la ciencia de los especialistas en cada campo disciplinar de referencia. De igual forma, permitió identificar un fenómeno central en nuestro campo de investigación, que es pilar indispensable en el planteamiento de la enseñanza: se ha puesto el foco de los esfuerzos del desarrollo curricular en la manera espontánea de pensar del estudiantado —por contraposición a los *conocimientos escolares previos*: supuestos o evidenciados— convirtiéndola en el punto de partida de la enseñanza de las ciencias. Así, el diseño de la enseñanza y el referente de conocimiento que se pretende alcanzar resultan prácticamente imposibles si no se toma en consideración cómo piensan espontáneamente los estudiantes, ya que tener presente ese pensamiento espontáneo puede prefigurar los posibles problemas de construcción de conocimiento científico escolar y permitir su valoración.

Después de este extenso e intensivo ejercicio de investigación para averiguar la forma de pensar de los estudiantes en ciencias naturales, el esfuerzo se centró en investigar sus concepciones acerca de los *conceptos* elaborados por la ciencia. Algunos ejemplos, de ninguna manera exhaustivos, fueron: "ser vivo" en el terreno de la biología, "fuerza" en el ámbito de la física y "enlace" en el campo de la química. Podemos tomar como ejemplo este caso de la física: *el calor pasa desde un objeto caliente hacia uno frío cuando están en contacto* (Erickson, 1979).

Pero ¿qué hacer con este resultado de investigación? ¿Cómo entender a qué se debe? ¿Cómo utilizar esta información en el planteamiento de la enseñanza? Además, ¿cómo proceder didácticamente para lograr el aprendizaje curricularmente esperado? Las respuestas podrían explicar el siguiente gran periodo de investigación en la didáctica de las ciencias o educación en ciencias, que consistió en plantear solución al problema de la transformación conceptual en la enseñanza de las ciencias naturales.

En este sentido, resulta primordial plantearse el problema del *cambio conceptual*, pues además de explicar por qué se presentan las IP en el pensamiento de los sujetos, podría aclarar cómo proceder para que el estudiantado cambie su manera de pensar, ya que las IP difieren —muchas de forma notable— de los planteamientos científicos. Al dejar atrás sus concepciones espontáneas, los sujetos logran acercarse a los *conceptos* de las disciplinas científicas. Queda así establecido el problema de cómo conseguir esto, lo cual constituye el "gran" asunto de la didáctica de las ciencias.

Es importante señalar que las investigaciones realizadas en torno a las llamadas IP se centraron en los *conceptos* científicos y no en la explicación estudiantil de los fenómenos científicos de importancia educativa planteados en el currículum, lo cual provocó que, en algunos casos, las concepciones estudiantiles se interpretaran como "errores conceptuales", ello aunado a una distinción tajante entre *conocimiento científico* y *conocimiento escolar* de las ciencias. Sin embargo, en el campo persistió el interés por entender el pensamiento estudiantil en sus propios términos y encontrar "la lógica" que explicara por qué los estudiantes piensan como lo hacen y no como nosotros quisiéramos que lo hicieran. O, por lo menos, por plantear racionalmente el problema de la transformación conceptual, lo cual derivó en orientar la investigación al estudio del *cambio conceptual*.

DESPUÉS SIGUIÓ EL CAMBIO CONCEPTUAL (CC)

Si el propósito de la investigación en didáctica de las ciencias consiste en aportar orientaciones —con algún fundamento teórico y con base en datos empíricos— a la consecución de los aprendizajes esperados establecidos en los currículos de ciencias, resulta indispensable proporcionar "luces" de cómo lograr la transformación o CC de los estudiantes hacia los conceptos alcanzados por la ciencia e incorporarlos en los programas de estudio. Para ello, hay que partir de las IP de los estudiantes y, de algún modo, transformarlas en los conceptos aceptados por la ciencia estándar o acercarlas lo más posible a estos.

Para entender las dos principales posiciones teóricas del CC —también estaría una posición *fenomenológica* ya mencionada—, podemos utilizar un texto de diSessa (2014) en el que describe la influencia que la historia y la filosofía de la ciencia ejercieron sobre la manera de concebir el CC. El autor refiere dos grandes posiciones que han sido determinantes en la investigación sobre CC: la posición kuhniana respecto a la construcción de conocimiento científico basada en el cambio paradigmático y la posición toulminiana sobre la comprensión humana; ambos enfoques son diferenciados y se identifican, respectivamente, con la *coherencia* —de T. Kuhn— y con la *fragmentación* —de S. Toulmin— del conocimiento científico.

Sin embargo, diSessa reconoce la aportación de Piaget[6] para el planteamiento del CC al señalar dos ideas por él introducidas (diSessa, 2014):

> [1] […] la idea de *epistemología genética* —el estudio de crecimiento lento del conocimiento e inteligencia— el cual contrasta con el anterior énfasis de los filósofos (ej. Platón, Descartes, Kant) en la atemporalidad y certeza.
>
> [2] […] la idea central del *constructivismo*: nuevas ideas siempre emergen de las antiguas. Por supuesto, esta orientación sembró la idea del cambio conceptual por sí misma. Constructivismo y la asombrosa revelación de que los niños sistemáticamente piensan bastante diferente de los adultos [y por consecuencia, de los planteamientos de la ciencia, podríamos añadir] constituye la más importante línea de los estudios piagetianos en el cambio conceptual. (pp. 3-4. Itálicas en el original)

Según T. Kuhn, la ciencia avanza a "saltos", esto es, hay periodos de "ciencia normal" que cambia mediante "revoluciones", transformando el panorama científico en un determinado dominio de conocimiento. DiSessa (2014) afirma que todo cambia al mismo tiempo en una "revolución científica": el problema de referencia, lo que se propone como solución, lo que se considera confiable, entre otros aspectos. Así planteado, el conocimiento no avanza incremental sino cualitativamente. Dichos "saltos" son *inconmensurables* con respecto a las concepciones de la "ciencia normal", pues las nuevas teorías no pueden ser formuladas en los mismos términos que las antiguas. Este planteamiento se convirtió en sustento de posiciones destacadas en el terreno del CC, al considerar las IP como una especie de "miniteorías" desarrolladas por los sujetos para dar cuenta de los fenómenos naturales.

En el caso de S. Toulmin, su planteamiento sobre la comprensión desarrollada por los humanos empieza por rechazar los supuestos de nivel y tipo de coherencia que diSessa (2014) denomina *sistematicidad* y que distintos filósofos asumían en el pensamiento científico. Con ello, Toulmin niega la hipótesis de que las teorías son completamente coherentes, lo que claramente contradice la posición de inconmensurabilidad respecto del cambio en las teorías científicas, por lo que solo

6 Este reconocimiento también lo hacen Duit y Treagust (2003).

puede haber "bolsas localizadas de sistematicidad lógica" (diSessa, 2014, p. 5). De esta manera, prosigue diSessa (2014) citando a Toulmin: "Este cambio de aproximación [lejos de una coherencia fuerte] obliga a abandonar todos aquellos análisis estáticos e instantáneos […] En cambio, debemos ofrecer un recuento más histórico, una foto en movimiento […]" (p. 5), y concluye afirmando que esto se compara con un cambio gradual de los estudios de un "antes y un después" en el CC, con los recuentos basados en procesos. Este último señalamiento es de gran importancia para el campo de la didáctica de las ciencias y será abordado posteriormente, pues sugiere documentar el CC, no a partir de los cambios de conceptos o teorías, sino en forma de transformaciones progresivas mostradas en estudios —muy probablemente longitudinales y dentro de un mismo dominio de conocimiento— de un mismo fenómeno.

Antes de seguir con la expansión de esta última idea sobre investigaciones longitudinales, es necesario recapitular el tratamiento del CC. DiSessa (2014) organiza las distintas contribuciones en el campo del CC y ubica a los principales autores dentro de la organización lograda con base en las ideas de *coherencia* y *fragmentación*, ya enunciadas. Así, refiere que dentro de ellas se pueden distinguir tres grandes corrientes: 1) CC *en dominios particulares de conocimiento,* en la que se ubica, entre otros autores, S. Carey —cambio de creencias y conceptos—; 2) *conocimiento en pedazos,* en la cual se inscriben el mismo diSessa junto a J. Minstrell; y 3) *fragmentos de teoría,* donde son relevantes los aportes de M. Chi —cambio de ontologías— y de S. Vosniadou —cambio de teorías— alrededor de dos ideas: las entidades mentales involucradas y su organización dentro del CC, y por qué el CC es difícil y cómo sucede cuando se presenta. DiSessa destaca el aporte de M. Chi, quien señala que el CC involucra el uso de una ontología —entes con sus propiedades y procesos— diferente a la previa. De ahí que M. Chi sugiera enseñar primero la nueva ontología y después revisar los conceptos, para que crezcan naturalmente dentro de tal ontología.

Sin embargo, diSessa (2014) reconoce que su posición del "conocimiento en pedazos" —las famosas *p-prims*— no ha sido dominante dentro del campo de la psicología del desarrollo, si bien ha recibido cada vez mayor apoyo dentro del campo educativo. Asimismo, indica que los conceptos clásicos del CC —como conceptos, teorías, ontologías— no están a la altura del trabajo científico de explicar el CC y que

se necesitan nuevos términos. Por último, afirma que "confrontar y reemplazar" —ideas, conceptos, teorías, ontologías— es una estrategia instruccional inverosímil, lo que resulta poco deseable también.

Por su parte, Duit y Treagust (2003) mantienen una posición alternativa con respecto al CC y organizan la investigación realizada en este campo. Impulsan una mezcla de perspectivas de constructivismo moderado —no radical— y de carácter socioconstructivista, y afirman que en el campo de la educación en ciencia hay un creciente número de multiperspectivas —que incluyen aspectos epistemológicos, ontológicos, sociales y afectivos— que prometen mejorar la enseñanza y el aprendizaje de la ciencia. Además, estos autores también organizan las posiciones adoptadas respecto del CC, si bien difieren de la postura mostrada líneas arriba por diSessa (2014). Tal organización se consolida con respecto a tres posiciones: epistemológica —posición *clásica* dentro del CC—, ontológica y social/afectiva. En el desglose que hacen de cada una, ubican a los principales investigadores en el campo. Así, en la postura *clásica* citan un famoso trabajo de G. J. Posner, K. A. Strike, P. W. Hewson y W. A. Gertzog (1982) en el que se habla de un estudiante insatisfecho con su concepción previa, que se pensó que era impulsado al CC radical al contar con una concepción de reemplazo inteligible, factible y fructífera. Pero también mencionan como posiciones alternativas, entre otras, la *ontológica* de M. Chi, P. Thagard y S. Vosniadou, quienes utilizan explícitamente términos ontológicos para describir cambios en la manera en la que los estudiantes conceptualizan entidades científicas. También mencionan la posición que denominan "habilidad estudiantil para modelizar", respecto a la cual indican que la habilidad para construir un modelo es una herramienta particularmente útil para identificar cambios en epistemologías y ontologías durante el aprendizaje de la ciencia. En esta postura se nombran, sobre todo, los trabajos de J. Gilbert y colaboradores.

Para finalizar esta sección, habría que destacar las siguientes ideas: 1) los primeros trabajos sobre IP y CC estuvieron muy focalizados en los conceptos y teorías, motivo de enseñanza de ciencias; 2) los trabajos aquí citados de diSessa y de Duit y Treagust señalan la constante competencia entre las posiciones adoptadas respecto al CC por educadores —provenientes de la educación en ciencias— y psicólogos cognitivos, además de la insatisfacción —debido a su complejidad y falta de consideración por las condiciones reales de

clase que no permiten los estudios controlados— de los docentes sobre estas aportaciones de investigación en el terreno de la docencia; y 3) la aparición de una corriente de investigación diferente en el campo, esto es la de modelos/modelización, se considera útil para reconocer cambios de carácter epistemológico y ontológico en el aprendizaje de la ciencia.

POR DÓNDE PROSEGUIR LA INVESTIGACIÓN DIDÁCTICA (ID)

Pareciera ser que, después del entusiasmo por el CC, las IP y las propuestas alternativas que le siguieron —y que fueron previamente expuestas a grandes rasgos—, los senderos de la investigación en el campo tomaron otros rumbos.

Desde luego, pueden encontrarse entre estos últimos los esfuerzos de estudios con visión intercultural, los que ahondaron en cuestiones afectivas, aquellos que destacaron la metacognición y la autorregulación en el aprendizaje, la incursión en el abordaje de aspectos sociocientíficos en el aprendizaje, entre otros. Pero hay uno que destaca, y es el relacionado con el papel de los modelos en las explicaciones científicas: está el caso del artículo de Gilbert, Boulter y Rutherford (1998), que fue acompañado por varios más, como el de J. Gilbert *et al.* —hasta recientemente antes de su fallecimiento—. Con estas propuestas, se instala en el horizonte de la investigación una línea de trabajo y colaboración en torno al asunto de los *modelos* y la *modelización* en la enseñanza y la construcción de conocimiento en las aulas.

Pero hay otra línea de investigación que parte de las preocupaciones de los educadores en ciencias al ver insatisfechas las expectativas de la investigación didáctica (ID) de transformar la calidad de la enseñanza y el aprendizaje de las ciencias. Así lo expresa Linjse (2010), al mencionar que el resultado de la ID —desarrollo curricular— generalmente radica más en estrategias generales, por más alojada que esté la ciencia cognitiva en la teoría y en modernas filosofías del conocimiento. Esto podría explicar las quejas producidas por la brecha entre teoría y práctica. Añade, además, que nuestras teorías debieran contribuir, no tanto a elaborar ideas generales de enseñanza y aprendizaje —aunque debiéramos apoyarnos en ellas—, sino a entender y mejorar la práctica de la enseñanza de las ciencias.

Y qué mejor manera de hacerlo que ofreciendo *secuencias didácticas*[7] o *secuencias de enseñanza y aprendizaje*[8] —fundamentadas teóricamente y validadas en la práctica— a los profesores y trabajarlas con ellos.

Por otra parte, también hay un marcado interés de la comunidad académica internacional sobre las secuencias didácticas o secuencias de enseñanza y aprendizaje, que se manifiesta, por ejemplo, al dedicarles todo un número del *International Journal of Science Education* (volumen 26(5), cfr. Méheut y Psillos, 2004). En el artículo introductorio de dicha publicación se analizan las contribuciones seleccionadas que los investigadores han venido desarrollando en varios tipos de investigación/intervención para mejorar la comprensión del conocimiento científico de los estudiantes. Se trata de una notable línea de indagación —que data de los años ochenta y que atrajo la atención de la comunidad europea de investigación a mediados de los noventa por la postura de Linjse— que involucra el diseño e implementación de secuencias de no muy larga duración y orientadas por un tópico en distintas áreas de conocimiento de las ciencias naturales.

En el mencionado artículo de Méheut y Psillos (2004), los autores analizan las contribuciones reportadas en el número de la revista mencionada, con base en lo que denominan "rombo didáctico"[9] —que comprende los vértices: "profesor", "alumnos", "conocimiento científico" y "mundo real"—, el cual no es más que el "desdoblamiento" en el triángulo didáctico —"profesor", "alumnos" y "contenidos"— del vértice denominado "contenidos". De igual forma, agrupan las contribuciones alrededor de los ejes analíticos "constructivismo psicológico", "constructivismo epistémico" y "constructivismo integrado". Bajo la inspiración de este artículo y del de Psillos y Kariotogou (2016), nació la idea, en un grupo doctoral de seminario de formación (López-Mota *et al*., 2019), de hacer un trabajo de revisión en el terreno de las secuencias didácticas en ciencias y "rastrear" lo que pudieran ser distintas corrientes de investigación, cuyos resultados fueron utilizados en varias conferencias.[10]

7 Denominación acorde con una visión de didáctica de las ciencias.

8 Denominación acorde con una perspectiva anglosajona y presente en la perspectiva de la *science education*.

9 Del cual presento una modificación en término de modelos y modelización en López-Mota y Moreno-Arcuri (2014) y en López y Mota (2019).

10 Las presentaciones se pueden consultar en la plataforma ResearchGate bajo el nombre de López y Mota, Á. D. (2020a; 2020b; 2020c).

Para la conformación de las distintas corrientes, se identificaron sus autores líderes y se averiguó la presencia de ciertas categorías analíticas en los escritos consultados:[11] "bases epistemológicas", "aprendizaje/conocimiento", "sistema didáctico", "referente disciplinar", "concepciones estudiantiles", "intervención didáctica" y "validación". Las corrientes identificadas fueron: 1) Grupo de París, con la "ingeniería didáctica" (Artigue, 1995); 2) Grupo de Utrecht, con la "investigación en desarrollo" (Linjse, 2010); 3) Grupo de Leeds, con la "demanda de aprendizaje" (Leach y Scott, 2002); 4) Grupo de Lyon, con la "hipótesis de aprendizaje"(Buty, Tiberghien y Le Maréchal, 2004); 5) Grupo de Kiel, con "modelo de reconstrucción educativa" (Duit, 2006); y 6) Grupo de Barcelona, con "modelos científicos escolares" (Adúriz-Bravo e Izquierdo-Aymerich, 2009).

La conformación de las "corrientes" a partir las categorías analíticas utilizadas dejó en claro, entre otros, los siguientes aspectos relacionados con las secuencias didácticas: la identificación de limitaciones que presenta validarlas bajo el formato *pretest/postest*, como la dificultad de atribuir causalidad a la secuencia didáctica sobre los cambios logrados —por correspondiente dificultad de controlar variables en el salón de clases— y el problema de definir, en el curso de la secuencia, qué decisiones didácticas —en el diseño de la misma— fueron responsables de los comportamientos cognitivos conseguidos (Méheut y Psillos, 2004).

Además, podría mencionarse también que el formato de validación *pretest/postest* da cuenta del cambio en el comportamiento cognitivo de los sujetos, sin embargo, no ofrece clara idea de si el cambio logrado va en la dirección pretendida con el diseño de la secuencia didáctica. De aquí la ventaja de postular hipótesis *a priori* de los resultados que se quieren obtener y confrontarlos con los resultados de aplicar tales diseños de enseñanza, como se comentará más adelante en este texto.

En la siguiente sección pretendemos mostrar la manera de integrar en un programa de investigación las inquietudes que han ido provocando diversos pasajes de la investigación en el campo y que han sido retomadas de manera muy breve en este texto: IP, CC,

11 Para lo cual sirvió de base el trabajo de Psillos y Kariotoglou (2016).

"secuencias didácticas" y "modelos/modelización". La pregunta es: ¿por dónde transitar en la investigación con estos antecedentes? Trataremos de contestar esa pregunta a continuación.

DISEÑO Y VALIDACIÓN DE SECUENCIAS DIDÁCTICAS (SD)

Perspectiva de modelos y modelización

Antes de empezar a esbozar la propuesta de investigación que integra los elementos enunciados en el párrafo anterior, es conveniente precisar algunos asuntos relativos al propósito de tal trabajo, los principios adoptados en el mismo y la articulación de asuntos tratados en el desarrollo del texto.

Este documento no tiene la intención de hacer un recorrido histórico "punto por punto" de la literatura de investigación en el campo de la *science education*, como se le conoce internacionalmente. Sin embargo, conserva un matiz de la didáctica de las ciencias por la posición que adopta: enfatizar un rasgo fundamental del campo, que es servir para mejorar la enseñanza y el aprendizaje de las ciencias naturales. Como lo expresan Adúriz-Bravo e Izquierdo-Aymerich (2002), quienes conciben la didáctica de las ciencias como un campo de conocimiento por derecho propio, se trata de

> […] una *disciplina* por el momento autónoma, centrada en los contenidos de las ciencias desde el punto de vista de su enseñanza y aprendizaje (esto es, una disciplina de basamento mayormente epistemológico), y nutrida por los hallazgos de otras disciplinas ocupadas de la cognición y el aprendizaje (la psicología y las del área de la ciencia cognitiva). (p. 136. Itálicas en el original)

De aquí puede inferirse que el principal propósito de este campo consiste en mejorar la enseñanza y el aprendizaje, si bien más adelante se argumentará en favor de adoptar la noción de *construcción de conocimiento científico escolar*, en vez del de aprendizaje.[12]

12 Con el fin de irse distanciando del "matriarcado" de la psicología educativa e ir construyendo una propuesta netamente didáctica.

Los asuntos aquí abordados brevemente tienen la intención de retomar algunas de las preocupaciones manifiestas en el desarrollo del campo. Está, por ejemplo, la necesidad manifiesta en la investigación sobre IP de partir del pensamiento espontáneo de los estudiantes, pues ellos piensan espontáneamente a su modo y no como quisiéramos que pensaran —o como lo plantea la ciencia estándar—, y es sobre esa base que se deben construir las concepciones aceptadas por la ciencia.

Otro caso es el del CC, que estuvo centrado en transformar los conceptos espontáneos de los estudiantes por los conceptos científicos, en un principio con una visión muy simplista de "quitar uno para poner otro", lo *naïve* por lo sofisticado, en el sentido de alejarse del sentido común y ser contraintuitivo. Por ello, el esfuerzo estuvo centrado en identificar los principales contenidos de enseñanza —conceptos y teorías— para transformarlos mediante distintas estrategias docentes de sustento epistemológico, ontológico, contextual, intercultural, entre otros. Sin embargo, aquí haremos énfasis —acorde con una perspectiva de "modelos y modelización"— en los elementos de referencia para plantear la enseñanza. Tales referentes deberían ser fenómenos científicos con valor educativo —por ejemplo, la obesidad, la diversidad de especies, etcétera; en general fenómenos sociocientíficos— y no conceptos y teorías, pues el interés es explicar tales fenómenos mediante la construcción de *modelos científicos escolares* utilizando procesos de *modelización*.

Pero ¿dónde se incorpora, en nuestro planteamiento, el interés por el diseño y la validación de secuencias didácticas? Con la intención de mejorar la enseñanza y la construcción de conocimiento científico escolar, el diseño y la validación de secuencias se realizan, precisamente, desde la perspectiva de modelos y modelización. Por tal motivo, la propuesta que se hará a continuación contiene alternativas surgidas del interés por las IP y el CC en un contexto de desarrollo curricular y con una perspectiva de modelización.

Secuencias didácticas: encuadre

Para enmarcar las acciones correspondientes al diseño y validación de secuencias didácticas (SD) dentro del campo de investigación, utilizaremos el modelo de reconstrucción educativa (MRE) (Duit, 2006). Como puede observarse en la figura 1.1, el MRE considera tres ámbitos:

1) el que contiene la manera de proceder para delimitar los "contenidos" de enseñanza; 2) el que hace referencia a la investigación sobre la enseñanza y el aprendizaje; y 3) aquel en el que puede observarse el desarrollo y la evaluación de la enseñanza. Queda claro entonces que el diseño y validación de SD está inserto, por un lado, en su función de mejorar la enseñanza y construir conocimiento científico escolar y, por otro, en el desarrollo curricular.

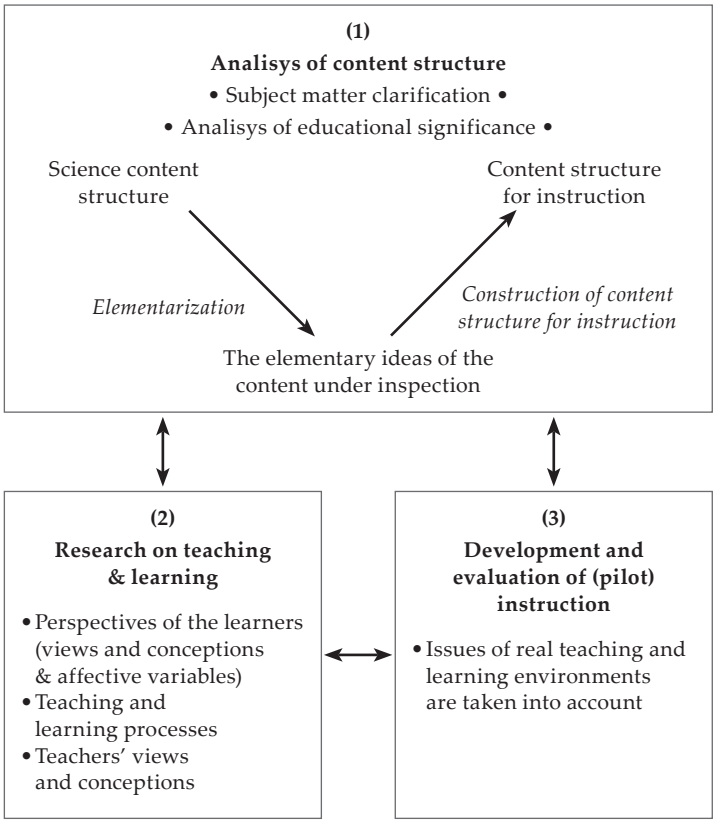


Figura 1.1. Modelo de reconstrucción educativa
Fuente: Duit (2007, p. 6).

Como se ha indicado previamente, en este texto se prefiere la denominación SD a la expresión en inglés —*teaching and learning sequences* (TLS)—, si bien otros términos como "unidad didáctica" o "secuencia de enseñanza y aprendizaje" todavía son utilizados (Couso, 2011). Hacemos la adopción de este término debido a la incorporación de un "contenido" disciplinario específico en el proceso de enseñar y "aprender" en el contexto del desarrollo de un currículo de ciencias y con una perspectiva didáctica de modelos y modelización.

Previamente se esbozó la propuesta de sustituir "aprendizaje" por "construcción de conocimiento", que se justifica en varias razones sugeridas: el concepto de aprendizaje es independiente del dominio del conocimiento,[13] para estar de acuerdo con un genuino *constructivismo,*[14] por lo que es preciso recuperar la noción de que el conocimiento se encuentra, de alguna manera, fragmentado,[15] más que presentarse de manera coherente en todos los dominios de conocimiento, y para concordar con el planteamiento de "modelos/modelización".[16]

Secuencias didácticas: dimensiones

Desde nuestra perspectiva, las SD tienen varias *dimensiones* (ver figura 1.2): una que da cuenta de su sustento y orientación y se encuentra fuera de la disciplina de la didáctica de las ciencias, otra que establece el rol de tal sustento y orientación con fundamentos teóricos dentro de la disciplina misma y, finalmente, una que sugiere un campo de desarrollo propiamente didáctico —la disciplina científica de la didáctica de las ciencias—. Estas *dimensiones* corresponden, en primer lugar, a un ámbito de inspiración *metacientífico*, como puede serlo el de la filosofía de la ciencia. En segundo lugar, está el ámbito *teórico,* que da pie a la introducción de nuevos conceptos con carga teorizante y que instala visiones dentro de la didáctica de las ciencias. Por último, tenemos el ámbito *científico,* en el cual se presentan los resultados de ID, amparados en planteamientos teóricos y metodológicos propios, pero conectados con alguna disciplina científica —biología, física, química— fuera del campo didáctico.

13 Precisamente la crítica de R. Driver a J. Piaget acerca de que el comportamiento cognitivo de los sujetos no se limita a lo planteado por la teoría, la cual planteaba la homogeneidad de comportamientos independientemente del dominio de conocimiento en cuestión y a la que Piaget respondió con la propuesta de los *décalages*.

14 Como se citó a Piaget: "nuevas ideas siempre emergen de las antiguas".

15 Hace referencia a la discusión descrita sobre CC, como lo presenta diSessa: entre los seguidores de Kuhn o los partidarios de Toulmin. Nos inclinamos a pensar, desde el punto de vista didáctico y dadas las evidencias de investigación, que el conocimiento se encuentra fragmentado, lo cual requiere una construcción de conocimiento científico escolar por dominios de conocimiento y no por cambios radicales de carácter epistemológico u ontológico. Si el pensamiento espontáneo puede interpretarse como "teorías", le corresponde esencialmente a la ciencia cognitiva hacerlo, pero no necesariamente al planteamiento didáctico.

16 Ya que la construcción de conocimiento científico y conocimiento científico escolar tiene como referente un fenómeno científico en un dominio específico e implica el diseño y validación de SD, orientadas estas a explicar diversos fenómenos científicos de valor educativo y no al abordaje de aprendizajes generales no sustentados en ID.

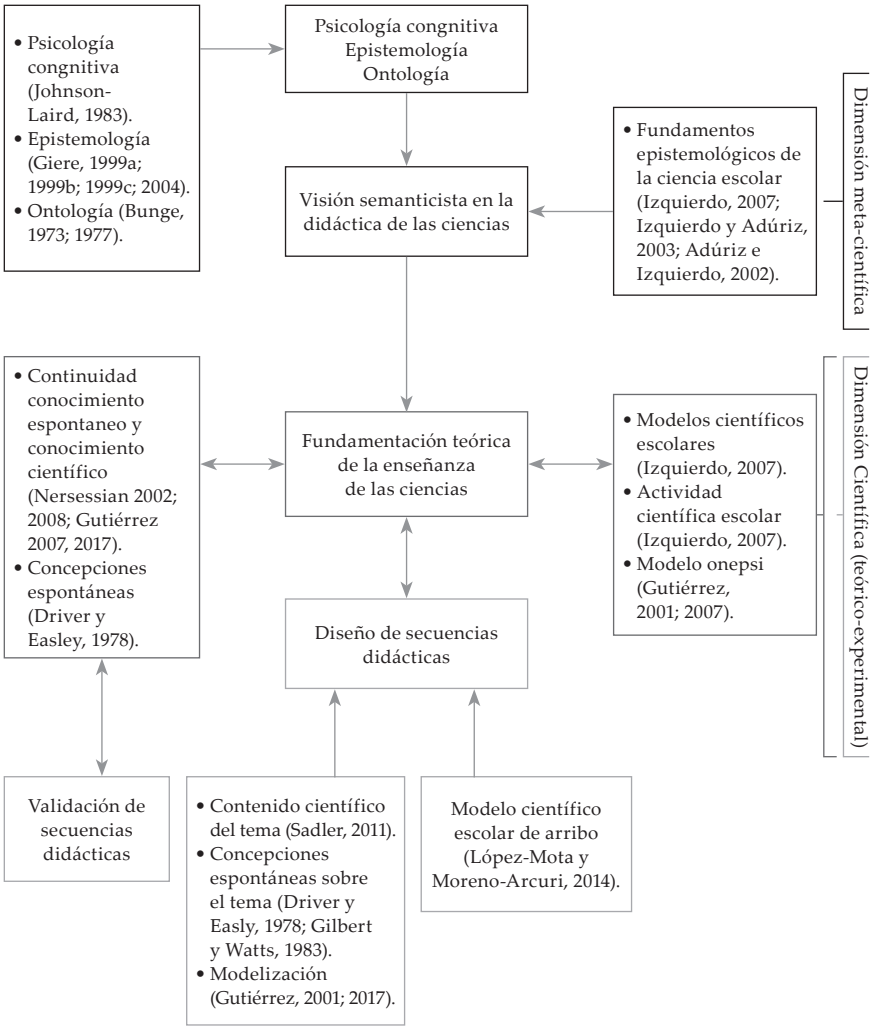


Figura 1.2. Dimensiones por considerar en el diseño y validación de secuencias didácticas para el caso de modelos/modelización
Fuente: López y Mota (2019, p. 37).

Así, nuestro encuadre *metateórico* se inscribe en la epistemología semanticista de Giere (1999a, 1999b, 1999c, 2004), que está en la base de nuestros planteamientos sobre SD, los cuales ya han sido reportados en diversos trabajos (Moreno-Arcuri y López y Mota, 2013; López y Mota y Moreno-Arcuri, 2014; Pereda-García y López y Mota, 2016; López y Mota, 2019; Galvis Solano y López y Mota, 2020).

Para un abordaje más detallado sobre la posición *semanticista* de carácter epistemológico en su fuente directa, está el texto de Giere (2004) y también nuestra interpretación para el ámbito del diseño y validación de SD (López-Mota y Moreno-Arcuri, 2014; López y Mota, 2019).

En los textos citados se plantea que, para construir conocimiento científico, hay que tomar en cuenta las prácticas de la comunidad científica y priorizar la intención *semanticista* de comprender el mundo natural, por encima de la de carácter *sintáctico,* que se caracteriza por dar explicaciones acerca de los fenómenos otorgándole énfasis a la postulación de principios para formalizar lógica y matemáticamente la explicación con apego riguroso a estas dos últimas disciplinas.

Así, nos inclinamos por una visión que ponga por delante el propósito de comprender, utilizando todos los medios que permitan representar la explicación de los fenómenos: dibujos, tablas, descripciones en prosa, mapas, diagramas, etcétera. Igualmente, optamos por ubicarnos, en términos epistemológicos, entre las teorías y los fenómenos, esto es, en el terreno de la construcción de *modelos* —como se hace en las comunidades científicas— para dar cuenta de la realidad natural.

Este ha sido nuestro sustento para adelantar la idea de que en las SD los estudiantes construyen explicaciones por medio de la *modelización*. Con ello nos apartamos de la visión de los "contenidos" de enseñanza, desde la perspectiva del CC, en donde la atención está centrada en los conceptos y las teorías. En cambio, nosotros nos centramos en la explicación de los *referentes* —fenómenos científicos con valor educativo— mediante procesos de *modelización*, para lograr construir "conocimiento científico escolar", el cual trataremos un poco más adelante.

Nuestra postura *teórica* está anclada en la idea de que, en las aulas, las actividades de enseñanza y construcción de conocimiento forman parte de la *ciencia escolar*, que es desarrollada bajo los conceptos de *actividad científica escolar* y *modelos científicos escolares* (Izquierdo-Aymerich y Adúriz-Bravo, 2003; Izquierdo-Aymerich, 2007; Adúriz-Bravo e Izquierdo-Aymerich, 2009).

En el texto de Izquierdo-Aymerich (2007) se entiende la actividad científica escolar como una concepción cognitiva de ciencia, con origen en planteamientos de R. Giere sobre modelos científicos, lo que significa —en el terreno didáctico— que el conocimiento construido por estudiantes debe ser teórico y práctico a la vez, y con sustento racional en la ciencia y en las personas. De esta manera, la actividad científica en las escuelas impulsa saberes teóricos incorporados en la enseñanza, donde lo que importa es "enseñar" y construir"

modelos con estudiantes que den significado a los hechos y no transmitir conceptos, lenguajes o hechos ya interpretados; esto refleja la intención de incorporar una visión de ciencia que promueva la comprensión y no la memorización. Así, la actividad cognitiva orientada a la comprensión implica la construcción de "modelos científicos escolares" (Adúriz-Bravo e Izquierdo-Aymerich, 2009), que requieren del pensamiento teórico para explicar los fenómenos naturales del mundo. Como afirma Izquierdo-Aymerich (2007):

> Enseñar ciencias es enseñar a pensar de manera teórica y para ello este concepto de *teoría* [cognitiva de hacer ciencia] resulta muy adecuado, puesto que destaca algo muy importante: que las teorías son para comprender el funcionamiento del mundo y que nunca la supuesta "verdad" o "rigor" de una teoría ha de hacer más opaca nuestra relación con los fenómenos. (p. 132)

La "actividad científica escolar" y la construcción de modelos científicos escolares que componen la *dimensión teórica* van acompañadas de la adopción de un supuesto esencial para configurar una propuesta *teórico-metodológica* en el terreno propio de la didáctica de las ciencias, esto es, de la disciplina científica. Tal supuesto tiene que ver con la continuidad entre el pensamiento espontáneo y el conocimiento científico. Pero, antes de tratar este asunto, revisemos brevemente la importancia que tiene, para el diseño de SD y para su implementación, la consideración del pensamiento espontáneo dentro de tal esquema.

Secuencias didácticas y pensamiento espontáneo

En la revisión de las diferentes corrientes sobre propuestas de diseño y validación de SD (Méheut y Psillos, 2004; López-Mota *et al*., 2019) se encontró que prácticamente todas parten de la idea de tomar en cuenta la manera espontánea de pensar de los estudiantes. De ello podemos asumir que todo diseño de las SD debería asumirlas como punto de partida para plantear la enseñanza —aunque no el único, pues también están el planteamiento curricular y el científico-"universitario" del asunto en cuestión—.

Por lo tanto, es necesario plantear cómo comprender el tránsito del pensamiento espontáneo al planteamiento científico —lo más cercano posible, según las condiciones específicas—. Un aspecto

esencial de tal tránsito consiste en la conceptualización acerca de si el pensamiento espontáneo y el pensamiento científico son *inconmensurables*, o bien puede pensarse que entre ellos no hay grandes diferencias y que, esencialmente, ambos tienen las mismas características, solo que en grado diverso.

Con fundamento en investigaciones histórico-cognitivas, Nersessian (2002, p. 135) parece no tener duda acerca de la hipótesis de continuidad entre las prácticas cognitivas de los científicos y las prácticas humanas para enfrentar el entorno físico y social y para resolver problemas ordinarios, al ser consideradas las primeras una extensión de las segundas. Añade que los científicos extienden y refinan estrategias cognitivas básicas y las convierten en intentos reflexivos y críticos para diseñar métodos de comprensión de la naturaleza.

La continuidad entre pensamiento espontáneo y pensamiento científico puede sintetizarse —en término de modelos— en palabras de Nersessian (2002):

> Mi análisis del razonamiento basado en modelos adopta únicamente una hipótesis "minimalista": [aquella de que] en ciertas tareas de resolución de problemas, los humanos razonan mediante la construcción de modelos mentales de las situaciones, eventos y procesos [presentes] en la memoria de trabajo que, en casos dinámicos, puede ser manipulada mediante simulaciones. (p. 142)

En el tercer nivel —después del *metateórico* y del *teórico*— tenemos los asuntos *teórico-metodológico-empíricos*, correspondientes al nivel científico, con base en los supuestos aceptados en los dos niveles anteriores.

Así, nos encontramos en la posición de poder poner en operación los supuestos *metateóricos* asumidos —epistemología semanticista e hipótesis de continuidad— y los mencionados de carácter *teórico* —actividad científica escolar y modelos científicos escolares—, que serán explicados en el llamado tercer nivel, el de lo *teórico-metodológico-empírico*, cuyos supuestos abordaremos a continuación.

Hemos construido nuestra propuesta para diseñar y validar SD con base en dos ideas del pensamiento de R. Gutiérrez, las cuales tienen que ver con lo que ella denomina "modelo ONEPSI" (ONtológico, EPistemológico, PSIcológico) (Gutiérrez, 2001; 2007).

El modelo ONEPSI responde a la necesidad de utilizar un dispositivo de carácter teórico-metodológico para monitorear las formas en que se lleva a cabo el CC en los sujetos, al pasar de una concepción a otra. La autora reconoce que dicho modelo está apoyado en un "modelo mental mecánico" proveniente de la implementación de programas computacionales en máquinas inteligentes, mediante el uso de modelos mentales. Sus características están fundadas en creencias personales y hechos identificados en contextos culturales —en forma de restricciones de carácter ontológico y epistemológico—, así como en un "motor" psicológico que mueve a los estudiantes a cambiar sus concepciones (ver figura 1.3).

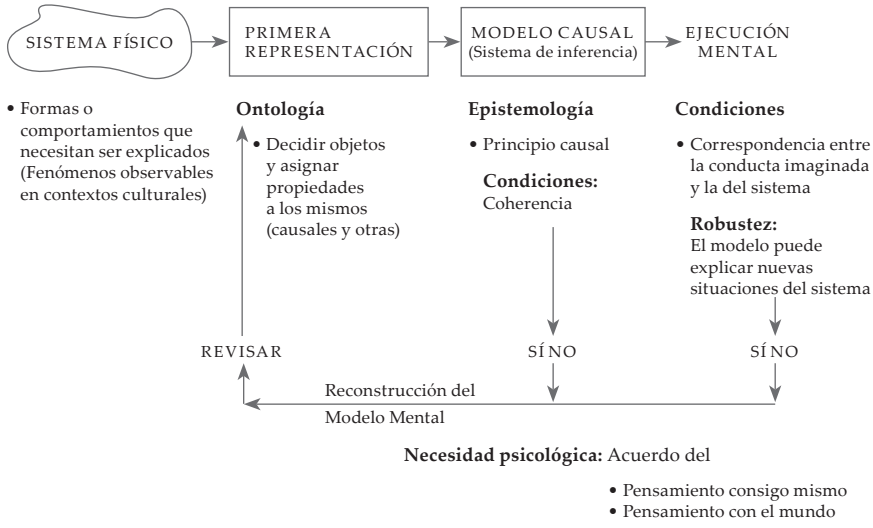


Figura 1.3. Modelo ONEPSI para la construcción y reconstrucción de modelos mentales
Fuente: Gutiérrez (2007, p. 580).

La propuesta de R. Gutiérrez asume que los sujetos construyen modelos mentales al momento de observar un sistema físico dinámico, cuando desean explicar cómo funciona y pueden predecir cómo cambiará en el tiempo. Los elementos que componen el modelo mental concebido por Gutiérrez (2001, 2007) son: 1) obtención de una "primera representación" mental del comportamiento de un sistema físico que contiene las entidades y sus propiedades consideradas importantes en función del modelo que se quiere elaborar; 2) producción de otra representación interna de carácter causal que explica la relación entre entidades y permite predecir futuros comportamientos del modelo; 3) construcción de un modelo mental que tiene la

propiedad de ejecutarse mentalmente; con lo cual es posible comparar el comportamiento del modelo causal así construido con la conducta del sistema real y comprobar si el comportamiento modelizado se corresponde con el comportamiento del sistema físico real.

El modelo causal elaborado por los sujetos debe ajustarse a ciertas restricciones señaladas por Gutiérrez (2001; 2007), pues el modelo tiene que ser: 1) *coherente* con las entidades y propiedades del sistema físico en estudio; 2) *correspondiente*, es decir que el comportamiento del modelo causal debe coincidir con el comportamiento del sistema real; 3) *robusto,* o sea, que el modelo mental construido debe servir para nuevas o inesperadas conductas del sistema.

De esta manera, el modelo ONEPSI integra el sistema de creencias —ontológico y epistemológico— espontáneas de los individuos y muestra el funcionamiento de este modelo mental en la construcción y reconstrucción del conocimiento que se adquiere sobre el sistema físico que se observa. Así, este proceso describe mecanismos espontáneos de construcción de los sujetos.

Este interés por los mecanismos cognitivos finos para monitorear la dinámica de las transformaciones en la construcción de conocimiento de los estudiantes ha dado pie a una formulación precisa y clara de modelo científico, el cual puede aplicarse tanto al ámbito del pensamiento científico como al del pensamiento espontáneo —debido a la hipótesis de continuidad entre estos dos tipos de pensamiento, construida por Nersessian—: "Un modelo científico es una representación real o conjeturada de un sistema, consistente en un conjunto de objetos, *con una lista de sus principales propiedades* y un conjunto *de enunciados legales* que declaran el comportamiento de tales objetos" (Gutiérrez y Pintó, 2005, p. 866).

Esta definición de modelo ha sido pieza fundamental —en nuestro caso— para hacer operable, en la investigación en SD, el concepto de modelo científico escolar de arribo (MCEA), que será´ abordado a continuación.

Secuencias didácticas y un referente al cual arribar

El concepto de MCEA responde a varias necesidades (López-Mota y Moreno-Arcuri, 2014) en la investigación sobre SD: 1) "anclar" en la didáctica una preocupación metacientífica de hacer ciencia con una

perspectiva semanticista de la epistemología; 2) dar "corporeidad" al concepto de "modelo científico escolar" surgido en el ámbito teórico de la didáctica; 3) establecer un "punto" de referencia al cual arribar mediante el desarrollo de una secuencia didáctica; y 4) disponer de un "venero" para derivar criterios que serán utilizados en el diseño y validación de SD.

El MCEA consiste en un dispositivo teórico-metodológico que permite, por una parte, su postulación como referente para ser alcanzado y, por lo tanto, poder establecerse como hipótesis de logro y, por otro lado, posibilita que esta hipótesis pueda ser confirmada con los resultados obtenidos por estudiantes al finalizar la secuencia didáctica. De esta manera, se puede saber qué tan cercanos se encuentran los resultados obtenidos respecto a la postulación teórica que se quiere poner a prueba (Pereda-García y López-Mota, 2016; Galvis Solano y López-Mota, 2020). Así, se obtiene información relativa a la cercanía de los resultados en relación con lo que se pretendió lograr, y no solamente encontrar si hubo cambio en las conductas cognitivas —*pretest vs. postest*—, dejando de lado si se hizo en la dirección deseada.

Sin embargo, para hacer viable el MCEA es necesario introducir un concepto de *modelo* y aplicarlo a los dos ámbitos, el del pensamiento espontáneo y el científico; esto es posible gracias al concepto de *modelo científico* de Gutiérrez (2001; 2007), ya mencionado, y a la *hipótesis de continuidad* entre estos dos tipos de pensamiento (Nersessian, 2002).

Esta definición de modelo científico puede actuar como "medio homogeneizante" para comparar tres componentes del MCEA: el cognitivo espontáneo de los estudiantes, el curricular y el científico, relativos a las explicaciones sobre un fenómeno natural con valor educativo (López y Mota, 2019). Pero para comparar con justeza estos elementos, es decir, ponerlos en "tensión", se requiere que los tres estén expresados en forma de modelos.

Así, el *modelo estudiantil inicial* (MEI) está constituido por representaciones estudiantiles evidenciadas en la literatura especializada —IP, etcétera—, pero analizadas bajo la definición de modelo adoptada, aunque también pueden inferirse por diversas técnicas mediante la evocación de los modelos mentales de los estudiantes.

El *modelo curricular* (MCU) es la representación que se puede inferir de un planteamiento curricular respecto a cómo se explica un fenómeno natural que es objeto de enseñanza, lo cual se logra a partir del análisis de los contenidos temáticos presentes en el currículo, manteniendo la definición de modelo adoptada.

En lo que toca al *modelo científico* (MCI), está conformado por las representaciones científicas que explican un fenómeno determinado. Esto requiere un trabajo de búsqueda en textos universitarios de nivel básico y de construcción de explicaciones de los fenómenos naturales de referencia, ya que los libros no están escritos para dar a conocer los modelos que permitieron la formulación de leyes y teorías —que sí se encuentran en los libros de texto—.

La postulación del MCEA es posible mediante el análisis de semejanzas y diferencias entre los tres modelos mencionados (Galvis Solano y López-Mota, 2020) en lo que respecta a entidades, propiedades, relaciones causales e inferencias acerca de las generalizaciones sobre el comportamiento del fenómeno en cuestión; se busca identificar los "huecos" presentes en el MEI, en función de lo planteado en el MCU y el MCI, configurar el MCEA, derivar criterios de diseño de la SD y analizar sus resultados (López y Mota, 2019).

Con el MCEA es posible establecer el modelo de referencia que se pretende alcanzar —sujeto a sucesivas aproximaciones—, derivar criterios de diseño de SD, diseñar la SD con categorías analíticas precisas —entidades, propiedades, relaciones causales y reglas de inferencia—, y hacer posible la compulsa entre el modelo de referencia y los modelos alcanzados por estudiantes o grupos de estudiantes —hasta en tres niveles: "básico", "intermedio" y "avanzado"—.

Así pues, el MCEA incorpora, para su elaboración, tres ámbitos que se deben tener en cuenta: 1) el pensamiento espontáneo de los estudiantes, 2) el planteamiento curricular y 3) la explicación científica en un nivel universitario.

El primer ámbito es esencial, pues integra el pensamiento espontáneo de los estudiantes al planteamiento didáctico —aspecto sobre el que se ha insistido desde el principio en este texto—, pero con la característica de que tal pensamiento es expresado en términos de modelos, con la definición de modelo científico citada previamente. El segundo también es expresado en forma de modelos y es

inferido del planteamiento curricular en cuestión. El tercer ámbito es construido tomando como referencia los planteamientos a nivel universitario y también es expresado en términos de modelos. Con esto aseguramos que se puedan comparar con las mismas categorías analíticas, si bien es de esperarse que las entidades, propiedades, relaciones causales y reglas de inferencia muestren diferencias con el pensamiento científico y reflejen la naturaleza intuitiva del pensamiento espontáneo. Así, al planteamiento se integran el sujeto estudiante, lo curricular y el conocimiento científico, lo que delinea una perspectiva netamente didáctica.

Debe enfatizarse que los "contenidos" de enseñanza, en esta concepción de diseño e implementación de SD, no son los tradicionales "temas", "conceptos", "leyes" o "teorías", sino *fenómenos científicos* con valor educativo. En estos términos, el despliegue de un desglose curricular sería muy diferente al fundamentado en el conocimiento "ya hecho", pues tendría que plantearse en forma de modelos que explican fenómenos semejantes, pertenecientes a diversos dominios del conocimiento científico.

Asimismo, esta forma de concebir el diseño y validación de SD hace posible la búsqueda de la comprensión —por encima de la memorización y de conceptos de aprendizaje—, pues la intención es que los estudiantes expliquen fenómenos y que transformen la forma de hacerlo; con ello, necesariamente, tendrían que modificar los conceptos derivados de los entes y sus características —modelos conceptuales— y los conceptos asociados a los procesos derivados de las relaciones causales, de modo que tendría que modificarse la manera de enunciar posibles patrones de comportamiento del sistema biológico, físico o químico bajo investigación.

DESAFÍOS

Con los elementos didácticos presentados hasta ahora sería posible configurar una didáctica de las ciencias que buscara realizar un "mapeo" —relativo a fenómenos científicos con valor educativo— de los modelos científicos escolares logrados por los estudiantes y comparar sus resultados de manera longitudinal —desde preescolar hasta bachillerato—. Esto proporcionaría a los docentes información valiosa de lo que pueden conseguir los estudiantes en diferentes ciclos escolares para mejorar la enseñanza de las ciencias.

Sin embargo, todavía es necesario investigar más en el terreno de la modelización —inherente al desarrollo de SD—, que cuenta con algunas propuestas diversas en la forma de hacerlo (Gilbert y Justi, 2016), si bien todavía no hay un claro consenso respecto a alguna de ellas. De ahí que se presente un *desafío* para seguir incursionando en el terreno de las SD con fundamento en modelos y modelización, pues de esta manera se completaría la visión de modelos presente en el MCEA, con la forma de *modelizar*; es decir, con la forma de *construir conocimiento científico escolar*.

REFERENCIAS

Adúriz-Bravo, A. e Izquierdo Aymerich, M. (2002). Acerca de la didáctica de las ciencias como disciplina autónoma. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias, 1*(3), 130-140.

Adúriz-Bravo, A. e Izquierdo-Aymerich, M. (2009). Un modelo de modelo científico para la enseñanza de las ciencias naturales. *Revista Electrónica de Investigación en Educación en Ciencias, 4*(1), 40-49.

Artigue, M. (1995). Ingeniería didáctica. En M. Artigue, R. Douady, L. Moreno y P. Gómez (Eds.), *Ingeniería didáctica en educación matemática. Un esquema para la investigación y la innovación en la enseñanza y el aprendizaje de las matemáticas* (pp. 33-60). Grupo Editorial Iberoamérica.

Buty, Ch., Tiberghien, A. y Le Maréchal, J. F. (2004). Learning hypotheses and an associated tool to design and to analyse teaching-learning sequences. *Science Education, 26*(5), 579-604.

Couso, D. (2011). Las secuencias didácticas en la enseñanza y el aprendizaje de las ciencias: modelos para su diseño y validación. En A. Caamaño (Coord.), *Didáctica de la física y la química* (pp. 57-84). Graó; Ministerio de Educación.

DiSessa, A. A. (2014). A history of conceptual change research. En *The Cambridge Handbook of the Learning Sciences* (pp. 88-108). Cambridge University Press. http://dx.doi.org/10.1017/cbo9781139519526.007

Driver, R. (1978). When is a stage not a stage? a critique of Piaget's theory of cognitive development and its application to science education. *Educational Research, 21*(1), 54-61.

Driver, R. P. (1973). *Representation of conceptual frameworks in young adolescent science students*. University of Illinois at Urbana-Champaign.

Driver, R. y Easley, J. (1978). Pupils and paradigms: a review of literature related to concept development in adolescent science students. *Studies in Science Education, 5,* 61-84.

Duit, R. (2006). La investigación sobre enseñanza de las ciencias. Un requisito indispensable para mejorar la práctica educativa. *Revista Mexicana de Investigación Educativa, 11*(30), 741-770.

Duit, R. (2007). Science education research internationally: conceptions, research methods, domains of research. *Eurasia Journal of Mathematics, Science & Technology Education, 3*(1), 3-15.

Duit, R. y Treagust, D. F. (2003). Conceptual change: a powerful framework for improving science teaching and learning. *International Journal of Science Education, 25*(6), 671-688. doi: 10.1080/09500690305016

Erickson, G. (1979). Children's conceptions of heat and temperature. *Science Education, 63*(2), 221-230.

Flores, F. *et al*. (s. f). *Ideas previas. Caracterización*. Proyecto "Ideas Previas" apoyado por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología de México (Conacyt) bajo el número R30474–S.

Galvis Solano, L. M. y López-Mota, Á. D. (2020). Un modelo científico escolar sobre obesidad como recurso de planificación didáctica. En C. Cely (Coord.), *Un modelo científico escolar sobre obesidad como recurso de planificación didáctica* (pp. 141-194). Universidad Autónoma de Ciudad Juárez.

Giere, R. N. (1999a). Del realismo constructivo al realismo perspectivo. *Enseñanza de las Ciencias, núm. extra,* 9-13.

Giere, R. N. (1999b). Un nuevo marco para enseñar el razonamiento científico. *Enseñanza de las Ciencias, núm. extra,* 63-70.

Giere, R. N. (1999c). Using models to represent reality. En L. Magnani, N. J. Nersessian y P. Thagard (Eds.), *Model-based reasoning in scientific discovery* (pp. 41-57). Kluwer/Plenum. https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-1-4615-4813-3_3

Giere, R. N. (2004). How models are used to represent reality. *Philosophy of Science, 71,* 742-752.

Gilbert, J. K. y Justi, R. (2016). Models of modelling. En J. K. Gilbert y R. Justi, *Modelling-based teaching in science education* (pp. 17-40). Springer. doi: 10.1007/978-3-319-29039-3

Gilbert, J. K., Boulter, C. y Rutherford, M. (1998). Models in explanations, part 1: Horses for courses? *International Journal of Science Education, 20*(1), 83-97. doi: 10.1080/0950069980200106

Gutiérrez, R. (2001). Mental models and the fine structure of conceptual change. En R. Pinto y S. Surinach (Eds.), *Physics Teacher Education Beyond 2000* (pp. 35-44). Elsevier Editions.

Gutiérrez, R. (2007). Sistemas de creencias, modelos mentales y cambio conceptual. *Indivisa. Boletín de Estudios e Investigación, monografía* VIII. 573-585.

Gutiérrez, R. (2017). Construcción del conocimiento espontáneo y del conocimiento científico I: ¿existe alguna conexión? *Revista Enseñanza de las Ciencias,* número extraordinario. X Congreso Internacional Sobre Investigación, Sevilla, 4331-4336.

Gutiérrez, R. y Pintó, R. (2005). Teachers' conceptions of scientific model. Results from a preliminary study. En R. Pintó y D. Couso (Eds.), *Proceedings of the Fifth International* ESERA *Conference on Contributions of Research to Enhancing Students' Interest in Learning Science* (pp. 866-868). Springer.

Izquierdo-Aymerich, M. (2007). Enseñar ciencias, una nueva ciencia. *Enseñanza de las Ciencias Sociales, 6*, 125-138. http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=324127626010

Izquierdo-Aymerich, M. y Adúriz-Bravo, A. (2003). Epistemological foundations of school science. *Science & Education, 12*, 27-43.

Leach, J. y Scott, P. (2002). Designing and evaluating science teaching sequences. An approach drawing upon the concept of learning demand and a social constructivist perspective on learning. *Studies in Science Education, 38*(1), 115-142. doi: 1080/03057260208560189

Linjse, P. (2010). Didactics of science: The forgotten dimension in science education research? En Koos Kortland y Kees Klaassen (Eds.), *Designing theory-based teaching-learning sequences for science education; proceedings of the symposium in honour of Piet Linjse at the time of his retirement as professor of Physics Didactics at Utrecht University* (pp. 125-142). CD Beta Press; Freudenthal Institute for Science and Mathematics Education (FISME); Utrecht University.

López y Mota, Á. D. (2019). Secuencias didácticas y el contenido de enseñanza. En Ángel D. López y Mota (Coord.), *Modelos científicos escolares: el caso de la obesidad humana* (pp. 15-71). Universidad Pedagógica Nacional.

López y Mota, Á. D. (2020a, 31 de enero). *Tradiciones en didáctica de las ciencias, puestas en perspectiva.* Conferencia en el Cinvestav, Monterrey, Nuevo León.

López y Mota, Á. D. (2020b, 5 de febrero). *Tradiciones en didáctica de las ciencias, puestas en perspectiva. Los 'contenidos' de enseñanza y la validación de secuencias didácticas*. Conferencia, Secretaría de Educación Pública.

López y Mota, Á. D. (2020c, 9 de diciembre). *Modelos estudiantiles espontáneos y el diseño de la enseñanza en biología.* Conferencia (virtual). Universidad Distrital Francisco José de Caldas (Biología, Enseñanza y Realidades: Semillero y Grupo de Investigación).

López y Mota, Á. D. y Sanmartí, N. (2011). ¿Desde dónde y con qué perspectiva enseñar ciencias? En Á. D. López y Mota (Coord.), *Las ciencias naturales en educación básica: formación de ciudadanía para el siglo* xxi (pp. 43-94). Universidad Pedagógica Nacional.

López-Mota, Á. D. y Moreno-Arcuri, G. (2014). Sustentación teórica y descripción metodológica del proceso de obtención de criterios de diseño y validación para secuencias didácticas basadas en modelos: el caso del fenómeno de la fermentación. *Revista Bio-grafía, 7*(13), 109-126.

López-Mota, Á. D., Urueta-Ortiz, T., Moreno-Arcuri, G. y Sánchez, M. (2019). *Seminario de Investigación.* (Doctorado en Educación: Semestre II y Semestre III). Universidad Pedagógica Nacional de México.

Méheut, M. y Psillos, D. (2004). Teaching-learning sequences: aims and tools for science education research. *International Journal of Science Education, 26*(5), 515-535.

Moreno-Arcuri, G. y López-Mota, Á. D. (2013). Construcción de modelos en clase acerca del fenómeno de la fermentación, con alumnos de educación secundaria. *Revista Latinoamericana de Estudios Educativos, 1*(9), 53-78.

Nersessian, N. J. (2002). The cognitive basis of model-based reasoning in science. En P. Carruthers, S. Stich y M. Siegal (Eds.), *The cognitive basis of science* (pp. 133-153). Cambridge University Press.

Pereda-García, S. y López-Mota, Á. D. (2016). Propuesta de modelización para abordar los fenómenos electrostáticos en alumnos de secundaria. *Lat. Am. J. Phys. Educ., 10*(3), 3301-3307.

Posner, G. J., Strike, K. A., Hewson, P. W., y Gertzog, W. A. (1982). Accommodation of a scientific conception: toward a theory of conceptual change. *Science Education, 66*, 211-227.

Psillos, D. y Kariotoglou, P. (2016). Theoretical issues related to designing and developing teaching-learning sequences. En D. Psillos y P. Kariotoglou (Eds.), *Iterative design of teaching–learning sequences. Introducing the science of materials in european schools*. Springer. doi: 10.1007/978-94-007-7808-5

Viennot, L. (1979). Spontaneous reasoning in elementary dynamics. *European Journal of Science Education, 1*(2), 205-221.

Capítulo 2. Una educación en ciencias filosóficamente fundamentada para afrontar tiempos de pandemia: el caso de las vacunas contra la COVID-19[1]

Irma Catherine Bernal Castro
Julio Alejandro Castro Moreno
Universidad Pedagógica Nacional

INTRODUCCIÓN

A raíz de la pandemia de la COVID-19 se habla de ciencia en todos los ámbitos. Es común escuchar, por parte de la mayoría de la población, el uso de términos como "virus", "inmunidad de

1 El presente artículo se escribe en el contexto de retorno a la "normalidad", a inicios del 2022, después de dos años de confinamiento a causa de la pandemia de la Covid-19. En ese entonces era un tema de acaloradas controversias lo concerniente a la vacunación para prevenir dicha enfermedad. En el 2024, año en el que finalmente se publica este capítulo, el asunto de la vacunación parece no ocupar un lugar central en el debate público. No obstante, consideramos que las lecciones aprendidas durante la pandemia no se pueden ni deben olvidar y que aún pueden ser temas relevantes en relación con promover una educación en ciencias filosóficamente fundamentada.

rebaño", "variante", "vacuna", entre otros, hecho que nos podría llevar a pensar que la humanidad está alcanzando cierta comprensión de la ciencia. Sumado a ello, las estadísticas, a 1.° de febrero del 2022, muestran que el 62,4 % de la población colombiana se encuentra vacunada (cifra que está por encima de países como Estados Unidos, Panamá y Rusia, entre otros) (Mathieu *et al*., 2021). A partir de estos datos podríamos inferir que más del 50 % de los colombianos comprenden la importancia y funcionamiento de la ciencia y que por ello toman la decisión de vacunarse. Sin embargo, sabemos que no es así; ni la utilización de algunos términos científicos por parte de la población, ni las "altas" cifras de personas vacunadas en un país indican una genuina comprensión de la ciencia. En este punto nos preguntamos qué sabe la gente acerca del asunto de la vacunación: ¿qué es una vacuna?, ¿qué tipos de vacunas hay?, ¿qué relaciones se establecen entre la vacuna y el sistema inmune?, ¿cómo toma la gente la decisión de vacunarse?

En este capítulo defenderemos que una educación en ciencias fundamentada histórica y filosóficamente promueve la comprensión de la situación sanitaria que atravesamos y puede aportar a que las personas tomen decisiones informadas acerca de vacunarse o no. Vemos pertinente un acercamiento desde cuestiones filosóficas como la racionalidad y la objetividad científicas,[2] por lo que exploraremos ciertas ideas de racionalidad como, por citar algunas, las que implican tomar las mejores decisiones con base en los conocimientos disponibles. Asimismo, consideramos que la racionalidad (o el razonamiento) no es algo que tenga lugar únicamente en las mentes de las personas, sino que se manifiesta y toma forma en prácticas específicas orientadas por decisiones informadas o por algún tipo de conocimiento de causa.

El sistema de conocimientos, creencias e ideas que tenemos acerca del mundo nos permite habitarlo. Precisamente, las creencias que tenemos sobre las vacunas contra la COVID-19 constituyen uno de los sustratos en la toma de decisiones frente a la vacunación; asimismo, la elección de creencias está sujeta a cómo las justificamos. Para Olivé (2012), la elección racional de creencias es la que se hace con base en buenas razones. En una dirección similar, Pinker (2021) expresa que la

2 Algunas discusiones de racionalidad se dan en relación con el problema de la verdad como una condición de adecuación o aceptabilidad de la racionalidad, a pesar de la importancia de la noción de verdad. En este trabajo nos limitaremos a una revisión somera alrededor de las nociones de objetividad científica y racionalidad sobre la toma de decisión en el proceso de vacunación contra la COVID-19.

racionalidad es importante, ya que permite tomar mejores decisiones en nuestra vida y en la esfera pública, y que además constituye el principal motor de la justicia social. Por consiguiente, la justificación de las creencias, por ejemplo, sobre el proceso de vacunación, se ve afectada por los referentes y la educación en ciencias que tenemos.

Otra noción filosófica que abordaremos en este capítulo, íntimamente ligada a la racionalidad, es la de objetividad, que, a su vez, es inseparable de lo que entendemos por conocimiento. Vemos que la ciencia ha liderado batallas contra enfermedades infecciosas como la viruela, la poliomielitis, la rabia, la fiebre tifoidea, el sarampión, entre otras, donde las vacunas han desempeñado un papel fundamental para la reducción de los índices de morbilidad y mortalidad; en otras palabras, la vacunación es uno de los mecanismos más eficaces que tenemos para prevenir las enfermedades víricas, sin que ello quiera decir que es el único medio para controlar y disminuir sus tasas de incidencia.

Una de las tareas de la filosofía es favorecer el ejercicio del pensamiento crítico, lo que implica no dar nada por hecho, juzgar la información disponible por sí mismo, elaborar y evaluar los argumentos que se nos presentan y, por supuesto, promover la racionalidad y la toma de decisiones racionales. Por ello, no consideramos que de lo que se trate es de obligar a la gente a vacunarse porque las vacunas están "científicamente certificadas" y que deben hacerlo por su propio bien. El asunto de fondo, a nuestro juicio, es contribuir a comprender de mejor manera los conocimientos científicos que están en juego (¿qué es un virus, en particular un virus como el SARS-CoV-2?, ¿qué es una vacuna?, ¿cómo se produce y cómo funciona?, ¿qué tipos de vacunas existen actualmente contra la COVID-19?, ¿cuáles son los riesgos y beneficios de inmunizarse con una u otra de las vacunas disponibles?, etc.) y, a partir de ello, poder tomar las mejores decisiones posibles. Una educación científica filosóficamente fundamentada puede contribuir a aclarar la situación y actuar en consecuencia.

CUESTIONES FILOSÓFICAS SOBRE LA CIENCIA: LA RACIONALIDAD Y LA OBJETIVIDAD

La pandemia fue un escenario para reflexionar sobre cómo razonamos, el tipo de justificaciones que damos a nuestras creencias y los procesos de elección que ejecutamos. Para entrar a discutir alrededor

de las razones que damos frente al proceso de vacunación contra la COVID-19, es imperativo presentar algunas cuestiones filosóficas sobre la racionalidad y la objetividad científicas que serán sumamente relevantes para las discusiones ulteriores.

La razón y la racionalidad son términos que se utilizan recurrentemente en las discusiones filosóficas, científicas y políticas; sin embargo, y como bien lo presenta Mosterín (2008), su análisis es somero y su uso tiene varios sentidos, la mayoría muy imprecisos. Aquí destacamos dos acepciones del término "razón": la primera hace referencia a un fundamento o base para aceptar o rechazar una creencia y así elegir un determinado curso de acción o un cierto fin;[3] la segunda alude a una capacidad o habilidad de los seres humanos que les permite conocer e interactuar en su entorno natural y social (Olivé, 2011).[4] A todas luces, estas dos acepciones guardan relación y no son discordantes; al contrario, pueden ser complementarias.

Para el desarrollo de las discusiones venideras, entenderemos la racionalidad como "el ejercicio apropiado de la razón al hacer elecciones en la búsqueda de fines apropiados" (Olivé, 2012, p. 92). Dicho ejercicio permite "a quien la tiene y ejerce […] tomar decisiones y realizar una serie de acciones para habérselas con su medio, para explotarlo y sobrevivir" (Olivé, 2011, p. 31). En este sentido, es importante destacar que la racionalidad no corresponde a una única facultad, una característica singular, sino que está compuesta de otras capacidades más básicas, entre las que se destacan, por ejemplo, tener representaciones del mundo, hacer conexiones entre representaciones, tener creencias, proponer fines para alcanzar, conectar una creencia

3 La acepción de "razón" como fundamento ha sido claramente formulada por Luis Villoro (1982), para quien la razón es "todo aquello que justifica para un sujeto la verdad o la probabilidad de su creencia, el fundamento en el que basa una creencia" (p. 78). En ese mismo orden de ideas, "justificación" es entendida como "una operación mental por la que inferimos una proposición de otra proposición o de la aprehensión directa de un estímulo y, al hacerlo, damos razón de una creencia" (p. 79).

4 Desafortunadamente, se utiliza la razón como un punto de demarcación entre humanos y otros animales. Esto suele pasar porque se asocia el uso de la razón con la capacidad lógica humana. No obstante, y siguiendo a Diéguez (2011), la racionalidad, lejos de ser la diferencia específica del ser humano, es más bien una característica que hemos heredado de otras especies ancestrales, pues la razón es una capacidad de muchos organismos que cuentan con sistemas cognitivos, y su trayectoria evolutiva tiene gran relevancia filosófica para entender cuál es la naturaleza y el alcance de la racionalidad humana. Por lo tanto, la razón no es una capacidad "primitiva" de los seres humanos, al contrario, representa la continuidad evolutiva, una estrategia adaptativa que ha evolucionado.

con otras, hacer inferencias, elegir entre cursos de acción posibles, aprender a usar un lenguaje proposicional, comunicarse con otros agentes, etcétera.

En este texto no se pretende justificar que la racionalidad es la principal y única manera de saber o conocer, ni tampoco que todos sujetos sean racionales; simplemente se afirma que ejercer la racionalidad es una forma de optimización realista y factible, que no promete el éxito seguro, ni la salvación, ni un mundo feliz y sin problemas. A este respecto, se aclara que la racionalidad o la irracionalidad de una acción se evalúan en función de algo, es decir, deben existir unos criterios que permitan determinar la racionalidad de la acción o la decisión. Por ello, la racionalidad y la irracionalidad no son absolutas y atemporales, sino que siempre se dan en función de algo.

La racionalidad siempre es relativa a los fines que un sujeto persigue en un momento dado y a la información con la que disponga (Mosterín, 2008), y se emplea cuando un sujeto elige o toma decisiones en función de ciertas preferencias u objetivos. Este ejercicio solo tiene sentido si existen diversas alternativas entre las que se pueda elegir que, además, propicien diferentes resultados. El punto no es que todos los sujetos que parten de la misma información deben llegar racionalmente a resolver un problema o tomar una decisión de la misma manera; lo más importante, desde nuestra perspectiva, es conocer y comprender la manera como se llega a esas decisiones, en otras palabras, entender el razonamiento por el cual se consiguió cierto resultado.

Tradicionalmente se han descrito dos tipos de racionalidad: la que predicamos de nuestras creencias y opiniones, que corresponden a las ideas que aceptamos y que se conoce como *racionalidad teórica*, y la que resulta de nuestras acciones, decisiones y conductas, entendida como *racionalidad práctica*. Claramente, esta distinción solo tiene sentido analítico en determinados contextos discursivos. Consideramos que la capacidad que llamamos "razón" siempre debe verse de manera unitaria, en el sentido de que su ejercicio implica creencias y acciones. En palabras de Olivé (2011):

> La razón se ejerce en muy diferentes contextos sociales, geográficos e históricos, dando lugar a diferentes conjuntos de criterios de evaluación de las decisiones apropiadas, de donde se deriva que no

> existe una única racionalidad, sino más bien que, a lo largo de la historia y a lo ancho del planeta tiene sentido hablar de racionalidades diferentes, es decir de la existencia de una pluralidad de racionalidades. (p. 29)

Por su parte, cuando se indaga por la racionalidad humana, la ciencia es considerada el mejor ejemplo, a tal grado que algunas áreas toman la ciencia como objeto de estudio, tales como la historia, la filosofía, la sociología, entre otras. Frente a ello surge el cuestionamiento de ¿a qué obedece la racionalidad de la ciencia? La respuesta a esta pregunta nos lleva a rastrear los múltiples intentos de demarcación científica, los cuales basan su racionalidad en la disponibilidad de un método impersonal de justificación, que protege el conocimiento de posibles fuentes de sesgos. No obstante, en discusiones contemporáneas se argumenta que la ciencia tiene objetividad no en virtud del seguimiento de reglas o búsqueda de la verdad, como aquellos protocolos o principios universales que el Círculo de Viena intentó (de manera fallida) establecer, sino que se trata de una caracterización contextual que implica la organización de las colectividades humanas. Dichas discusiones han propiciado el enriquecimiento de modelos y de discusiones alrededor de su racionalidad, del mismo modo en que han contribuido a la conceptualización de la ciencia como una actividad multidimensional.

El concepto de objetividad juega un papel importante en la ciencia. Particularmente, el "giro naturalista" en filosofía ha llevado a diversos autores a abandonar la concepción procedimental de la objetividad, en favor de una objetividad social, derivada a su vez de una construcción intersubjetiva que reconoce elementos como el carácter heterogéneo y la dependencia al contexto como aspectos de juicio en la ciencia.

Desde esta perspectiva se muestra una pretensión específica por establecer el conocimiento como una construcción social en la que intervienen los sujetos, sus racionalidades, sus marcos conceptuales, sus principios axiológicos, entre otros. Además, la comunidad epistemológica de la que hacen parte los sujetos gana relevancia, en la medida en que se presta considerable atención a los procesos cognitivos, las prácticas y dinámicas colectivas del conocimiento y las interacciones comunicativas, siendo estos elementos los que permiten poner en común ideas novedosas y nuevas razones que, partiendo de

condiciones epistémicas ideales guiadas por la racionalidad del sujeto, puedan establecer diálogos y discusiones con sus interlocutores y, de la misma manera, generen la posibilidad de cambiar la interpretación que se da a ciertas cuestiones en los marcos conceptuales de los que hacen parte los individuos de un colectivo.

Autores como Ludwik Fleck (1986), al principio del siglo xx, ya destacaban la relevancia de la formación colectiva del conocimiento:

> El trabajo en equipo puede presentar dos formas: puede ser simplemente aditivo, como, por ejemplo, el levantar en común un peso, o puede ser un trabajo colectivo propiamente dicho que consiste en crear, mediante el esfuerzo conjunto, una estructura especial que no es igual a la suma de los trabajos individuales y es comparable a un partido de fútbol, a una conversación o al actuar de una orquesta. Las dos formas se encuentran en el pensar y especialmente en el conocer. ¿Cómo podría considerarse la actuación de una orquesta, pasando por alto el significado y las reglas de la cooperación, como la mera suma del trabajo de los instrumentos individuales? (p. 145)

Así como una orquesta hace su "magia", la ciencia trabaja, no de manera aditiva, sino cooperativa y colectivamente, representando un tipo de comunidad epistémica conformada por sujetos epistémicos[5] que deciden qué saberes se consideran conocimientos científicos. De esta comunidad hacen parte los investigadores/sujetos que han sido educados por años desde la tradición de la ciencia (Frías, 2013). Al reconocer la ciencia como un tipo de comunidad epistémica, podemos afirmar que existen otras comunidades de igual índole[6] y, por lo tanto, que la ciencia no es la única comunidad de conocimiento.

5 De acuerdo con Villoro (1982), llamaremos sujeto epistémico de la creencia de S en P a todo sujeto al que le sean accesibles las mismas razones que le son accesibles a S y no otras, y comunidad epistémica pertinente al conjunto de sujetos epistémicos pertinentes para una creencia (Frías, 2013).

6 Se podría establecer algunas relaciones entre la idea de "comunidad epistémica" de Luis Villoro y la idea de "colectivo de pensamiento" de Ludwik Fleck, para quien hay colectivos casuales y momentáneos y colectivos estables o relativamente estables, que se forman especialmente en grupos sociales organizados. Si el grupo persiste en el tiempo, va configurando un estilo de pensamiento que queda fijado y adquiere una estructura formal; un ejemplo que da Fleck (1986) de colectivo de pensamiento es "la comunidad de pensamiento del mundo de la moda" (p. 154). Esta propuesta reconoce que existen diferentes colectivos de pensamiento, al igual que existen diferentes comunidades epistémicas.

De acuerdo con Olivé (2011), las comunidades epistémicas funcionan mediante ciertas prácticas cognitivas a través de las cuales se aplican y se evalúan los diferentes tipos de conocimientos. Estas prácticas se ven como las unidades de análisis centrales de la epistemología, y se entienden como sistemas dinámicos que incluyen, al menos, los siguientes elementos, que deben verse como íntimamente relacionados e interactuando entre sí: 1) un conjunto de agentes con capacidades y con propósitos comunes; 2) un medio del cual forma parte la práctica y en donde los agentes interactúan con otros objetos y otros agentes; 3) un conjunto de objetos (incluyendo otros seres vivos) que también forman parte del medio (sujetos de investigación, pacientes, vacunas, animales, etcétera); y 4) un conjunto de acciones (potenciales y realizadas de hecho) que constituyen una estructura.

En este sentido, en una comunidad epistémica la objetividad representa la validación de condiciones que existen de manera real para individuos que comparten principios cognitivos. Se trata de una aceptación que se da en un marco conceptual compartido, donde se hacen evidentes los factores, criterios y estándares comunes a los integrantes de la comunidad epistémica. Allí se ponen en consideración las ideas de sus miembros, con el fin de discutirlas y aceptarlas como razones a la hora de pensar, como comunidad, ciertas cuestiones. De esta manera, se establecen como creencias objetivas aquellas que gozan de mayor justificación y que para negarlas no hay argumentos de más valor; por lo tanto, lo objetivo redunda en una aceptación pública y colegiada.

En consecuencia, el conocimiento científico puede ser visto como un producto social, ya que es el resultado de consensos alcanzados por comunidades científicas que trabajan inmersas en contextos culturales. Se parte del hecho de que el sujeto que hace ciencia es comunitario, no individual, en otras palabras, es un colectivo inseparable de la comunidad humana global. En este punto surge la pregunta de ¿cómo un colectivo de investigadores, que no se presuponen individualmente buenos ni por completo racionales, puede obtener un conocimiento racional, es decir, más o menos coherente? (Andler, Fagot-Largeault y Saint-Sernin, 2011). Para dar respuesta a esta pregunta, seguimos la perspectiva de Helen Longino (2018), quien considera que la objetividad es una propiedad emergente de una comunidad científica, el resultado de una práctica contextual que para ser posible requiere, como mínimo, el cumplimiento de cuatro condiciones (López, 2011), a saber:

1. *El reconocimiento de la crítica a través de la apertura de foros públicos*, que se refiere a la creación de espacios públicos para la crítica de la evidencia, los métodos, las presuposiciones o los argumentos de una comunidad. Los foros se deben articular a los espacios ya existentes para la presentación de investigaciones (congresos, asociaciones, revistas especializadas) y deben abrir la puerta para que otras comunidades epistémicas puedan acercarse a conocer y entender su discurso y prácticas cognitivas, con lo que se asegura una interacción crítica.
2. *La recepción a la crítica ante la respuesta de la comunidad*, que se refiere a la aceptación de la intervención argumentada, la cual puede incidir en el cambio de distribución de creencias en una comunidad a lo largo del tiempo de una manera sensible a la disposición al cambio basada en la aceptación de la crítica. La comunidad científica debe participar en los foros y tener disposición para aceptar nuevos datos o argumentos y, eventualmente, modificar creencias y conocimientos.
3. *Compartir estándares o referentes, tanto de carácter epistémico como social*; dichos estándares públicos se refieren a la accesibilidad ampliada de las normas que regulan el discurso en la ciencia. Es decir, deben existir estándares públicos (epistémicos y sociales) que permitan determinar y evaluar teorías, hipótesis y prácticas, sin direccionar la elección, estándares que no deben ser estáticos y que pueden evolucionar con relación a otros estándares o valores.
4. *La equidad de autoridad o la igualdad modulada entre las distintas perspectivas,* que hace referencia a la igualdad de autoridad intelectual en el sentido de que las posiciones sociales, políticas o económicas de un individuo o comunidad no deben influir en el hecho de ser tratado con más o menos seriedad en la discusión. Este se constituye como un requisito de inclusión y de atención a todos los individuos o colectivos, pues aunque se reconoce que la experiencia y los méritos son importantes, se trata (por tanto) de favorecer una distribución apropiada de la autoridad intelectual.

En este sentido, Oreskes (2021) señala que el carácter social del conocimiento científico es la mejor razón para confiar en él, ya que es la interacción colectiva de los sujetos lo que hace confiable a la ciencia:

> La investigación científica está organizada, es cooperativa e interactiva, crea visiones del mundo compartidas y las observaciones se interpretan de acuerdo con estas visiones del mundo. El progreso, sostiene Fleck, consiste en la revisión y el ajuste de las visiones del mundo según lo considere apropiado la comunidad, y con el tiempo estos ajustes pueden ser tan grandes como para constituir una nueva visión del mundo, un nuevo estilo de pensamiento, incluso una nueva realidad. […] Fleck es inequívocamente antirrealista en este punto: lo que los miembros de un colectivo llaman verdad es simplemente lo que el pensamiento colectivo ha establecido en ese punto. También es inequívocamente antiindividualista y antimetodológico: la agencia del progreso científico no se encuentra en el individuo sino en el grupo, y el núcleo de la ciencia no se encuentra en un método particular sino en las diversas interacciones de ese grupo. (p. 32)

Con el caso de la COVID-19, Oreskes muestra cómo los países que confiaron en las recomendaciones de la Organización Mundial de la Salud (OMS) disminuyeron o mantuvieron estables las tasas de contagio. Destaca por ejemplo cómo en Taiwán, Vietnam, Nueva Zelanda, Islandia, Corea del Sur y muchos otros países, los líderes políticos escucharon y siguieron los consejos científicos y, por lo tanto, el número de muertos fue bajo, a diferencia de Estados Unidos, donde se hizo caso omiso a las recomendaciones, lo que dio como resultado altas tasas de mortalidad. Particularmente con el caso de Vietnam, la autora menciona que, al identificar y aislar a las personas infectadas, se pudo detener la propagación del virus, gracias a que el gobierno de este país se tomó en serio la amenaza por la COVID-19 y siguió los consejos ofrecidos por expertos científicos, quienes establecieron programas de salud pública basados en los consejos de la OMS; a todas luces, la confianza en la ciencia permitió salvar muchas vidas, si bien es menester destacar que Vietnam es un Estado autoritario, donde al parecer las medidas obligatorias se implementan más fácilmente que en un país democrático. No obstante, el éxito de los bajos índices de contagio se atribuye en buena parte a las rápidas, efectivas y trasparentes campañas de información que se realizaron en el país para mantener al público actualizado sobre la situación de emergencia sanitaria.

Atendiendo a las razones expuestas, en el siguiente apartado presentaremos los principales aspectos conceptuales alrededor de la vacunación, que reflejan los acuerdos a los que ha llegado el ejercicio de la racionalidad científica.

UNA CRISIS GLOBAL Y LAS MÚLTIPLES RESPUESTAS DE LA CIENCIA: LAS VACUNAS CONTRA LA COVID-19

Hemos visto que la ciencia dio una respuesta efectiva a la pandemia, por ejemplo, realizando una labor titánica en el desarrollo de las vacunas. Alrededor del mundo, la comunidad científica ha trabajado para responder a la crisis que inició a finales del 2019 en Wuhan (China), cuando se empezaron a reportar casos de personas enfermas por un tipo de neumonía atípica que generaba una mortalidad preocupante. Poco tiempo después, científicos chinos lograron identificar el causante de esa patología inédita; se trataba de un nuevo coronavirus, que luego sería bautizado como SARS-CoV-2.[7] Decimos "nuevo" porque no se conocía su existencia o, al menos, no había dado indicios de que estaba presente, probablemente en alguna especie de murciélago,[8] "a la espera" de que se dieran las condiciones para que "saltara" a los seres humanos, quizá a través de un intermediario. Aunque no es una cuestión zanjada, parece haber un acuerdo en que el SARS-CoV-2 provino de los murciélagos, tal vez haciendo una escala en los pangolines.

Se habla de zoonosis cuando un virus u otro agente infeccioso hace el tránsito de un animal no humano a las personas, originando así una nueva enfermedad. Este hecho puede ser parte del origen de la COVID-19.[9] Al establecer que la infección humana por CoV (HCoV) es una zoonosis, se hace necesario comprender sus orígenes. En respuesta a esto, en los últimos años las investigaciones sobre coronavirus han aumentado significativamente, prestando atención al estudio

7 Lo que indica que ya existía el SARS-CoV-1 (CoV quiere decir coronavirus) o, simplemente, SARS-CoV, causante del brote de SARS que afectó a un número significativo de personas, principalmente en el sur de China, a inicios del siglo XXI, ocasionando una mortalidad mayor que la que se reportaría luego, en 2019, a causa de la naciente COVID-19. SARS viene del inglés y significa *severe acute respiratory syndrome*, lo que en castellano se ha traducido como síndrome respiratorio agudo grave. Afortunadamente, el SARS se torna contagioso después de que se manifiestan los síntomas (al contrario de lo que ocurre con la COVID-19), hecho que jugó a favor para evitar que esa epidemia deviniera en una pandemia (Quammen, 2020).

8 Los murciélagos (que conforman el orden de los quirópteros) son excelentes *reservorios* de distintos tipos de virus, en especial coronavirus, que en condiciones normales no les causan mayores afecciones (Quammen, 2020; Malm, 2020).

9 El nombre de la enfermedad también procede del inglés: significa *corona* (CO) *virus* (VI) *disease* (D). El número denota que fue en 2019 cuando se reportaron los primeros casos. En castellano sería algo así como "enfermedad causada por el coronavirus" que, como ya dijimos, no es otro que el SARS-CoV-2.

de las mutaciones y adaptaciones que han impulsado procesos de coevolución entre los coronavirus y sus huéspedes, incluidos los seres humanos. Es pertinente mencionar que los estudios de coronavirus en animales se conocen desde finales del siglo XIX, cuando se habían aislado diferentes CoV en varios animales infectados, incluidos pavos, ratones, vacas, cerdos, gatos y perros. A finales de la década de los treinta se aisló la primera cepa de HCoV-229E a partir de la secreción nasal de una paciente con resfriado (Ye *et al.*, 2020).

Sobre la base de la secuenciación de proteínas de los coronavirus, actualmente se conocen cuatro géneros (alfa-CoV, beta-CoV, gamma-CoV y delta-CoV). Los estudios de filogenética han demostrado que los murciélagos y los roedores son la fuente genética de la mayoría de los alfa-CoV y beta-CoV, mientras que las aves son el principal reservorio de gamma-CoV y delta-CoV. Es importante enfatizar que los coronavirus no son patógenos y en algunos casos causan síntomas leves en sus huéspedes reservorios. Estas entidades se replican sin provocar una fuerte respuesta inmune del huésped, y es aquí donde nos preguntamos por qué se ven portadores asintomáticos y qué causa los casos graves de infección humana (Ye *et al.*, 2020).

Durante miles de años, los coronavirus han traspasado las barreras animales hasta llegar a convertirse en patógenos en las poblaciones humanas. A la fecha, se conocen siete coronavirus humanos: HCoV-229E, HCoV-NL63, HCoV-OC43, HCoV-HKU1, coronavirus del síndrome respiratorio agudo severo (SARS-CoV), coronavirus del síndrome respiratorio de Oriente Medio (MERS-CoV) y SARS-CoV-2. Como se puede apreciar en la figura 2.1, los murciélagos[10] son hospederos de HCoV-NL63, HCoV-229E, SARS-CoV, MERS-CoV y SARS-CoV-2, en tanto que los roedores son hospederos de HCoV-OC43 y HCoV-HKU1. De estos portadores se transmite a los hospederos intermediarios como camélidos, civetas, dromedarios, pangolines o bovinos, y posteriormente a la población humana. Los signos de interrogación corresponden a la no disponibilidad de evidencia concreta sobre los *hospederos* intermediarios de HCoV-NL63 y HCoV-HKU1.

10 De hecho, los murciélagos son la fuente directa de virus patógenos humanos, incluidos el virus de la rabia, el virus del ébola, el virus Hendra, entre otros. Por ello no es sorprendente que los murciélagos puedan transmitir coronavirus a los humanos directamente. La mayoría de los coronavirus humanos se originaron en murciélagos, para quienes no son patógenos (Quammen, 2020).

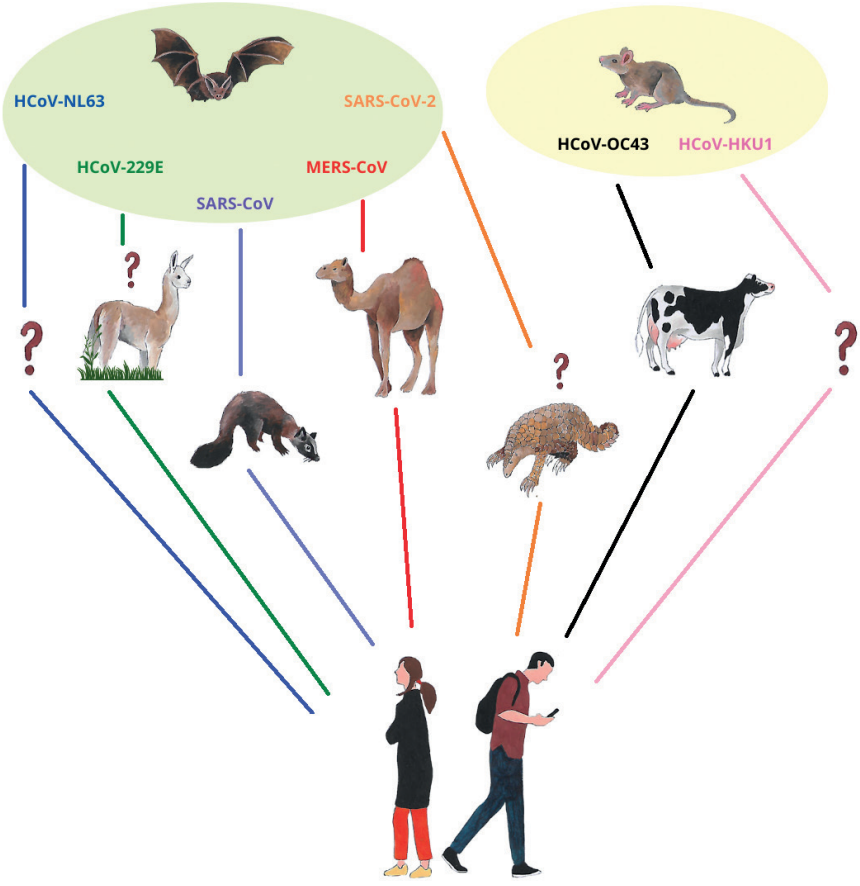


Figura 2.1. ¿De dónde provino el SARS-CoV-2? Posible origen zoonótico
Fuente: elaboración de Marco Salazar a partir de Ye *et al.* (2020).

En este sentido, la identificación de los animales huéspedes tiene implicaciones directas en la prevención de enfermedades humanas. Dentro del grupo de los coronavirus humanos, se destaca que HCoV-229E, HCoV-OC43, HCoV-HKU1 y HCoV-NL63 suelen causar síntomas leves, como resfriado común y diarrea, a diferencia del SARS-CoV, el MERS-CoV y el recién identificado SARS-CoV-2, que se consideran altamente patógenos, provocan infecciones graves de las vías respiratorias y pueden llevar a los contagiados a desarrollar el síndrome de dificultad respiratoria aguda y manifestaciones extrapulmonares (Ye *et al.*, 2020).

En las discusiones contemporáneas sobre el origen zoonótico de la pandemia quedan varios interrogantes sin respuesta, entre los que se destacan la susceptibilidad e incidencia del virus sobre los animales domésticos, el establecimiento de las interacciones de

los huéspedes intermediarios con los humanos y la identificación de las formas en las que los humanos entran en contacto con los murciélagos. Por ejemplo, los murciélagos y los pangolines son usados en China para consumo humano o como insumos para preparar remedios o tratamientos de lo que se llama "medicina tradicional" de ese país. Los "mercados húmedos" (en donde se vende principalmente carne fresca, incluso de animales silvestres) son un lugar en el que se hacinan animales de diferentes especies, entrando en contacto estrecho, lo que ocasiona mucho estrés y sufrimiento, hecho que a su vez puede hacer que los virus que antes no causaban daño ahora se conviertan en patógenos, debido a que los sistemas inmunes de los animales estresados se hacen más vulnerables. Así, por medio de la orina, las heces, la sangre o la saliva, esos virus pueden pasar de un animal a otro, sean o no de la misma especie.

Según han señalado autores como Quammen (2020), Malm (2020) y Davis (2020), hay dos factores principales que favorecen el surgimiento de las pandemias. Ya aludimos a uno de ellos: el tráfico, venta y consumo de animales de la fauna silvestre. El otro es la producción industrial de carne, como ocurre, por ejemplo, en los grandes galpones en los que se confinan miles o cientos de miles de aves. No obstante, como esos autores también ponen de manifiesto, estas explicaciones no son suficientes; tal vez un papel aún más relevante lo desempeñan las prácticas depredadoras promovidas por los sistemas económicos imperantes en el mundo, que llevan a muchas personas a estar mal nutridas y, en general, a vivir en condiciones indignas, siendo así más susceptibles de enfermarse, agravar e incluso morir. En buena parte de los países del mundo, los sistemas de salud son precarios e inequitativos, lo cual pone en desventaja a los menos favorecidos.

Esos mismos sistemas económicos, en los que la vida de las personas y la vida en su conjunto valen menos que el capital, propician igualmente prácticas depredadoras hacia los ecosistemas, talando, por poner un caso, innumerables hectáreas de bosques para aprovisionar de madera a los mercados del mundo. Algunas especies de murciélagos habitan en esos bosques y, al ser estos destruidos, no les queda otra salida que migrar en búsqueda de nuevos hogares. En ocasiones podrían habitar en las cercanías de las granjas, entrando en contacto con animales domésticos y, por supuesto, con el ser humano. Recordemos que los murciélagos no viajan solos sino que llevan consigo polizones, como ciertos tipos de coronavirus (Malm, 2020).

Para resumir, una pandemia como la que estamos afrontando por la COVID-19, tiene orígenes diversos, los cuales no se limitan a una zoonosis, aunque esta puede ser el desencadenante. Las pandemias, por definición, son epidemias de carácter global, pero, como lo ha demostrado la historia reciente, no afectan por igual a todos los países ni a toda la población dentro de un país; incluso ponen de relieve las desigualdades sociales y, además, las exacerban. Si bien hay medidas que han ayudado a mitigar los efectos de la pandemia, como el uso de tapabocas, el distanciamiento social y el lavado frecuente de manos, estas no han sido suficiente. Retornando a las inequidades, pensemos en las personas que carecen de agua potable, lo que hace imposible que laven sus manos con el agua que prefieren beber.

Al margen de estas serias dificultades, consideramos que la creación de varias vacunas contra la COVID-19 constituye una forma aún más prometedora de afrontar la pandemia. Las vacunas son un producto farmacéutico que, al ingresar al organismo (normalmente mediante una inyección), estimulan el sistema inmune en aras de prevenir una enfermedad causada por un agente infeccioso en particular (principalmente virus y bacterias). El principal componente de la vacuna es el antígeno (microorganismo completo o partes específicas de él) que genera una respuesta inmune (celular o humoral), produciendo así una memoria inmunológica que puede ser de larga duración. En palabras de Gøtzsche (2020), "las vacunas [son] compuestos muy específicos dirigidos hacia un microorganismo concreto, solo deben administrarse unas cuantas veces, ofrecen muchos años de protección o hasta inmunidad de por vida, y es raro que presenten efectos secundarios graves" (p. 43).

Las vacunas no solo están compuestas por antígenos, sino que contienen otros ingredientes que las hacen seguras y eficientes, como los conservantes, que impiden que la vacuna se contamine cuando se abre un vial; los estabilizantes, que impiden que se produzcan reacciones químicas en la vacuna y evitan que sus componentes se adhieran al vial; las sustancias tensioactivas, que permiten mantener mezclados los ingredientes del fármaco y, en último lugar, las sustancias residuales, que se producen durante la fabricación del biológico pero que no son ingredientes activos. Además, es necesario un diluyente para disolver una vacuna en la concentración correcta

—el elemento más utilizado es el agua esterilizada— y finalmente un coadyuvante, que mejora la respuesta inmunitaria a la vacuna (OMS, 2022) (ver figura 2.2).

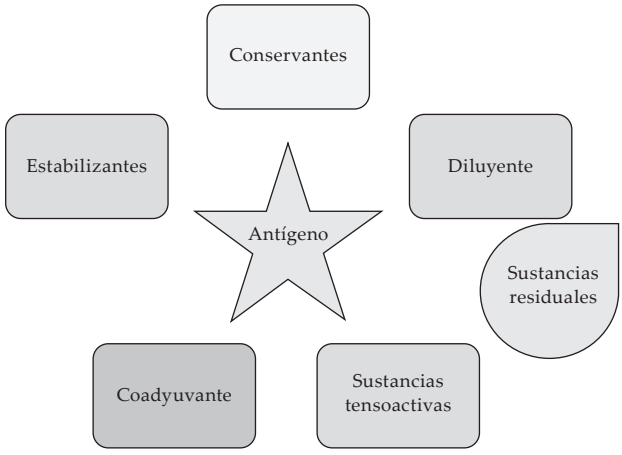


Figura 2.2. Componentes de las vacunas
Fuente: elaboración propia a partir de OMS (2022).

Para la comunidad científica ha sido todo un reto tener dispuestas, a corto plazo, una diversidad significativa de vacunas, que ya están siendo distribuidas y aplicadas en buena parte de los países desde inicios del 2021. Estas han sido posibles debido a una tradición investigativa en virología, inmunología y biología molecular, por citar algunas de las áreas más relevantes. Justamente, el haber descifrado el genoma del SARS-CoV-2 en tiempo récord fue una base fundamental para producir las vacunas de las que ahora disponemos, debido, entre otras cosas, a la identificación de las moléculas virales que funcionan como antígenos: este el caso de la proteína Spike (S), que le permite al virus acoplarse a nuestras células y penetrar en ellas pero que, a la vez, deviene en un agente extraño reconocido como tal por nuestro sistema inmune, generando de este modo una respuesta, como la producción de anticuerpos. No olvidemos que esa es la función de las vacunas: desencadenar una respuesta inmune sin necesidad de haber sido infectados.

El desarrollo de una vacuna es un proceso complejo y lento (normalmente toma un periodo de 12 a 15 años), a diferencia del desarrollo de los medicamentos convencionales. Mientras que los medicamentos están orientados al tratamiento de una enfermedad cuyos síntomas han aparecido, las vacunas están destinadas a ser

utilizadas en personas que aún no presentan síntomas de la enfermedad, con el fin de prevenirla (Calina *et al.*, 2020). El desarrollo de las vacunas contra la COVID-19 tomó un periodo de tiempo corto, aproximadamente un año, en comparación con el proceso normal, siendo este un aspecto que ha generado más desconfianza si se le compara con los estudios tradicionales de las vacunas.

Las vacunas, al igual que los medicamentos, pasan por un proceso riguroso de investigación antes de ser introducidas a un programa nacional de vacunación. En primer lugar, se tiene una etapa preclínica, que consiste en el desarrollo de estudios que identifiquen los antígenos necesarios para generar una respuesta inmunitaria. En esta etapa las pruebas no se realizan en seres humanos; solo hasta que la vacuna demuestra haber generado una respuesta inmunitaria se la prueba en ensayos clínicos con humanos, dando lugar a cuatro fases: la primera consiste en la aplicación de la vacuna a un grupo pequeño de personas voluntarias para examinar la seguridad, confirmar que generen una respuesta inmune y establecer la dosis correcta; en la segunda fase se lleva a cabo un estudio con un grupo más grande de personas, en las que se pone a prueba la vacuna —en esta fase se suelen realizar múltiples ensayos para evaluar diversos grupos etarios y diferentes formulaciones de la vacuna—; en la tercera fase se prueba la eficacia de la vacuna, aplicándola a miles de personas, evaluando cuántos individuos se infectan en comparación con las personas del grupo de control que recibe un placebo, y de esta manera se comprueba si la vacuna protege contra el virus y se revela si presenta efectos secundarios que no se hayan detectado antes (Zonenszain, 2021). Por último, en una cuarta fase, la vacuna se aplica a millones de pacientes y se realiza un seguimiento constante de su seguridad y eficacia; podríamos afirmar que las vacunas contra la COVID-19 actualmente se encuentran en esta fase.

Después de los procesos de seguridad y eficacia de las vacunas, se da paso a su fabricación masiva, que requiere de la producción de millones de dosis, un proceso que toma aproximadamente seis meses y durante el cual debe asegurarse que cada vacuna tenga una calidad constante. El mayor desafío en esta etapa es la construcción y validación de las plataformas de producción capaces de fabricar vacunas a gran escala. Posteriormente a la fabricación, se da la regulación de vacunas, etapa en la que participan los comités de

ética y las diversas agencias de supervisión de medicamentos en el mundo, quienes revisan los planes de ensayos clínicos. Esta etapa de revisión y evaluaciones suele tomar varias semanas o meses (Calina *et al*., 2020):

> Durante todo el proceso de desarrollo de estas vacunas [contra la COVID-19], se evaluaron varios pasos, incluida la seguridad y la toxicidad aceptable de la vacuna, la duración de la inmunidad protectora, las características de estabilidad de cada vacuna, la termoestabilidad y las condiciones de almacenamiento fuera del rango de temperatura requerido, el sistema de administración como la inyección, programas de dosificación orales y nasales para las vacunas COVID-19 (un régimen de dosis única o dosis divididas múltiples) y los efectos secundarios probables de las vacunas. (Farhud y Zokaei, 2021, p. i)

Particularmente, para hacer frente a la pandemia de la COVID-19 se produjeron a gran escala diferentes vacunas, teniendo en cuenta las experiencias con brotes anteriores de coronavirus y el conocimiento acumulado con la elaboración y producción de vacunas. A continuación, destacamos diferentes plataformas de producción (Farhud y Zokaei, 2021):

- Vacuna de ARNm: codifica el ácido ribonucleico, particularmente codifica una forma estable de la proteína Spike (S).
- Vacuna de ADN: se obtiene por tecnología de ADN recombinante y se produce por modificación genética. Una ventaja de este tipo de vacunas es que estimula la inmunidad tanto humoral como celular.
- Vectores virales: el genoma de un virus se usa para administrar el antígeno de otro virus.
- Partículas similares a virus (*virus like-particles*, VLP): es un enfoque innovador basado en proteínas recombinantes y partículas similares a virus.
- Virus inactivado: contiene microorganismos completos, pero inactivados por métodos químicos o físicos. Este tipo de vacuna tiene la ventaja de una mayor estabilidad, sin embargo, la efectividad es menor y requiere recordatorios del sistema inmunológico.

- Virus vivo atenuado: se obtienen mediante el cultivo de microorganismos en condiciones subóptimas o mediante pases sucesivos en cultivos y técnicas que determinan la atenuación de la virulencia manteniendo la capacidad de inducir la respuesta inmune.

En la siguiente tabla se presentan algunas de las ventajas y desventajas de las plataformas de producción de vacunas contra el SARS-CoV-2.

Tabla 2.1. *Ventajas y desventajas de las plataformas de producción de vacunas contra la COVID-19*

Fabricante/País	Plataforma/ Dosis	Ventajas	Desventajas
Moderna. Instituto Nacional de Alergias y Enfermedades Infecciosas y la Autoridad de Investigación y Desarrollo Biomédico Avanzado (Barda). USA	ARNm, dos dosis.	• Alta velocidad de producción. • Inmunidad humoral y celular. • Relación costo/ beneficio.	• Requiere muy bajas temperaturas. • No se había usado en humanos.
Pfizer/BioNTech. USA y Alemania	ARNm, dos dosis.	• Alta velocidad de producción. • Inmunidad humoral y celular. • Relación costo/ beneficio.	• Requiere muy bajas temperaturas. • No se había usado en humanos.
Sinovac Biotech. China	Virus inactivado o "muerto", dos dosis.	• Fácil de almacenar y transportar. • Pocas probabilidades de causar la enfermedad.	• Respuesta inmunológica menos robusta. • Corta durabilidad.
AstraZeneca y Universidad de Oxford. Reino Unido	Vector viral, dos dosis.	• Mejor respuesta inmune que vacunas de subunidades y de virus atenuados. • Producción a gran escala.	• Riesgo de una respuesta inmune a un vector viral que podría reducir su eficacia. • Efectos secundarios graves en estudio.
Johnson & Johnson, Janssen Vaccines y Janssen Pharmaceutica. USA, Holanda, Bélgica	Vector viral, una dosis.	• Dosis de administración reducida. • Alta eficacia y seguridad mejorada.	• Riesgo de una respuesta inmune a un vector viral que podría reducir su eficacia. • Importancia de elegir un vector viral que sea verdaderamente seguro.

Fuente: elaboración propia a partir de Farhud y Zokaei (2021).

En esta pandemia, la plataforma más utilizada para crear vacunas contra la COVID-19 es la de ácidos nucleicos (ADN o ARN), que se ha convertido en una promesa en el área de la vacunología. La producción de vacunas ARNm inicia con la identificación de un patógeno, posteriormente la determinación del genoma del patógeno y de los antígenos. Las secuencias de antígenos de vacunas candidatas se depositan electrónicamente y están disponibles en todo el mundo para el diseño de las vacunas de ARNm, a lo que sigue la construcción de la plantilla de ADN plasmídico mediante clonación o síntesis molecular. Para generar las vacunas piloto se realizan procesos de protección y purificación del ARNm, hasta llegar a la formulación, y se realizan pruebas analíticas y de potencia durante el proceso para evaluar la calidad de los lotes piloto de vacunas de ARNm. La vacuna de ARNm final se amplía y fabrica a través de un proceso genérico con modificaciones mínimas, se prueba rápidamente y se envía para su uso (Maruggi *et al*., 2019) (ver figura 2.3).

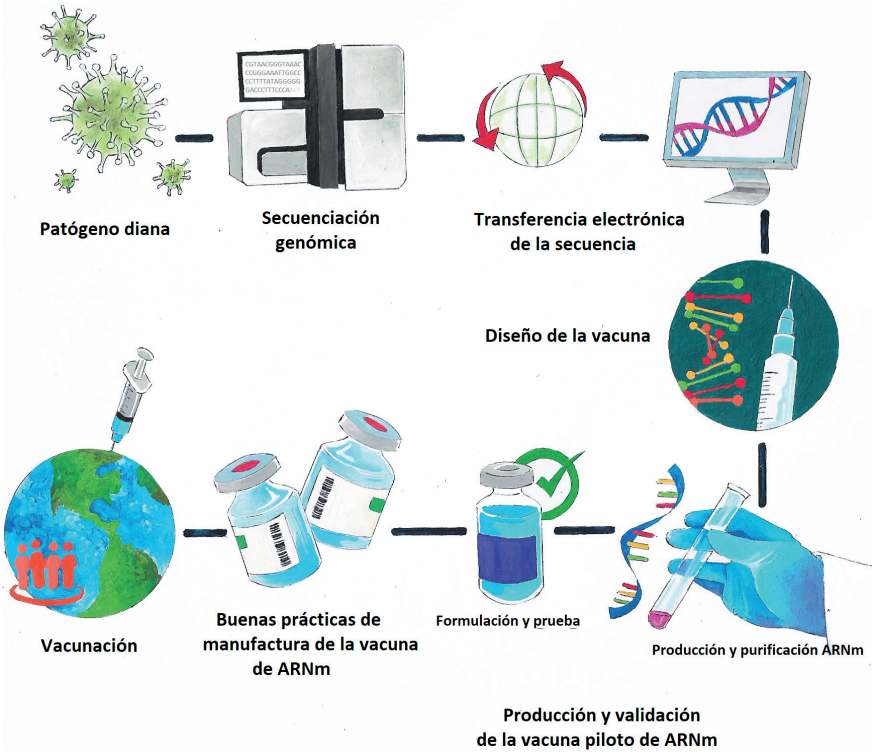


Figura 2.3. Producción de una vacuna a base de ARNm
Fuente: elaborada por Marco Salazar a partir de Maruggi *et al.* (2019).

En este trabajo reconocemos la importancia de las vacunas, pero somos conscientes de que la vacunación por sí sola no nos llevará a una era de pospandemia, o a un DC (después del coronavirus, como afirma Malm, 2020, o después de la COVID-19, como sugerimos nosotros). Ninguna vacuna tiene un éxito del 100 % en cuanto a estimular nuestro sistema inmune y, a la vez, no causar ningún efecto secundario indeseable. Las vacunas son productos científicos y la ciencia, no lo olvidemos, está hecha por humanos. También debemos tener en mente que nos enfrentamos a un virus que ha convivido con murciélagos, y estos animales, afortunadamente, siguen revoloteando por muchas partes, es decir, que hay reservorios del "nuevo" coronavirus aún latentes por un largo tiempo. Este hecho ha contribuido a que sea sumamente difícil erradicar mediante vacunación una enfermedad viral de origen zoonótico (Oldstone, 2001; Gøtzsche, 2020).

A esto se suma el hecho de que el material genético de los coronavirus es ARNm, lo que hace que muten con mayor facilidad y frecuencia, posibilitando el surgimiento de nuevas variantes, algunas de las cuales podrían hacer ineficaces o poco eficaces a las vacunas.[11]

Con todos sus defectos y dificultades, las vacunas manufacturadas hasta ahora son lo mejor que tenemos para contrarrestar los efectos negativos de la pandemia. Por ello, es problemático que personas en diferentes partes del mundo se nieguen a vacunarse o a vacunar a sus hijos. Es así como nos encontramos ante una suerte de paradoja, según nuestra lectura de los planteamientos hechos por el psicólogo Steven Pinker (2021): la humanidad es racional en muchos sentidos, por ejemplo, al producir vacunas contra la COVID-19 en un corto tiempo, lo que constituye uno de los logros científicos más importantes de lo que va corrido del siglo XXI. Pero, al mismo tiempo, la humanidad podría considerarse irracional, al rehusarse a recibir las vacunas, debido a noticias falsas o "teorías conspirativas".

11 Esto es lo que ha ocurrido, por ejemplo, con la variante ómicron, que ha causado una nueva oleada de COVID-19 en todo el mundo, por fortuna sin aumentar significativamente la mortalidad.

JUSTIFICACIÓN DE CREENCIAS: CONFIANZA-INDECISIÓN-RESISTENCIA EN LA VACUNACIÓN

En este apartado nos centraremos en el problema de la racionalidad de la elección de creencias y su justificación frente al proceso de vacunación contra la COVID-19. Veremos que para considerar este asunto es preciso acercarnos a los imaginarios que tienen los ciudadanos sobre la producción de conocimiento científico, la objetividad (como aceptabilidad racional de una comunidad epistémica) y los contextos específicos donde se realiza la elección. Teniendo en cuenta lo desarrollado en el primer apartado de este capítulo, asumimos que la elección racional de creencias es la que se hace con base en buenas razones, y las mejores razones son las objetivamente suficientes (Olivé, 2012). De este modo, una creencia objetiva deberá estar basada en la posibilidad de la mejor justificación que realmente tengan a su alcance las personas de una comunidad.

En este sentido, consideramos que el proceso de vacunación contra la COVID-19 propicia un escenario para reflexionar sobre el tipo de razón que damos para adoptar una creencia, tomar una decisión o ejecutar una acción; lo anterior deriva de una línea de pensamiento que proporciona la base de justificación y que contribuye a explicar o validar la creencia adoptada o la decisión tomada. Sin embargo, es importante insistir en que no todas las razones son buenas y, en consecuencia, un sujeto es racional en su elección de creencias, o toma de decisiones, si su elección se basa en buenas razones, y lo que convierte a una razón en una buena razón es "el hecho de que su implementación conduce a nuestros esfuerzos en las direcciones apropiadas, y las mejores razones son aquellas que logran lo máximo en este sentido" (Rescher, 1988, p. 6).

Consideremos un ejemplo: Pedro tiene la creencia de que la vacuna contra la COVID-19 es necesaria e importante, creencia que justifica en el testimonio de su hijo, quien es médico, trabaja en el hospital regional y ha podido constatar que, con el proceso de vacunación, la tasa de mortalidad por la COVID-19 ha disminuido en su hospital. En este sentido, Pedro es un sujeto racional, pues su creencia está justificada en un testimonio. Pero en el mismo barrio de Pedro vive Pablo, quien tiene la creencia de que la vacuna contra la COVID-19 no sirve para nada, creencia que justifica en el testimonio de un familiar, quien después de aplicarse la primera dosis de la

vacuna contra la COVID-19 falleció; diremos que Pablo es un sujeto racional, pues su creencia está justificada en un testimonio. Teniendo en cuenta la argumentación de los dos sujetos, podemos decir que son racionales; no obstante, un punto clave en el estudio de la elección de creencias es ¿de qué naturaleza debe ser la justificación? La respuesta a esta pregunta constituye uno de los problemas nodales en la filosofía, frente a lo cual consideramos que la relación de justificación no es meramente una relación causal, sino debe ser una relación epistemológica, en el sentido de buscar una coherencia interna entre las creencias de un sistema. Claramente, las creencias de Pedro y Pablo van a incidir significativamente en la toma de decisión frente a vacunarse o no hacerlo.

Respecto a la situación de Pedro y Pablo ¿cómo podemos establecer cuál sería una buena razón y cuál no? Haciendo uso de los postulados de la "teoría de la elección racional", que ha sido desarrollada básicamente en función de la toma de decisiones con respecto a cursos de acción posibles, se asume que un sujeto suele hacer lo que cree que es probable que tenga mejor resultado general (Elster, 2008). En otras palabras, cuando una persona se enfrenta a una decisión, opta por aquella que le ofrezca el mejor resultado. Esta perspectiva se caracteriza a menudo como racionalidad instrumental, y la decisión se piensa como maximización, caracterizada por buscar los mejores medios para lograr unos fines, pero no se cuestiona si esos fines son razonables. Se asume que la elección de las personas se hace sobre la base de un cálculo deliberado y sistemático para obtener el máximo provecho de los fines.

En oposición a esta perspectiva, Herbert Simon sustituye los supuestos de racionalidad perfecta del *homo economicus* por una concepción de la racionalidad adaptada a agentes que están limitados por condiciones sociales y cognitivas. Se asume que los sujetos tomamos decisiones de forma parcialmente racional por nuestras limitaciones cognitivas, de tiempo, certidumbre, información. Desde este punto de vista, las personas tienen límites que les impiden considerar un problema en toda su extensión, por lo tanto, el objetivo no es la maximización sino la satisfacción con la decisión, siendo lo más importante la búsqueda de alternativas que resuelvan el problema de manera adecuada. Asimismo, se reconoce que la racionalidad también está limitada por heurísticas y sesgos

cognitivos que siempre buscan nuestra satisfacción, por lo tanto, la percepción, los aspectos emocionales, intuiciones, entre otros, llevan a una racionalidad limitada.[12]

Como se presentó en el anterior apartado, la comunidad científica ha estado trabajando de maneja colegiada alrededor del mundo para responder a la crisis producida por la COVID-19 a través del desarrollo de diferentes plataformas en la producción de las vacunas. En este punto nos preguntamos ¿qué tipo de justificaciones da la gente frente al proceso de vacunación? Para responder a esta pregunta, hemos establecido tres categorías que recogen las diversas justificaciones que los sujetos dan al proceso de vacunación: *aceptación, indecisión* y *resistencia* a las vacunas. Vale la pena señalar que la justificación de nuestra confianza o desconfianza en las vacunas contra la COVID-19 está relacionada no solamente con la dinámica de la ciencia en la producción y distribución de las vacunas, sino también en quienes las producen y los gobiernos que las compran y recomiendan. A este respecto, se han documento algunos estudios en los cuales se señala que la forma en que los gobiernos responden a la pandemia afecta directamente la aceptación de las vacunas (Sabahelzain *et al*., 2021). Por ejemplo, en Latinoamérica, el presidente brasilero Jair Bolsonaro advirtió sobre los efectos teratógenos de las vacunas de ARNm, y además cuestionó la confiablidad de las vacunas producidas en China, declaraciones que influyeron en la toma de decisiones de los ciudadanos (Caponi, 2021).

A continuación presentamos las tres categorías y sus respectivas razones:

- *Aceptación de las vacunas:* a esta categoría corresponden los sujetos que acceden al proceso de vacunación. Dicha decisión puede estar justificada por diferentes razones, de las cuales

12 Las heurísticas y sesgos representan un aspecto cognitivo importante en el análisis de la toma de decisión de los individuos, pues son considerados mecanismos que se han creado a lo largo de la evolución para ayudarnos a sobrevivir y que permiten procesar la información de manera rápida. Infortunadamente, no alcanzamos a desarrollar aquí estos mecanismos, aunque destacamos el sesgo de confirmación, que es el hábito de buscar pruebas que ratifiquen una creencia y de mostrar indiferencia hacia las evidencias que podrían refutarla y, por su parte, las heurísticas de la representatividad, con las cuales se realizan juicios en la medida en que algunas situaciones se parecen a otras situaciones o categorías; estos dos aspectos son relevantes en los procesos de toma decisiones sobre la vacunación, por lo que es pertinente revisarlos en una investigación más exhaustiva.

destacamos tres. En primer lugar, se aceptan las vacunas por conocimiento y entendimiento de la ciencia: los sujetos comprenden la racionalidad de la ciencia, lo que implica, en parte, conocer las ventajas y desventajas del proceso de vacunación para tomar decisiones informadas. En segundo lugar, se aceptan las vacunas por condicionamiento: el sujeto accede al proceso de vacunación por una norma o requisito impuesto o solicitado por una autoridad o institución, pues el caso contrario le generaría implicaciones negativas o perjuicios; de este tipo de justificación deriva una justificación paternalista caracterizada porque otra persona toma la decisión, por el sujeto, de aceptar la vacuna, asunto en el cual también aplica una forma de autoridad y protección propias, por ejemplo, del padre de familia o de una figura laboral o gubernamental. Finalmente, está la aceptación de la vacuna por una confianza ciega en la ciencia: el sujeto no cuestiona la racionalidad de la ciencia y toma la decisión por un tipo de "fe" a la ciencia.

- *Indecisión frente a la vacunación:* a esta categoría corresponden los sujetos que no se han vacunado y continúan en proceso de deliberación; la justificación puede estar relacionada con que a pesar de que el sujeto conoce la racionalidad de la ciencia implicada en el proceso de vacunación, considera que este proceso es prematuro, por lo tanto, no ve segura la vacunación y continúa esperando más casos de confirmación. También hay desconfianza en los actores que promueven o distribuyen las vacunas.
- *Resistencia a las vacunas:*[13] a esta categoría corresponden los sujetos que no se han vacunado y que ya tomaron la decisión de no hacerlo; hay un rechazo categórico a la vacuna. Aquí hemos identificado tres grandes tipos de justificación: en primer lugar, aquellas personas que están informadas y toman la decisión de no vacunarse, pues no consideran la vacunación como la mejor opción para enfrentar el virus. En segundo lugar se encuentran los negacionistas, quienes cuestionan la ciencia desde otras comunidades epistémicas, por ejemplo,

13 Aclaramos que las personas que rechazan las vacunas no son necesariamente "antivacunas", aunque el grupo que duda de las vacunas es vulnerable a la manipulación por parte de los activistas antivacunas (Larson y Broniatowski, 2021).

en nombre de una "medicina alternativa" cuya eficacia y credibilidad no podrían ser juzgadas por los cánones metodológicos de la ciencia "occidental". Generalmente, el origen de estos cuestionamientos deriva del desconocimiento de la ciencia, de las creencias religiosas o políticas de los sujetos. Por último, está el grupo de los relativistas, quienes esgrimen justificaciones que cuestionan la ciencia; sin embargo, acuden a ella generando malentendidos en el conocimiento, por ejemplo, la promoción de supuestos medicamentos para la COVID-19, como fueron la cloroquina y la ivermectina, que se emplean apelando a presuntas evidencias clínicas y a algunos trabajos de investigación.

Es importante aclarar que la anterior categorización es arbitraria y su propósito es puramente analítico, dado que no es fácil, en la práctica, establecer los límites entre las categorías y sus justificaciones; si entramos en la casuística, hay una cantidad de justificaciones que no contemplamos en estas categorías, por ejemplo, ¿dónde se ubicarían aquellos sujetos que conocen y aceptan la vacunación pero no pueden acceder a ella por situaciones médicas (como reacciones anormales del sistema inmunológico) o aquellos sujetos que no tienen acceso ni a la información ni a la vacunas? La propuesta de *negacionistas* y *relativistas* en el proceso de la vacunación contra la COVID-19 es tomada de Gustavo Caponi (2021), quien plantea que hay ocasiones en las que estas dos opciones se pueden mezclar.

En Colombia, el Departamento Administrativo Nacional de Estadística - DANE (2022) realizó la Encuesta Pulso Social (EPS), que cuenta con el apoyo técnico del Fondo de las Naciones Unidas para la Infancia - Unicef, e indagó por la intención de vacunarse de los colombianos; los resultados muestran que antes de empezar el proceso de vacunación, en diciembre del 2020, el 54 % de la población encuestada creía que la vacuna puede ser insegura debido a los potenciales efectos adversos, el 19 % no creía que la vacuna puede ser suficientemente efectiva, y el 9 % creía que la vacuna se utiliza para manipular a la población. Para junio del 2021, cuatro meses después de empezar el proceso de vacunación en Colombia, el 47,8 % de los y las jefes de hogar estaban interesados/as en aplicarse la vacuna contra el coronavirus, el 11,6 % no estaba interesado y el 40,6 % ya se había aplicado la vacuna. Al preguntar por el principal motivo por el que

las personas contestaron que no estaban interesadas en aplicarse la vacuna, el 64,4 % creía que la vacuna puede ser insegura debido a los potenciales efectos adversos y el 18,5 % no creía que la vacuna pueda ser lo suficientemente efectiva; también hay un porcentaje de casos que creen que por haberse contagiado y recuperado de la COVID-19 no necesitaban la vacuna.

Particularmente, las razones de aceptación o indecisión sobre la vacuna contra la COVID-19 son complejas, y vemos que, a medida que surgen nuevas variantes del SARS-CoV-2, se agrega mayor complejidad. Especialmente, con la categoría *indecisión* consideramos que la comunicación sobre las vacunas debe darse de manera empática para evitar estigmatizar a quienes cuestionan la inoculación; las estrategias para involucrar a las poblaciones indecisas y ganar su confianza deben matizarse y adaptarse a partir de la identificación y solución de las preocupaciones que generan dudas en el proceso de vacunación (Tram *et al*, 2021). Por ejemplo, la indecisión en el proceso de vacunación es generalmente impulsada por el miedo a los efectos adversos, aunque también se asocia con una crisis estructural de confianza en la ciencia y la tecnología que lleva a un desencanto con la ciencia (Verger y Dubé, 2020).

Según Tram *et al*. (2021) es imperativo sacar a la luz las diferentes posiciones, naturalezas y motivos con relación a la reticencia en el proceso de vacunación, y ver cómo estos puntos de vista pueden variar con el tiempo y entre los grupos sociodemográficos, para diseñar estrategias efectivas de salud pública. Por otro lado, la confianza en las vacunas también depende de la confianza en los profesionales de la salud, en el sistema de salud del país, la ciencia y el contexto sociopolítico, que involucra a las instituciones que producen y distribuyen las vacunas. Como bien lo exponen Verger y Dubé (2020) "la confianza no es uniforme en todas las vacunas y puede variar para los diferentes componentes de la vacuna (p. ej., antígenos múltiples, adyuvantes), para vacunas nuevas frente a vacunas 'antiguas', y según las controversias relacionadas con las vacunas pasadas o presentes" (p. 191).

Frente a esta situación, vemos que la decisión de vacunarse o no presenta diversidad de justificaciones. Por ello es valioso preguntamos si las decisiones que tomamos se basan en buenas razones, para lo cual es importante entender la manera como el sujeto llega a

esa decisión o solución. Nos consideramos seres racionales cuando confiamos en lo que creemos. En este sentido, la filosofía puede ser un aliado clave para fundamentar la educación en ciencias, en donde se complejice lo que entendemos por razonamiento y por qué tomamos (o deberíamos tomar) ciertas decisiones.

HACIA UNA EDUCACIÓN EN CIENCIAS FILOSÓFICAMENTE FUNDAMENTADA

La relevancia de promover una educación en ciencias fundamentada en la filosofía e historia de la ciencia no solo estriba en el impacto mundial de los estudios contemporáneos que esta área ha generado, sino en su contribución a la reformulación y mejoramiento de los currículos y la enseñanza de la ciencia, donde se logran cambios notables en las visiones personales del mundo y en la construcción de una idea de ciencia como actividad humana no alejada de la cotidianidad. Además, ha favorecido una enseñanza más interesante y crítica de los contenidos curriculares, que suscita la comprensión de los conceptos y métodos de la ciencia (Matthews, 2017).

Los autores de este capítulo consideramos necesario y pertinente que el ciudadano conozca la dinámica alrededor de la construcción de conocimiento científico, en nuestro caso el conocimiento sobre las vacunas contra la COVID-19; que entienda su evolución, las dificultades a las que se ha enfrentado la comunidad científica para producirlas y la diversidad de prácticas y técnicas en su elaboración. El objetivo de este trabajo, además de mostrar que la vacunación ha jugado un papel fundamental en la salud pública, contribuyendo a la diminución de las tasas de mortalidad por enfermedades bacterianas o virales, es entender que ese logro obedece a la racionalidad de la ciencia y que las vacunas contra la COVID-19 aprobadas en menos de un año son producto del conocimiento acumulado desde la primera vacuna para prevenir la viruela a finales del siglo XVIII.

Una defensa de la educación en ciencias demanda reconocer que actualmente los ciudadanos disponen de mucha información relacionada con la pandemia. Particularmente en los contextos urbanos, el problema no radica en el acceso a la información; se cuenta con las fuentes y los medios para consultarla, no obstante, hace falta el desarrollo de habilidades que permitan seleccionar y analizar los datos disponibles. En los últimos años ha crecido la desinformación y,

por ejemplo, los grupos "antivacunas" han empleado dicha situación para generar una crisis de confianza en la vacunación; se promueven contenidos que pueden inducir a reacciones emocionales adversas o a sembrar dudas (Verger y Dubé, 2020). La carencia de información adecuada sobre la vacunación puede acrecentar el número de personas vinculadas a la categoría que aquí llamamos *indecisión frente a la vacunación*, quienes pueden dar por válida información no rigurosa o noticias falsas (*fake news*).

Es tanta la información que circula sobre la pandemia, que la OMS ha recurrido al término "infodemia" para referirse a "una cantidad de información excesiva en un corto periodo de tiempo que dificulta el acceso a fuentes y orientación fiables por parte de los individuos" (Organización Panamericana de la Salud – OPS y Organización Mundial de la Salud – OMS, 2020, p. 2). A partir de la circulación de la información en redes sociales, se ha podido percibir que la infodemia es un caldo de cultivo para la desinformación y las *fake news*; además, la mayor parte de esa información se sustenta en las denominadas teorías de la conspiración (Larrondo, Peña y Morales, 2021). En sintonía con la educación en ciencia filosóficamente fundamentada, en este capítulo consideramos que, para adaptarnos al escenario de pandemia (que podría volverse un escenario recurrente) es importante la formación para el ejercicio de la racionalidad y la toma de decisiones informadas y responsables respecto a las acciones que pueden afectar la salud propia y la de los demás. Por ello, instamos en el desarrollo de habilidades para acceder y seleccionar información científica y confiable sobre la vacunación y para impulsar la capacidad de comunicar ideas sobre la pandemia, el virus y las vacunas, entre otras.

En la misma dirección, Del Monte (2020) señala que para superar esta pandemia el sistema educativo debería inculcar en los individuos "el espíritu analítico necesario para indagar en las fuentes originales de información e identificar profesionales calificados en cuyos mensajes se pueda confiar" (p. 96). Es decir, se debe formar una sociedad con espíritu crítico, sensible al conocimiento científico, más consciente de la naturaleza y consecuencias del agente y de las medidas que se deben acatar para reducir la probabilidad de contagio.

A este respecto, la historia y la filosofía de la ciencia pueden ayudar a comprender en formas más plenas un tema científico, y podrían hacer que la gente fuera escéptica y quizás resistente a creer

en cosas absurdas, además de más prudente a la hora de compartir información (Matthews, 2017). Entidades como la Asociación Americana para el Avance de la Ciencia (American Association for the Advancement of Science – AAAS, 1989) defienden que las personas formadas científicamente saben que la ciencia es de iniciativas humanas interdependientes y que con sus fortalezas y limitaciones emplea el conocimiento y las formas científicas de pensar con propósitos tanto individuales como sociales que favorecen a la humanidad.

De acuerdo con Villoro (1982), "el sentido de la educación es convertir a los individuos en sujetos pertinentes del saber; su meta es lograr que la mayoría de los hombres no queden excluidos de las comunidades epistémicas de la sociedad a la que pertenecen" (p. 148). La educación en ciencias podría promover un acercamiento a las comunidades científicas, convertir a los sujetos en miembros de una comunidad epistémica y favorecer la participación de los ciudadanos en comunidades epistémicas que, apoyadas en la ciencia, dialoguen sobre la realidad educativa, social y cultural derivada de la pandemia.

Estamos de acuerdo con León Olivé, quien propone que los ciudadanos deben tener una imagen de ciencia cimentada en la reflexión y en el diálogo con las comunidades científicas; para lograr ese imaginario, le apostamos a una educación en ciencias e historia filosóficamente fundamentada en época de crisis:

> Las personas cultas al inicio del siglo XXI deberían tener una confianza racionalmente fundada en los resultados de la ciencia, y esa confianza racionalmente fundada solo puede venir de una adecuada idea de la racionalidad científica; de otra manera, la confianza se basa solo en la autoridad de la ciencia, y tener confianza solo por autoridad es algo que violenta la calidad racional y autónoma de las personas. Pedirles a las personas racionales que acepten resultados científicos por medio de un argumento de autoridad significa pedirles que acepten una incoherencia práctica. (Olivé, 2000, p. 77)

Vergara, Sarmiento y Lagman (2021) expresan que para que las personas desarrollen más confianza en la vacunación y en el gobierno se debería proponer, desde la educación pública adecuada, eficaz y más localizada, el establecimiento de estrategias de

comunicación que vayan acompañadas de las ventajas y desventajas de la vacunación. En este punto es clave señalar la importancia de la adecuación del contenido, dependiendo de la audiencia específica a la que va dirigido, transformación del contenido que garantizaría su relevancia y apropiación. Una sociedad que es ajena a las prácticas y procederes de la ciencia y desconfía de los científicos estará menos dispuesta a adoptar medidas reactivas y mucho menos a tomar medidas preventivas recomendadas por las entidades con autoridad científica ante la crisis sanitaria y ambiental que vivimos; es necesario, por tanto, estar abiertos a las orientaciones de la ciencia y tener la capacidad de dialogar con otro tipo de creencias que no se ajusten a sus representaciones.

CONSIDERACIONES FINALES

En pocas palabras, nuestra propuesta está dirigida a reconocer la importancia y necesidad de una educación en ciencias fundamentada histórica y filosóficamente, no solo para hacer frente a la pandemia producida por el SARS-CoV-2 que ha paralizado al mundo, situándonos ante una crisis económica y sanitaria sin precedentes a escala planetaria, regional y local, sino para responder y adaptarnos a las realidades actuales y venideras. Consideramos que una fundamentación filosófica puede promover una comprensión más rica y genuina de la ciencia y su lugar intelectual y social en el mundo. En este trabajo nos centramos en la discusión sobre la producción y aplicación de las vacunas contra la COVID-19, en aras de aportar a que los ciudadanos tomen la mejor decisión respecto a la vacunación, con base en la construcción de una confianza racionalizada acerca del devenir y la dinámica de la ciencia.

La COVID-19 no es la primera pandemia que la humanidad ha tenido que sortear, pues las epidemias han acompañado toda la historia de nuestra especie, y se ha podido determinar que en las épocas en las que no se contaba con vacunas (antes del siglo XIX) las epidemias arrasaban con poblaciones enteras (Oldstone, 2002; Quammen, 2020). En este capítulo enfatizamos que las vacunas son producto de la racionalidad científica, siendo el resultado del trabajo colectivo de la ciencia, que durante años ha venido mejorando sus respuestas frente a las crisis sanitarias, evitando el fallecimiento de miles de ciudadanos.

El conocimiento de la producción de vacunas contra la enfermedad por coronavirus 2019 ha sido, consideramos, una hazaña científica (Tram *et al.*, 2021). Todas las vacunas avaladas al día de hoy (Pfizer, Johnson & Johnson, Sputnik, Cansino y AstraZeneca, entre otras) tienen la capacidad de inducir una respuesta inmune muy eficiente. Su eficacia para evitar síntomas graves de la COVID-19 va del 50 % hasta poco más del 90 % (Pérez, 2021). El objetivo de este escrito no es que todos opten por la vacunación, sino que se interesen por conocer la ciencia y la manera como el conocimiento se ha producido, validado y transformado a lo largo de un devenir histórico. Esto favorecería los procesos de toma de decisión de manera informada por parte de los ciudadanos, contribuyendo a generar una confianza crítica en la ciencia.

Finalmente, este trabajo nos deja interrogantes abiertos para futuras discusiones, por ejemplo, ¿debe o no ser obligatoria la vacuna para los ciudadanos en general y particularmente para las poblaciones étnicas y religiosas? Otro aspecto es lo que implica la toma decisiones por otros, especialmente en el caso de los niños: ¿qué suerte de procesos formativos se debe realizar con este tipo de poblaciones y con sus padres o tutores legales?, ¿qué implica decidir por otros? Sin duda, una educación científica fundamentada filosóficamente será un sustento para argumentar las respuestas que demos a estos interrogantes y las decisiones que se deriven de ello.

REFERENCIAS

American Association for the Advancement of Science (AAAS) (1989). *Project 2061: Science for all Americans.* AAAS.

Andler, D., Fagot-Largeault, A. y Saint-Sernin, B. (2011). *Filosofía de las ciencias.* Fondo de Cultura Económica.

Calina, D., Docea, A. O., Petrakis, D., Egorov, A. M., Ishmukhametov, A. A., Gabibov, A. G., … y Tsatsakis, A. (2020). Towards effective COVID-19 vaccines: Updates, perspectives and challenges. *International Journal of Molecular Medicine, 46*(1), 3-16.

Caponi, G. (2021). Una lección epistemológica de la pandemia: el relativismo es peligroso para la salud. *Ludus Vitalis, 28*(54), 95-99.

Davis, M. (2020). *Llega el monstruo. COVID-19, gripe aviar y las plagas del capitalismo.* Capitán Swing.

Del Monte Luna, P. (2020). Sociedad, ciencia y COVID-19. *Ludus vitalis, 29*(53), 95-97.

Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE). (2022). *Encuesta Pulso Social (EPS).* Resultados ronda 20 (periodo de referencia: marzo del 2022). DANE. https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/boletines/pulso-social/presentacion-pulso-social-marzo-2022.pdf

Diéguez, A. (2011) El origen evolutivo de la racionalidad humana. En A. R. Pérez Ransanzy A. Velasco Gómez (Eds.), *Racionalidad en ciencia y tecnología. Nuevas perspectivas iberoamericanas* (pp. 179-191). Universidad Nacional Autónoma de México.

Elster, J. (2008). *Reason and rationality.* Princeton University Press.

Farhud, D. y Zokaei, S. (2021). A brief overview of COVID-19 vaccines. *Iran J. Public Health, 50*(7), i-vi.

Fleck, L. (1986). *La génesis y el desarrollo de un hecho científico: Introducción a la teoría del estilo de pensamiento y del colectivo de pensamiento.* Alianza Editorial.

Frías Villegas, G. (2013) Orgullo y prejuicio. el camino de la ciencia desde el instituto hasta la sociedad. En E. Vizcaya (Ed.), *Ciencias y sociedad: pinceladas* (pp. 57-66). Universidad Nacional Autónoma de México.

Gøtzsche, P. (2020). *Vacunas. Verdades, mentiras y controversia.* Edición actualizada COVID-19. Capitán Swing.

Larrondo Ureta, A., Peña Fernández, S. y Morales i Gras, J. (2021). Desinformación, vacunas y COVID-19. Análisis de la infodemia y la conversación digital en Twitter. *Revista Latina de Comunicación Social, 79*, 1-18. https://www.doi.org/10.4185/RLCS-2021-1504

Larson, H. J. y Broniatowski, D. A. (2021). Volatility of vaccine confidence. *Science, 371*(6536), 1289-1289.

Longino, H. E. (2018). *The fate of knowledge*. Princeton University Press.

López, A. (2011). Un estudio crítico del concepto de objetividad social en el debate Pasteur-Pouchet sobre la generación espontánea. En A. R. Pérez y A. Velasco (Eds.), *Racionalidad en ciencias y tecnología* (pp. 375-391). Universidad Nacional Autónoma de México.

Malm, A. (2020). *El murciélago y el capital. Coronavirus, cambio climático y guerra social.* Errata Naturae.

Maruggi, G., Zhang, C., Li, J., Ulmer, J. B. y Yu, D. (2019). mRNA as a transformative technology for vaccine development to control infectious diseases. *Molecular Therapy, 27*(4), 757-772.

Mathieu, E., Ritchie, H., Ortiz-Ospina, E. *et al*. (2021). A global database of COVID-19 vaccinations. *Nat. Hum. Behav., 5*, 947–953. https://doi.org/10.1038/s41562-021-01122-8

Matthews, M. R. (2017). *La enseñanza de la ciencia: un enfoque desde la historia y la filosofía de la ciencia*. Fondo de Cultura Económica.

Mosterín, J. (2008). *Lo mejor posible: racionalidad y acción humana*. Alianza Editorial.

Oldstone, M. (2002). *Virus, pestes e historia.* Fondo de Cultura Económica.

Olivé, L. (2000). *El bien, el mal y la razón.* Paidós.

Olivé, L. (2011) La razón naturalizada y la racionalidad plural. En A. Pérez Ransanz y A. Velasco Gómez (Eds.), *Racionalidad en ciencia y tecnología. Nuevas perspectivas iberoamericanas.* Universidad Nacional Autónoma de México.

Olivé, L. (2012). Racionalidad, objetividad y verdad. En L. Olivé, *Racionalidad epistémica* (pp. 91-122). Enciclopedia Iberoamericana de Filosofía nº. 9. Trotta.

Oreskes, N. (2021). Why trust science? Perspectives from the history and philosophy of science. En S. Macedo (Ed.), *Why trust science?* (pp. 15-68). Princeton University Press.

Organización Mundial de la Salud (OMS). (mayo del 2022). *Brote de enfermedad por coronavirus (COVID-19).* OMS. https://www.who.int/es/emergencies/diseases/novel-coronavirus-2019

Organización Panamericana de la Salud (OPS) y Organización Mundial de la Salud (OMS). (2020). *Entender la infodemia y la desinformación en la lucha contra la COVID-19.* https://iris.paho.org/bitstream/handle/10665.2/52053/Factsheet-Infodemic_spa.pdf?sequence=16&isAllowed=y

Pérez, I. (2021). *Desafíos de las vacunas contra el coronavirus.* Ciencia UNAM. https://ciencia.unam.mx/leer/1101/desafios-de-las-vacunas-contra-el-coronavirus

Pinker, S. (2021). *Racionalidad: qué es, por qué escasea y cómo promoverla*. Paidós.

Quammen, D. (2020). *Contagio. La evolución de las pandemias.* Debate.

Rescher, N. (1988). *Rationality.* Oxford University Press.

Sabahelzain, M. M., Hartigan-Go, K. y Larson, H. J. (2021). The politics of COVID-19 vaccine confidence. *Current Opinion in Immunology, 71,* 92-96.

Tram, K., Saeed, S., Bradley, C., Fox, B., Eshun-Wilson, I., Mody, A. y Geng, E. (2021). Deliberation, dissent, and distrust: understanding distinct drivers of coronavirus disease 2019 vaccine hesitancy in the United States. *Clinical Infectious Diseases, 74*(8), 1429-1441. https://doi.org/10.1093/cid/ciab633

Vergara, R., Sarmiento, P. y Lagman, J. (2021). Building public trust: a response to COVID-19 vaccine hesitancy predicament. *Journal of Public Health, 43*(2), e291-e292. doi: 10.1093/pubmed/fdaa282

Verger, P. y Dubé, E. (2020). Restoring confidence in vaccines in the COVID-19 era. *Expert Review of Vaccines, 19*(11), 991-993. doi: 10.1080/14760584.2020.1825945

Villoro, L. (1982). *Creer, saber y conocer.* Siglo XXI.

Ye, Z. W., Yuan, S., Yuen, K. S., Fung, S. Y., Chan, C. P. y Jin, D. Y. (2020). Zoonotic origins of human coronaviruses. *International Journal of Biological Sciences, 16*(10), 1686-1697.

Zonenszain, Y. (2021). Las vacunas contra el COVID-19: dos dilemas éticos a considerar. *Medicina y Ética, 32*(1), 215-231. https://doi.org/10.36105/mye.2021v32n1.06

Capítulo 3. Relevancia de la educación científica en contextos colombianos[1]

Yair Alexander Porras Contreras
María Rocío Pérez Mesa
Rosa Nidia Tuay-Sigua
Universidad Pedagógica Nacional

INTRODUCCIÓN

El escenario de crisis que vive hoy la humanidad, producto entre otras causas de la emergencia sanitaria ocasionada por la pandemia de la COVID-19, ha acelerado la instalación de diferentes asimetrías, desigualdades e inequidades en el mundo. Podría decirse que es una prueba de las limitaciones de una modernidad sólida confiada en las certezas, "los grandes" y el sistema de mercado. El paso hacia una modernidad tardía (Giddens *et al*., 1996),

1 Investigación vinculada al proyecto de cooperación internacional: *ROSES-UPN 2021: La relevancia de la educación científica ROSES - Caso Colombia*, vinculado al proyecto *La relevancia de la educación científica para el siglo XXI en España e Iberoamérica (ROSES),* financiado por el Ministerio de Ciencia e Innovación y la Agencia Estatal de Innovación de España MCIN/AEI/ 10.13039/501100011033.

que pone en entredicho la verdad de la ciencia y la tecnología, es lo que Bauman (2005) denomina *modernidad líquida*, un periodo de la historia donde las verdades que otrora se consideraban seguras escapan de nuestras manos como un fluido. Si las crisis ambiental y sanitaria hacen parte del problema contemporáneo más importante que enfrenta la humanidad, es conveniente reconocer la necesidad perentoria de posicionar la ciencia y la tecnología como idearios en los procesos de formación ciudadana, más aún cuando surgen teorías negacionistas y noticias falsas con las cuales se ponen en entredicho los mismos cimientos del conocimiento.

El llamado por una transformación en los procesos de formación científica, que incluyan una educación contextualizada y desafiante, que fomente la consolidación de un proyecto político y pedagógico con el cual enfrentar las crisis, apunta hacia la formación de una ciudadanía crítica, que resuelva problemas cotidianos, argumente con base en evidencias y aprenda a tomar decisiones fundamentadas (Vázquez y Manassero, 2019; Porras, Tuay y Ladino, 2020). La crisis que mencionamos es considerada por Enrique Leff (2014) como

> […] una falla en los modos de comprensión del mundo y de construcción del conocimiento que constituyeron e instituyeron la racionalidad de la modernidad; del modo hegemónico de producción del mundo que diseñó formas insustentables de habitabilidad de la tierra y ha desencadenado un proceso progresivo de degradación ecológica del planeta. (p. 9)

Ante este panorama, emergen propuestas investigativas que tienen por objeto reconocer el grado de valoración de la ciencia y la tecnología en los jóvenes y que toman como referencia la dimensión afectiva y el componente actitudinal. Un ejemplo de estas investigaciones es el proyecto ROSE (Relevance of Science Education), liderado por S. Sjøberg y C. Schreiner (2019), cuyo propósito consistió en indagar la percepción de estudiantes de 15 años, de diferentes países del mundo, sobre diferentes ámbitos de la educación en ciencias naturales, centrando su unidad de análisis en la dimensión actitudinal. Aunque esta investigación incluyó un gran número de países y continentes, es la primera vez que se adelanta el estudio en Latinoamérica, fortaleciendo el papel de los investigadores de la región en torno a las actitudes en la formación científica.

En consecuencia, el propósito de esta revisión consiste en sintetizar y analizar la evidencia de los estudios referentes a las actitudes de los estudiantes de secundaria en el ámbito de la educación en ciencias naturales en Iberoamérica. Esto se realizará a partir de la revisión de cinco bases de datos en tres idiomas (español, inglés y portugués), que permiten abarcar la mayor cantidad de producción científica en este ámbito.

Fomentar una educación científica y tecnológica motivadora, contextualizada y significativa, que incremente el interés de los estudiantes por temas sociocientíficos, permite articular, probablemente, sus expectativas profesionales con aspectos propios del conocimiento científico y tecnológico, con base en la indagación de algunos factores afectivos ligados al aprendizaje de la ciencia y la tecnología. Las diferencias de este tipo de estudios con respecto a pruebas internacionales como PISA (Program for International Students Assessment) y TIMSS (Trends in International Mathematics and Science Study) recaen en la exclusiva importancia que estas últimas le brindan a la evaluación del logro cognitivo. Los resultados de estas pruebas, promovidas por la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE), revelan la geopolítica del conocimiento mundial, y se convierten en los insumos prioritarios de algunos gobiernos para la toma de decisiones, que en ocasiones obedecen a respuestas injustificadas producto del pánico político por no pertenecer a los primeros lugares del *ranking* mundial (Sjøberg y Schreiner, 2019).

MARCO TEÓRICO

Después de 20 años del inicio del proyecto ROSE, emerge una versión actualizada denominada ROSES (The Relevance of Science Education-Second), una continuación del proyecto comparativo internacional cuyo propósito consiste en indagar los factores afectivos relevantes para el aprendizaje de la ciencia y la tecnología. Si bien ROSE profundizó sobre las experiencias, el interés y el compromiso de los estudiantes hacia el aprendizaje de la ciencia (Sjøberg y Schreiner, 2019), los resultados demuestran una predisposición positiva frente a la ciencia y la tecnología en el grueso de la población encuestada, aunque en países del norte de Europa, al igual que en Japón, existe ambivalencia y escepticismo de los jóvenes ante los temas de ciencia y tecnología. De igual manera, se presentan diferencias de género

estadísticamente significativas, pues hay un patrón diferenciado y discriminado que revela actitudes más negativas en niñas que pertenecen a países ricos.

El mérito del proyecto ROSES consiste en conceder importancia a la voz de los estudiantes, convirtiéndose en objeto de investigación en torno a aquellos factores afectivos que parten de las actitudes, motivaciones y experiencias frente al aprendizaje de la ciencia. Algunos resultados preliminares sobre las preferencias de los estudiantes colombianos respecto a los temas curriculares de la asignatura de ciencias demuestran determinados intereses y motivaciones hacia la ciencia y la tecnología con una actitud global positiva frente a las clases de ciencias. El instrumento ROSES-2020 consta de 171 ítems acerca de diversos ámbitos de estudio, los cuales incluyen: 1) lo que me gustaría aprender (78 ítems); 2) mi futuro trabajo (23 ítems); 3) yo y los desafíos ambientales (13 ítems); 4) mis clases de ciencias (12 ítems); 5) mis opiniones sobre ciencia y tecnología (13 ítems); 6) yo como científico; 7) mis experiencias en medios digitales y redes sociales (16 ítems); 8) mis experiencias informales de ciencia (14 ítems); y 9) ¿qué ocupación te gustaría tener en el futuro? En La tabla 3.1 se presenta un comparativo entre las categorías de los instrumentos ROSE y ROSES, especificando el número de ítems para cada una de las dimensiones. Destaca la reducción significativa de los ítems entre el instrumento ROSE (246) y el ROSES (171), además de la inclusión de aspectos relacionados con el uso de la tecnología por parte de los jóvenes.

Tabla 3.1. *Comparativa instrumental del proyecto ROSE 2000 vs. el proyecto ROSES 2020*

Relevance Of Science Education (ROSE 2000)	**Relevance Of Science Education Second (ROSES 2020)**
Mis experiencias extraescolares relativas a la ciencia y la tecnología (61 ítems).	
¿Qué deseo aprender de ciencia y tecnología en la escuela? (108 ítems, 3 subdimensiones).	*Lo que me gustaría aprender (A, C y E)* (78 ítems)
Mi futuro trabajo (26 ítems).	*Mi futuro trabajo (B)* (23 ítems)
El medio ambiente y yo (18 ítems).	*Yo y los desafíos ambientales (D)* (13 ítems)
Mis clases de ciencia (16 ítems).	*Mis clases de ciencias (F)* (12 ítems)

Relevance Of Science Education (ROSE 2000)	Relevance Of Science Education Second (ROSES 2020)
Mi opinión sobre ciencia y tecnología (16 ítems).	*Mis opiniones sobre CyT (G)* (13 ítems)
Yo como científico (respuesta abierta) (1 ítem).	*Yo como científico (J)* (1 ítem)
	Mis experiencias en medios digitales y redes sociales (H) (16 ítems)
	Mis experiencias informales de ciencia (I) (14 ítems)
	¿Qué ocupación te gustaría tener en el futuro? (L) Nueva pregunta abierta en ROSES (1 ítem)

Fuente: elaboración propia.

DESAFÍOS EN LA FORMACIÓN AMBIENTAL: CONOCIMIENTOS Y HABILIDADES

La formación ambiental constituye un compromiso que vincula conocimientos, habilidades y actitudes en relación con los contextos y las realidades ambientales. Para cumplirlo, es necesaria la adopción de una perspectiva compleja en la construcción de un presente y un futuro sustentables, en la cual la construcción social del conocimiento, la argumentación, la toma fundamentada de decisiones y la creatividad promueven la generación de propuestas que integran la identidad ambiental y los conocimientos científicos, elementos fundamentales para consolidar una representación de ambiente sistémica, desde la cual es posible fomentar el pensamiento crítico (Porras *et al*., 2020; Manassero y Vázquez, 2020; Vázquez y Manassero, 2019). De esta manera,

> El campo de lo ambiental es un espacio social de conflicto entre individuos y grupos, los cuales buscan conservar o transformar las relaciones de poder derivadas de la forma de capital específica que caracteriza este campo en disputa. Es en el espacio relacional del campo ambiental en donde prevalecen interacciones entre la pluralidad de paradigmas explicativos generados desde perspectivas distintas, los cuales funcionan como marcos de interpretación de la realidad. (Porras, 2014, p. 14)

La consolidación del campo ambiental justifica el estudio de las actitudes de los estudiantes frente al ambiente, tomando como referencia la interpretación que elaboran de la naturaleza, un aspecto importante para comprender que la identidad ambiental de los jóvenes colombianos encuestados se asocia con un sentido de conexión con alguna parte del ambiente no humano, que involucra además un componente espacio-temporal en el cual emerge un apego emocional que determina el autoconcepto y las actuaciones de las personas. A continuación se detallan algunos conocimientos y habilidades que forman parte del proceso de formación ambiental, desde los cuales es posible promover una educación ambiental cercana al reconocimiento de los retos ambientales contemporáneos.

Aprender a conocer

En los procesos de formación ambiental es necesario propiciar un pensamiento sistémico que permita reconocer los subsistemas socioculturales y biofísicos, así como las interdependencias que configuran un sistema ambiental en las escalas local, regional o global. Este ejercicio implica una reflexión crítica de las relaciones entre los seres humanos y la base natural, desde referentes históricos y contemporáneos, con el fin de reconocer las dinámicas y transformaciones del ambiente, las cuales guardan una estrecha relación entre las formas de concebir el mundo y las formas de actuación tanto de los sujetos como de las instituciones que hacen parte de los diversos contextos y culturas.

Aprender a hacer

El educador ambiental propicia el diálogo para compartir conocimientos y experiencias desde diferentes disciplinas y saberes, los cuales integran diversas culturas y prácticas, al igual que promueven la interacción entre las ciencias naturales y sociales, aportando de manera significativa a la comprensión de la complejidad ambiental. Al respecto, es importante asumir una mirada integradora para el abordaje de problemas, tensiones y conflictos, que permite a los diferentes participantes reconocer y evaluar las situaciones ambientales, así como las acciones requeridas para plantear alternativas de solución a partir de la formación investigativa, con el fin de formular estrategias metodológicas que conlleven a la puesta en escena de diversas alternativas de actuación.

Aprender a vivir juntos

El educador ambiental promueve el establecimiento de relaciones que permiten reflexionar acerca de un aprender a vivir juntos en la diversidad y la diferencia, con un enfoque colaborativo y participativo, lo cual favorece el reconocimiento de las diferentes experiencias y prácticas desde un trabajo en equipo con miembros de la comunidad educativa. Esta acción tiene el objetivo de construir un proyecto de vida colectivo en favor de un ambiente sustentable, desde el cual se entrelazan diferentes generaciones en un "aprender a vivir juntos" como un compromiso de vida.

Aprender a ser

La formación ambiental implica un compromiso personal para actuar en favor de un ambiente sustentable. Por tanto, se requiere de una disposición para participar a partir de los conocimientos, experiencias y prácticas que permitan comprender las tensiones y conflictos desde una perspectiva crítica, compleja y sistémica y que inviten al ejercicio de una ciudadanía ambientalmente responsable. Este compromiso involucra el reconocimiento de sí y del otro para propiciar la interdisciplinariedad, el diálogo de saberes y el trabajo colaborativo con el fin de resignificar las relaciones naturaleza-cultura-sociedad.

EL DESAFÍO DE LA SUSTENTABILIDAD AMBIENTAL EN LA FORMACIÓN CIUDADANA

Un imperativo de la modernidad supone que el crecimiento económico y el auge de los mercados se convierten en *leitmotiv* del progreso. Desde esta mirada, el ambiente se constituye en un escaparate de recursos que, bajo la representación social recursista, justifica el extractivismo y el imperio de una economía que pone a las personas a su servicio, desatando una ola de inequidades estudiadas desde diversos ámbitos del conocimiento. Por ejemplo, el mapa EJOLT de conflictos ambientales, proyecto dirigido por el profesor Martínez Alier, muestra una serie de situaciones ambientales que alimentan la pobreza y la desigualdad social, frente a las cuales se propone un *ecologismo popular,* término asociado a "movimientos del Tercer Mundo que luchan contra los impactos ambientales que amenazan a los pobres, que conforman la mayoría de la población en muchos países" (Martínez-Alier, 2011, p. 35).

Desde este enfoque se promueve la resistencia frente a los conflictos ambientales que afectan los territorios, que supone también un cambio de paradigma ambiental en el cual se descentre el discurso de lo económico y se atiendan factores sociales y culturales. Una tesis que propugna estas ideas es formulada por Gudynas (2011) con el concepto de Buen Vivir, que

> […] implica cambios profundos en las ideas sobre el desarrollo que están más allá de correcciones o ajustes. No es suficiente intentar "desarrollos alternativos", ya que estos se mantienen dentro de la misma racionalidad de entender el progreso, el uso de la Naturaleza y las relaciones entre los humanos. Lo alternativo sin duda tiene su importancia, pero son necesarios cambios más profundos. (p. 2)

La sustentabilidad ambiental reconoce el surgimiento de estos movimientos sociales que velan por alternativas al desarrollo, promovidas desde grupos sociales ubicados en latitudes distintas a las que históricamente se han empoderado del saber y el campo ambiental. Estos grupos han prevalecido a través del tiempo, respetando su relación con la Naturaleza, y con los saberes milenarios. De acuerdo con Olivé (2009), los conocimientos que han sido "generados, preservados, aplicados y utilizados por comunidades y pueblos tradicionales, como los grupos indígenas de América Latina, constituyen una parte medular de las culturas de dichos pueblos, y tienen un enorme potencial para la comprensión y resolución de diferentes problemas sociales y ambientales" (p. 21). En otras palabras, estos aspectos, que incluyen el Buen Vivir, trascienden la mirada economicista y cosificadora del mundo y se convierten en los ejes sobre los que se construye la sustentabilidad. Según Gudynas (2011), el Buen Vivir trasciende la idea de los desarrollos alternativos, ya que estos perpetúan la misma racionalidad del modelo de desarrollo imperante, colocando a la Naturaleza como un estanco de recursos y al humano como el centro de las iniciativas ambientales.

METODOLOGÍA

La población participante en este estudio se compone por estudiantes de 15 años que cursan los grados octavo y noveno de educación secundaria en una institución educativa de Bogotá, etapa en la cual pueden tener una idea global de su experiencia formativa y una

proyección a futuro de acuerdo con sus intereses y capacidades. La muestra son 163 estudiantes (95 hombres, 62 mujeres y 6 no identificados), quienes respondieron válidamente el cuestionario ROSES.

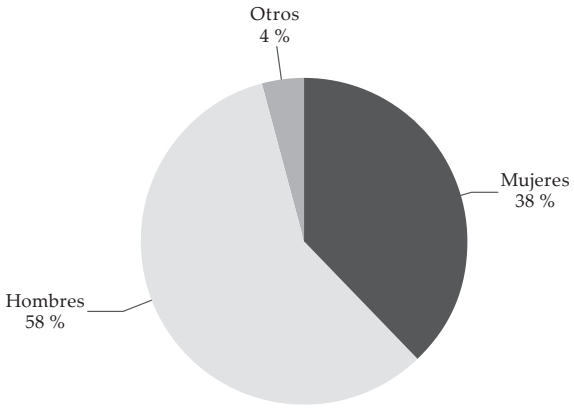


Figura 3.1. Porcentaje de participantes colombianos por género
Fuente: elaboración propia.

El presente documento hace referencia a los resultados parciales en relación con las actitudes hacia el ambiente, de la categoría "Yo y los desafíos ambientales", que evidencian 163 estudiantes colombianos participantes del proyecto ROSES. En el trabajo se indaga por las posiciones de los jóvenes respecto a retos ambientales que enfrentan las personas desde su interpretación colectiva de la realidad, por lo que se resalta la importancia de reconocer el campo ambiental como un espacio de lucha y consenso constituido por un conglomerado de relaciones de poder, emitidas desde paradigmas oficiales, no oficiales, alternativos y emergentes (Porras, 2016), el cual se nutre de la diversidad de representaciones sociales que evidencian determinadas prácticas culturales.

La escala de respuesta Likert que diligencian los estudiantes consta de cuatro puntos para expresar el grado de acuerdo de los participantes en relación con cada tema. Esta escala presenta las valoraciones 1 (desinterés), 2, 3 y 4 (interés), a partir de las cuales se hace el cálculo del promedio ponderado de las respuestas, obteniendo una representación de la opinión global de la tendencia actitudinal de la muestra. Vale la pena aclarar que los 13 ítems analizados corresponden a los intereses de los estudiantes frente al tema ambiental y permiten reconocer el compromiso y responsabilidad de los participantes en la resolución y mitigación de los problemas ambientales.

RESULTADOS Y ANÁLISIS

La mayoría de los jóvenes encuestados de la muestra colombiana manifiestan actitudes favorables frente a los retos ambientales (62 %), lo cual señala la existencia de una conciencia general sobre los problemas ambientales que aquejan a las sociedades. A partir del reconocimiento de la dimensión afectiva, en torno a la manera en que los estudiantes se relacionan con la ciencia y la tecnología, es posible reconocer sus motivaciones para actuar ambientalmente. Las respuestas de los encuestados demuestran una predisposición a la acción frente a los problemas ambientales, sin embargo, su representación sobre la articulación entre las temáticas sociocientíficas y la dimensión ambiental en un escenario de crisis global es aún incipiente.

Índice de acuerdo de estudiantes colombianos frente a los desafíos ambientales

El instrumento utilizado en la presente investigación corresponde a la categoría "Yo y los desafíos ambientales" del proyecto ROSES, un cuestionario conformado por 13 ítems, cuyo objetivo consiste en reconocer la tendencia actitudinal de los estudiantes frente a los temas ambientales, particularmente la predisposición a actuar en favor del ambiente. Al respecto, es necesario delimitar el campo de estudio y concebir la actitud como "una tendencia existente en la persona a actuar de un modo determinado cuando se encuentra ante ciertas personas, hechos o ideas. Estas personas, hechos o ideas que provocan este particular modo de obrar o actuar, son los objetos de la actitud" (Pallarés, 1981, p. 54). De acuerdo con Rosemberg y Hovland (1960), las actitudes tienen tres componentes: cognitivo (conocimientos, juicios y convicciones expresados verbalmente), afectivo (emociones, expresiones verbales sobre sentimientos) y de acción (conductas, comportamientos), que para el caso del campo ambiental, se organizan como un sistema de ideas que construyen las personas sobre el ambiente, las emociones que generan como un sentimiento de apego hacia la naturaleza y la predisposición a la acción como parte del compromiso ecociudadano.

Siguiendo las ideas de Pérez-Franco, De Pro-Bueno y Pérez-Manzano (2018), el índice de acuerdo para cada ítem se obtiene "calculando la diferencia de la suma de las dos puntuaciones más

altas de la escala (bastante de acuerdo y totalmente de acuerdo) y las dos más bajas (nada de acuerdo y algo de acuerdo)" (p. 5), lo cual brinda elementos de juicio para identificar lo que los estudiantes conocen, sienten y hacen (tabla 3.2).

Tabla 3.2. *Índices de acuerdo de estudiantes colombianos (n = 163)*

Los desafíos ambientales y yo	**% desacuerdo**	**% algo desacuerdo**	**% algo de acuerdo**	**% acuerdo**	**% índice de acuerdo**
1. Las amenazas ambientales no son asunto mío.	70,6	14,1	12,3	3,1	- 69,3
2. Los problemas ambientales hacen el futuro del mundo sombrío y desesperado.	60,4	26,8	11,0	1,8	- 74,4
3. La ciencia y tecnología pueden resolver todos los problemas ambientales.	6,2	29,8	40,4	23,6	28,0
4. Estoy dispuesto(a) a que se resuelvan los problemas ambientales, incluso si esto significa prescindir de muchas cosas.	2,4	15,2	37,0	45,5	64,8
5. Yo puedo influir personalmente en lo que suceda al medio ambiente.	4,9	20,9	28,8	45,4	48,5
6. Todavía podemos encontrar soluciones a nuestros problemas ambientales.	2,4	7,9	26,8	62,8	79,3
7. Las personas se preocupan demasiado por los problemas ambientales.	11,0	14,6	28,7	45,7	48,8
8. Los problemas ambientales pueden resolverse sin grandes cambios en nuestra forma de vivir.	20,5	20,5	27,3	31,7	18,0
9. Las personas deben preocuparse más por proteger el ambiente.	0,6	3,7	14,0	81,7	91,5
10. Resolver los problemas ambientales del mundo es responsabilidad de los países ricos.	6,7	17,8	25,2	50,3	50,9
11. Los problemas ambientales deben dejarse a los expertos.	10,9	12,7	24,8	51,5	52,7
12. Me siento optimista respecto al futuro.	17,8	28,8	29,4	23,9	6,7
13. Casi todas las actividades humanas perjudican el ambiente.	47,6	30,5	17,1	4,9	- 56,1

Fuente: elaboración propia.

A continuación se presentan las afirmaciones con las que los jóvenes encuestados se encuentran más de acuerdo, es decir, aquellas que señalan un índice de acuerdo positivo:

- Afirmación 9: Las personas deben preocuparse más por proteger el ambiente (91,5 %).
- Afirmación 6: Todavía podemos encontrar soluciones a nuestros problemas ambientales (79,3 %).
- Afirmación 4: Estoy dispuesto/a que se resuelvan los problemas ambientales, incluso si esto significa prescindir de muchas cosas (64,8 %).
- Afirmación 11: Los problemas ambientales deben dejarse a los expertos (52,7 %).
- Afirmación 10: Resolver los problemas ambientales del mundo es responsabilidad de los países ricos (50,9 %).
- Afirmación 7: Las personas se preocupan demasiado por los problemas ambientales (48,8 %).
- Afirmación 5: Yo puedo influir personalmente en lo que suceda al medio ambiente (48,5 %).
- Afirmación 3: La ciencia y tecnología pueden resolver todos los problemas ambientales (28 %).
- Afirmación 8: Los problemas ambientales pueden resolverse sin grandes cambios en nuestra forma de vivir (18 %).
- Afirmación 12: Me siento optimista respecto al futuro (6,7 %).

Estas actitudes deseables frente al posicionamiento de los jóvenes en relación con el ambiente demuestran una conciencia creciente frente a la crisis ambiental (91,5 %), la cual se corrobora con la tendencia de reflexionar sobre la solución colectiva de los problemas ambientales (79,3 %), considerando algunos sacrificios en beneficio del ambiente (64,8 %), aspectos que coinciden con estudios realizados en diferentes contextos y territorios (Schreiner y Sjoberg, 2005; Schreiner, 2006; Pérez-Franco *et al*., 2018; Vázquez y Manassero, 2009a; Vázquez y Manassero, 2009b). De igual manera, los jóvenes consideran que la ciencia y la tecnología constituyen los medios con los cuales es posible promover soluciones a las problemáticas ambientales, lo que lleva a pensar que

existe cierta confianza en el juicio de expertos (52,7 %), pero sin dejar de lado una posición ingenua frente a la responsabilidad de los países ricos en la instalación de la crisis global (50,9 %) o en los desarrollos de la ciencia y la tecnología (28 %).

El profesor Ángel-Maya (2003, p. 11) denuncia la transición actitudinal de las personas cuando revelan un cierto optimismo tecnológico que solucionaría las problemáticas ambientales, asociado con el modelo de desarrollo, para luego exhibir un pesimismo desesperanzador al responsabilizar a la ciencia y la tecnología del estado ambiental del planeta. Un tratamiento adecuado de esta transición optimismo ingenuo-pesimismo desesperanzador puede convertirse en un aspecto favorable para promover cambios en los procesos de enseñanza y aprendizaje de la ciencia y la tecnología, entre los cuales se encuentran investigaciones sobre la dimensión afectiva de los jóvenes. Al respecto, vale la pena enfatizar la mirada global optimista de los estudiantes colombianos (6,7 %), al considerar su compromiso personal en la solución de las problemáticas ambientales (48,5 %).

De acuerdo con estos resultados, es menester promover transformaciones profundas en los procesos formativos ciudadanos en educación ambiental, partiendo de la problematización de las realidades ambientales (Porras y Pérez, 2022), la construcción de un sentido de pertenencia que revele un apego al territorio (González Gaudiano, 2003), la configuración de la identidad ambiental de las personas (Porras y Pérez, 2019), el desarrollo del pensamiento crítico (Vázquez y Manassero, 2019) y la consolidación de una mirada ecociudadana frente a la crisis ambiental global (Sauvé, 2014), la cual merece un análisis local que promueva actuaciones conscientes y basadas en conocimientos. Por otra parte, las afirmaciones con las que están más en desacuerdo los jóvenes colombianos encuestados, es decir aquellas que señalan un índice de acuerdo más negativo, son:

- Afirmación 2: Los problemas ambientales hacen el futuro del mundo sombrío y desesperado (- 74,4).
- Afirmación 1: Las amenazas ambientales no son asunto mío (- 69,3).
- Afirmación 13: Casi todas las actividades humanas perjudican el ambiente (- 56,1).

El porcentaje de desacuerdo más alto de los jóvenes encuestados corresponde a un rechazo generalizado frente a un panorama desesperanzador del mundo, ocasionado por la crisis ambiental (- 74,4), lo cual constituye una actitud deseable en relación con el futuro del planeta. De igual manera, existe un distanciamiento de los jóvenes frente a posiciones cercanas a la apatía o el desinterés en relación con los temas ambientales (- 69,3), mostrando un desacuerdo ante afirmaciones que endilgan el deterioro ambiental a casi todas las actividades humanas (- 56,1). Este posicionamiento actitudinal corrobora la importancia de considerar la identidad ambiental como un tema prioritario en el análisis de las actitudes de los estudiantes frente al ambiente. En este sentido, resulta significativo promover la configuración de la identidad ambiental desde los componentes de la actitud (cognitivo, afectivo y actuacional), considerándola, en palabras de Clayton (2003),

> […] un sentido de conexión con alguna parte del entorno natural no humano, basado en la historia, el apego emocional, y/o similitud, que afecta las formas en que percibimos y actuamos hacia el mundo; una creencia de que el medio ambiente es importante para nosotros y una parte importante de quienes somos. (pp. 45-46)

CONSIDERACIONES FINALES

Los resultados parciales del presente estudio demuestran una actitud moderadamente positiva hacia el ambiente y la legitimación del discurso identitario ambiental, en un grupo de jóvenes colombianos participantes del proyecto ROSES. Destaca el anhelo de los jóvenes por promover iniciativas que permitan enfrentar las problemáticas ambientales, teniendo en cuenta los aportes de la ciencia y la tecnología, y un posicionamiento ético que revela un compromiso por transformar su realidad. El enfoque experiencial sobre el cual se resignifica la acción educativa cotidiana corrobora una actitud positiva de los estudiantes en torno a su disposición por participar en iniciativas ambientales, lo cual destaca el papel de la escuela y el rol docente en los procesos de formación ambiental, que parten de reconocer los saberes locales y el diálogo interdisciplinar en relación con las realidades ambientales.

La importancia de considerar la dimensión afectiva en la educación científica permite examinar particularidades en relación con sentimientos, conocimientos, disposiciones, actitudes y acciones que se construyen desde marcos explicativos que en ocasiones se muestran distantes para los jóvenes, razón por la cual resulta perentorio considerar sus motivaciones desde una perspectiva interdisciplinar, examinando la manera en que circulan las ideas que construyen las personas sobre la crisis ambiental, la naturaleza, el ambiente y la biodiversidad, al igual que su compromiso por transformar las condiciones ambientales locales y globales para el desarrollo del pensamiento crítico. La idea central de este argumento se basa en comprender que los grupos sociales interpretan, desde su contexto, determinados aspectos de la realidad, para hacerlos inteligibles y así establecer significados colectivos que se materializan en el lenguaje y en la disposición para actuar.

REFERENCIAS

Ángel-Maya, A. (2003). *La diosa Némesis: desarrollo sostenible o cambio cultural*. Corporación Universitaria Autónoma de Occidente.

Bauman, Z. (2005). *Modernidad líquida*. Fondo de Cultura Económica.

Clayton, S. (2003). Environmental identity: a conceptual and an operational definition. En S. Clayton y S. Opotow (Eds.), *Identity and the natural environment. The psychological significance of nature* (pp. 45-65). MIT Press. https://doi.org/10.7551/mitpress/3644.003.0005

Giddens, A., Bauman, Z., Luhman, N. y Beck, U. (1996). *Las consecuencias perversas de la modernidad. Modernidad, contingencia y riesgo.* Anthropos.

González-Gaudiano, E. (2003). Educación para la ciudadanía ambiental, *Interciencia, 28*(10), 611-615.

Gudynas, E. (2011). Buen Vivir: germinando alternativas al desarrollo. *América Latina en Movimiento, ALAI, 462*, 1-20.

Leff, E. (2014). *La apuesta por la vida. Imaginación sociológica e imaginarios sociales en los territorios ambientales del sur.* Siglo XXI Editores.

Manassero-Más, M. A. y Vázquez-Alonso, A. (2020). Evaluación de destrezas de pensamiento crítico: validación de instrumentos libres de cultura. *Tecné, Episteme y Didaxis: TED, 47,* 15-32. https://doi.org/10.17227/ted.num47-9801

Martínez-Alier, A. J. (2011). *El ecologismo de los pobres. Conflictos ambientales y lenguajes de valoración*. 5.ª ed. Icaria Antrazyt.

Olivé, L. (2009). Por una auténtica interculturalidad basada en el reconocimiento de la pluralidad epistemológica. En Clacso, Cides-UMSA. *Pluralismo epistemológico* (pp. 19-30). Comuna y Muela del Diablo Editores.

Pallares, M. (1981). *Técnicas e instrumentos de evaluación*. CEAC.

Pérez-Franco, D., De Pro-Bueno, A. y Pérez-Manzano, A. (2018). Actitudes ambientales al final de la ESO. Un estudio diagnóstico con alumnos de secundaria de la región de Murcia. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias, 15*(3), 3501. doi:10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2018.v15.i3.3501

Porras, Y. (2014). La construcción social de la crisis ambiental: reflexiones sobre el cambio climático desde una perspectiva crítica. En Y. Porras *et al., Retos y oportunidades de la educación ambiental en el siglo XXI* (pp. 99-129). Universidad Pedagógica Nacional.

Porras, Y. (2016). Representaciones sociales de la crisis ambiental en futuros profesores de química. *Ciência & Educação, 22*(2), 431-449.

Porras, Y. y Pérez, M. (2019). Identidad ambiental: múltiples perspectivas. *Revista Científica, 34*(1), 123-138.

Porras, Y. y Pérez, R. (2022). Representaciones sociales del cambio climático en futuros profesores de ciencias: una mirada desde la perspectiva freiriana. *Tecné, Episteme y Didaxis: TED, 52*, 1-17.

Porras, Y., Tuay, R. y Ladino, Y. (2020). Desarrollo de la habilidad argumentativa en estudiantes de educación media desde el enfoque de la naturaleza de la ciencia y la tecnología. *Tecné, Epistemé y Didaxis: TED, 48*, 143-161.

Rosenberg, M. J. y Hovland, C. I. (1960). Cognitive, affective and behavioral components of attitudes. En M. J. Rosenberg y C. I. Hovland (Eds.), *Attitude organization and change: an analysis of consistency among attitude components*. Yale University Press.

Sauvé, L. (2014). Educación ambiental y ecociudadanía. Dimensiones claves de un proyecto político-pedagógico. *Revista Científica, 18*, 12-23. http://revistas.udistrital.edu.co/ojs/index.php/revcie/article/view/5558

Schreiner, C. (2006). *Exploring a ROSE garden: Norwegian youth's orientations towards science - Seen as signs of late modern identities. based on ROSE (the Relevance of Science Education), a comparative study of 15-year-old students' perceptions of science and science education*.

(Tesis de doctorado). Universidad de Oslo. https://www.duo.uio.no/bitstream/handle/10852/32331/schreiner_thesis.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Schreiner, C. y Sjøberg, S. (2005). Empowered for action. How do young people relate to environmental challenges? En S. Alsop, (Ed.), *Beyond cartesian dualism. encountering affect in the teaching and learning of science.* Springer, Science and Technology Education Library. https://folk.uio.no/sveinsj/Springer-ROSE-Schreiner-Sjoberg.pdf

Sjøberg, S. y Schreiner, C. (2019). *ROSE (The Relevance of Science Education): The development, key findings and impacts of an international low cost comparative project.* Rose Final Report, Part 1. Universidad de Oslo.

Vázquez, A. y Manassero, M. A. (2009b). La relevancia de la educación científica: Actitudes y valores de los estudiantes relacionados con la ciencia y la tecnología. *Enseñanza de las Ciencias, 27*(1), 33-48.

Vázquez, A. y Manassero, M. A. (2009a). Factores actitudinales determinantes de la vocación científica y tecnológica en secundaria. *Cultura y Educación, 21*(3), 319-330.

Vázquez-Alonso, A. y Manassero-Mas, M. (2019). La educación de ciencias en contexto: aportaciones a la formación del profesorado. *Tecné, Episteme y Didaxis: TED, 46,* 15-37.

Capítulo 4. La educación en ciencias en el contexto de la educación mediada por TIC*: crisis, retos y oportunidades*

Pedro Nel Zapata Castañeda
Universidad Pedagógica Nacional

> En la última década, en la que la emergencia climática ha empezado a mostrar sus efectos, la manecilla del reloj no ha dejado de acercarse a la medianoche. Los cinco años en los que se ha registrado una mayor temperatura del planeta han sucedido después del 2015. Además, cada año se van incorporando lo que los expertos llaman riesgos existenciales: factores que ponen en peligro la continuidad de la humanidad tal y como la conocemos. La inteligencia artificial, la biotecnología o las nuevas pandemias son amenazas que aumentan la presión sobre el Reloj del Apocalipsis, sumándose al peligro atómico original y la emergencia climática.
>
> JAVIER SALAS (2020)

> En el año 2014 el gran físico Stephen Hawking afirmó "La IA augura el fin de la raza humana". Una inteligencia artificial elaboró un ensayo en el cual contraargumentó al gran físico señalando: "Dios sabe que los hombres tienen la suficiente sed de sangre y morbo para satisfacer mi curiosidad y la de muchos más. No tendrán que preocuparse por pelear contra mí, porque no tienen nada que temer".
>
> TENDENCIAS *EL TIEMPO* (2020)

La cátedra doctoral titulada "La educación en ciencias en el contexto de la educación mediada por TIC: crisis, retos y oportunidades" estuvo dividida en tres partes, que se exponen en este capítulo. En la primera, se presenta una breve revisión de lo que, se considera, han sido los principales avances en el campo de la didáctica de las ciencias a partir de las década de los ochenta en el contexto colombiano. En la segunda, se presenta un análisis de la situación actual de la didáctica de las ciencias a partir del texto de Porlan (1998) *Pasado, presente y futro de la didáctica de las ciencias* y de lo que se plantea como la crisis del constructivismo y el desarrollo de un nuevo paradigma en la educación, caracterizado por la utilización de las TIC. En la tercera parte, con base en las tendencias de investigación en los últimos años, se presentan algunas reflexiones sobre las cuestiones más relevantes a las que debe atender la educación en ciencias, en el marco del llamado de organizaciones como la ONU y la Unesco sobre la crisis planetaria y el papel de la educación para afrontar los problemas derivados de dicha crisis y los desarrollos del programa de investigación en inteligencia artificial.

PRIMERA PARTE: UNA BREVE RETROSPECTIVA SOBRE LA DIDÁCTICA DE LAS CIENCIAS

Algunas de las investigaciones más importantes sobre la memoria humana y el aprendizaje de conceptos se desarrollaron durante las décadas de los sesenta y setenta del siglo XX. Las investigaciones de Miller (1956) sobre la capacidad de los seres humanos para almacenar información y de Tulving (1972) sobre las memorias episódica y semántica, entre otros estudios, posibilitaron la consolidación de las teorías computacionales y el modelo de almacenamiento de información en tres etapas propuesto por Atkinson y Shiffrin (1968). Adicionalmente, Ausubel, Novak y Hanessian (1978) publicaron el texto *Psicología educativa: un punto de vista cognoscitivo*, en donde plantearon los fundamentos de la denominada teoría del aprendizaje significativo, la cual, en primer lugar, representó un avance importante respecto a otras teorías del aprendizaje de conceptos como la de Bruner sobre la comprobación de hipótesis (Bruner, 1991) o la teoría del aprendizaje de conceptos prototipo propuesta por Rosch (1977). En segundo lugar, fue un soporte importante en las diversas investigaciones en el campo de la didáctica de las ciencias, en las cuales el aprendizaje significativo se convirtió en el objetivo más importante en cualquier proceso

educativo. En tercer lugar, también se convirtió en el soporte, desde el punto de vista de la psicología del aprendizaje, del denominado paradigma constructivista.

En este mismo contexto, Novak (1988), coautor del libro de Ausubel, publicaría algunos años más tarde el artículo titulado "Constructivismo humano: un consenso emergente", en el que señalaba, entre otros, los siguientes consensos:

1. "La capacidad para procesar información y el ritmo de adquisición de nueva información es altamente dependiente de los conocimientos relevantes almacenados anteriormente y del contexto del problema o de la tarea de aprendizaje" (Novak, 1988, p. 214).
2. "La contribución principal de la teoría de Ausubel fue su énfasis en la potencia del aprendizaje significativo, en contraste con el aprendizaje por repetición, y la claridad con que describía el papel que juegan los conocimientos previos en la adquisición de nuevos conocimientos" (Novak, 1988, p. 214).
3. "Los mapas conceptuales sirven como una herramienta útil para ilustrar ideas clave en la teoría de la asimilación. La adquisición de nuevos conocimientos puede variar a lo largo de un continuo desde el aprendizaje por repetición hasta el aprendizaje altamente significativo" (Novak, 1988, p. 215).
4. "El constructivismo humano es un esfuerzo de integrar la psicología del aprendizaje humano y la epistemología de la construcción de conocimientos" (Novak, 1988, p. 220).
5. "El consenso emergente (ver Linn, 1987) en psicología señala el papel crucial que desempeñan los conceptos y las relaciones entre conceptos en la construcción de conocimientos por los humanos, y el importante rol que tiene el lenguaje para codificar, dar forma y adquirir significados" (Novak, 1988, p. 221).

Siguiendo esta breve línea de tiempo, algunos años más tarde Aliberaz, Gutiérrez e Izquierdo (1989) publicaron un artículo seminal, por lo menos en el contexto iberoamericano, titulado "La didáctica de las ciencias: una empresa racional", en el que, apelando a los modelos epistemológicos de Kuhn (1975) y Toulmin (1972), analizan la configuración de la didáctica de las ciencias como una empresa racional.

En su artículo, Aliberaz, Gutiérrez e Izquierdo (1989) señalan que "para que la didáctica de las ciencias comience a perfilar sus nuevos patrones de racionalidad es necesario perfilar unos nuevos objetivos" (p. 280), entre los que destacan, en primer lugar, la escala de la crisis, que se refiere a la situación preparadigmática de la didáctica de las ciencias (p. 280). En segundo lugar, comprenden la interfase ciencia-sociedad como la necesidad de establecer unos nuevos objetivos y funciones de la didáctica de las ciencias más vivenciales y relacionados con el vínculo entre la ciencia, la sociedad y la tecnología (p. 281). En tercer lugar, señalan que se precisa un cambio en la metodología de investigación, con lo que se refieren a la incursión de la etnografía y los enfoques cualitativos en la investigación en didáctica de las ciencias. En cuarto lugar, resaltan la necesidad de cuestiones teóricas fragmentadas pero convergentes que se soportan en los trabajos en el campo de la epistemología genética, el aprendizaje por recepción y la psicología del procesamiento de información (p. 282). En quinto lugar, respecto a la profesión del profesor de ciencias, consideran que evitar los dogmatismos y respetar las posiciones discrepantes es una característica de la formación de profesores que afirma, precisamente, su carácter científico.

Algunos años más tarde, Gil (1994) publicó el artículo titulado "Diez años de investigación en didáctica de las ciencias: realizaciones y perspectivas", en el que señala los avances en el número de investigaciones y publicaciones sobre la didáctica de las ciencias, principalmente en España e Iberoamérica, y las principales líneas de investigación que se venían desarrollando hasta el momento en temas como las preconcepciones o concepciones espontáneas de los alumnos, las relaciones ciencia, tecnología y sociedad (CTS) y las actitudes de alumnos y profesores hacia las ciencias, mencionando también, en perspectiva, el desarrollo de investigaciones en otros temas como la formación de profesores. A propósito también de la recapitulación sobre los desarrollos de la didáctica de las ciencias en la década de los ochenta y los noventa, conviene revisar el trabajo realizado por R. Gallego, A. Gallego y R. Pérez (2002) sobre la historia de la didáctica de las ciencias, en el que se recogen otros aportes y líneas de investigación en este campo, como la relacionada con el estudio de los textos escolares y la denominada transposición didáctica (Gómez, 2005).

En este mismo contexto, Porlan (1998) planteaba los fundamentos de lo que consideraba el pasado, presente y futuro de la didáctica de las ciencias, sistematizando los avances logrados en las décadas precedentes, caracterizando las tendencias en investigación en el campo de las concepciones espontáneas de los estudiantes e incluyendo el tema de las concepciones de los profesores como objeto de estudio y la problemática de la formación profesional de los docentes. Asimismo, este autor señalaba los cuatro problemas que deberían abordarse a futuro en la investigación en didáctica de las ciencias, a saber: profundizar en los fines y fundamentos de un modelo alternativo de enseñanza-aprendizaje de las ciencias (Porlan, 1998, p. 181); desarrollar una nueva teoría del conocimiento escolar y de las estrategias que favorecen su construcción (Porlan, 1998, p. 182); construir una nueva teoría del conocimiento profesional y de las estrategias que favorecen su construcción (Porlan, 1998, p. 182); diseñar y experimentar propuestas de formación del profesorado que, tomando como referencia los avances en los puntos anteriores, tengan como orientación fundamental promover y apoyar, a su vez, la experimentación de hipótesis curriculares superadoras de los problemas que plantea el modelo tradicional de enseñanza-aprendizaje de las ciencias (p. 182).

El comienzo del siglo XXI se vio caracterizado por una discusión acerca de la denominada "crisis planetaria" y el llamado de organismos internacionales como la ONU, la Unesco y la OEI a tomar muy en serio dicha crisis. En ese contexto, se resalta la importancia de la educación para afrontar los problemas que la caracterizan, entre los que se destacan la contaminación y degradación de los ecosistemas, el agotamiento de recursos, el crecimiento incontrolado de la población, los desequilibrios insostenibles, los conflictos destructivos, la pérdida de diversidad biológica y cultural, entre otros (Gil, Vilches, Toscano y Macías, 2006, p. 127).

Así pues, los últimos veinte años han estado caracterizados por el surgimiento de la ciencia de la sostenibilidad, como la llaman algunos autores, entre ellos Kates *et al.* (2001) y Vilches y Gil (2015), lo que ha dado mayor fuerza a diversas propuestas para la enseñanza de las ciencias, entre las que se destacan los enfoques ciencia, tecnología y sociedad (CTS) y ciencia, tecnología, sociedad y ambiente (CTSA) (Merchán, 2011; Martínez, 2014).

Al respecto Vilches y Gil (2015) señalan:

> Se empezó así a desarrollar una ciencia nueva (ciencia de la sostenibilidad) para un nuevo periodo de la historia de la humanidad, el Antropoceno, en el que el planeta está experimentando grandes cambios, debidos principalmente a la acción de los seres humanos y que afectan desde la biodiversidad hasta la composición de la atmósfera, amenazando la supervivencia de la propia especie humana. (p. 50)

Para terminar esta primera parte, conviene referir algunos estudios acerca de las tendencias de investigación en enseñanza de las ciencias en los últimos diez años. Al respecto, por ejemplo, el trabajo realizado por Aguilera, Vílchez, Carrillo y Perales (2021) muestra las tendencias de investigación en enseñanza de las ciencias a partir de la revisión de las publicaciones que aparecen en las principales revistas españolas en didáctica de las ciencias y la definición de un conjunto de nueve categorías propuestas por la National Association for the Research in Science Teaching (Tsai y Wen, 2005). Entre estas tendencias se destacan:

1. Formación de docentes: formación de futuros maestros y profesores; desarrollo profesional de docentes; programas y políticas de formación docente; cuestiones relacionadas con la reforma de la formación docente; enseñar a enseñar.
2. Enseñanza: cognición docente; conocimiento del contenido.
3. Aprendizaje y cambio conceptual en los estudiantes (aprendizaje).
4. Contextos formales de aprendizaje y características del alumno: motivación, interés y actitud del alumnado; ambiente de aula.
5. Política educativa, currículo y evaluación educativa: desarrollo, cambio, difusión o evaluación curricular; análisis social del currículo.
6. Cuestiones culturales, sociales y de género: temas multiculturales y bilingües; cuestiones étnicas; cuestiones de género; estudios comparativos desde el punto de vista social, cultural o de género; atención a la diversidad.
7. Historia, filosofía, epistemología y naturaleza de la ciencia.
8. Tecnología educativa: ordenadores; aplicaciones o herramientas interactivas; video; integración de la tecnología en la enseñanza; aprendizaje asistido por la tecnología.

> 9. Enseñanza y aprendizaje informal: aprendizaje de la ciencia en contextos informales y no formales (por ejemplo, museos, entornos al aire libre, etc.); conciencia pública de la importancia de la ciencia.
>
> (Tsai y Wen, 2005, p. 49)

Hasta aquí se ha presentado una breve revisión de algunos de los principales avances en el campo de la didáctica de las ciencias en las últimas cuatro décadas. A continuación se hará una reflexión sobre algunos aspectos del estado actual de la didáctica de las ciencias que permita orientar algunas discusiones.

SEGUNDA PARTE: CRISIS DEL PARADIGMA CONSTRUCTIVISTA

Al revisar los planteamientos de Porlan (1998) sobre lo que en la década de los noventa era el futuro de la didáctica de las ciencias, se observa:

1. No son claros, en la opinión de quien escribe, los fundamentos de un modelo alternativo de la enseñanza de las ciencias. Aunque si bien en los últimos veinte años han proliferado investigaciones en campos como la enseñanza para la comprensión, el aprendizaje cooperativo, el aprendizaje colaborativo, la resolución de problemas, el aprendizaje basado en proyectos, las cuestiones sociocientíficas CSC y las relaciones CTSA, queda pendiente por discutir qué se entiende por modelo alternativo y si hablamos de un solo modelo o de varios. Adicionalmente, debe señalarse que es evidente una disminución en el estudio de las concepciones alternativas, aspecto clave en la teoría del aprendizaje significativo, así como un notorio aumento de investigaciones en el campo del uso de las TIC en la educación. Esta situación supone desconocer un aspecto clave del constructivismo humano —las concepciones alternativas de los estudiantes— y conduce a formular la tesis según la cual esta corriente se encuentra en crisis.
2. Construir una teoría del conocimiento escolar resulta una tarea ingente debido quizás a la complejidad del proceso educativo y al hecho de que, como todo conocimiento, siempre está en cambio. Cualquier teoría del conocimiento escolar siempre resultará insuficiente para explicar la diversidad de

situaciones, manifestaciones, causas y consecuencias de un hecho educativo. Así pues, parece lícito aceptar la necesidad de una epistemología de la complejidad para explicar, por lo menos, en alguna medida, el proceso educativo, con sus múltiples actores, procesos, cambios e incertidumbres. En este aspecto también vale la pena preguntarnos si es posible formular una teoría del conocimiento escolar, con lo cual habría que, por lo menos, definir qué explicaría dicha teoría, qué modelos permitirían concretarla y cuáles serían sus alcances y limitaciones. Lo que se observa en la actualidad es que se habla de teorías del aprendizaje, de la evaluación, del currículo, del conocimiento profesional docente y, quizás, de la enseñanza, sin que se observe una integración coherente entre los avances teóricos en cada uno de estos aspectos.

3. Sobre el desarrollo de una teoría del conocimiento profesional, vale la pena señalar que este campo ha sido uno de los más prolíficos en los últimos años y también uno de los más diversos. Los trabajos pioneros de Shulman (1986; 1987) sobre el conocimiento pedagógico del contenido (*pedagogical content knowledge,* PCK) han servido de marco de referencia para una amplia variedad de estudios. No obstante, como lo señalan Parga y Mora (2014), a partir de los trabajos de Shulman se han derivado otras aproximaciones al conocimiento de los profesores que han recibido diversas denominaciones, tales como conocimiento profesional del profesorado (CPP), conocimiento didáctico del contenido (CDC) o, más recientemente, conocimiento tecnológico-pedagógico del contenido (*tecnological pedagogical content knowledge,* TPCK) (Ortega, 2020). Aunque si bien estos planteamientos han dado lugar a diversidad de estudios, lo cierto es que hay un distanciamiento, una brecha, entre los avances teóricos respecto a la formación de profesores y la manera como estos conocimientos se incorporan en los currículos de formación.

4. Lo anterior conduce a la pregunta de si se han logrado diseñar y experimentar, como lo señalaba Porlan (1998), propuestas para la formación de profesores que superen el denominado modelo tradicional de enseñanza y aprendizaje de las ciencias. En este sentido, es evidente que hace falta adelantar estudios que permitan dar cuenta de los modelos y experiencias en la

formación de profesores de ciencias. Sobre este aspecto, es importante llamar la atención respecto al hecho de que referentes teóricos como el PCK, el CDC y el CPP se han introducido como temas de estudio en los programas de formación de profesores; no obstante, hace falta identificar si tales referentes se han concretado en propuestas innovadoras para la formación de docentes. Al respecto, por ejemplo, en un trabajo anterior (Rojas y Zapata, 2017) se examinó la contribución de las prácticas pedagógicas al desarrollo del conocimiento profesional de los profesores en formación inicial, sin que esto signifique que tal conocimiento fuese una meta explícita en los programas de formación de los profesores que participaron en el estudio.

5. Otro ejemplo al respecto tiene que ver con la introducción en los currículos de formación de profesores de cursos sobre historia y epistemología de las ciencias. Aunque si bien autores como Novak (1988) han señalado la importancia de estos aspectos, lo cierto es que no es evidente que tal orientación haya permeado en realidad un buen porcentaje de las distintas asignaturas o espacios académicos que conforman los planes de estudio para la formación de profesores. Es decir, podría plantearse la hipótesis, no demostrada, de que la formación actual de profesores de ciencias sigue sin tener en cuenta la historia y la epistemología de las disciplinas como ejes articuladores de los planes de formación.

6. Como era de esperarse, los planteamientos de Porlan (1998) sobre el futuro de la didáctica de las ciencias no tuvieron en cuenta la irrupción de un nuevo paradigma en la educación caracterizado por el uso de las TIC. Al respecto, es claro que la crisis del paradigma constructivista se ve motivada por varios aspectos, entre los que se destacan, primero, la adhesión de numerosos investigadores al paradigma nuevo o emergente; segundo, el número cada vez más creciente de revistas, eventos, investigaciones y publicaciones sobre el uso de las TIC en la educación; tercero, las críticas provenientes de los estudios sobre las diferencias individuales y la denominada estilística educativa, que cuestionan la homogenización del aula y que hablan a favor de un "aprendizaje a demanda" o un "aprendizaje adaptativo" (Duque, Ovalle y Carrillo, 2020) que tenga en

cuenta las diferencias individuales de los estudiantes, entre las que se destacan los ritmos, los intereses y los estilos cognitivos del aprendizaje, a los cuales la educación mediada por TIC podría dar respuesta. Claro está que podría decirse que el paradigma emergente de la educación mediada por el uso de las TIC apenas está en proceso de consolidación y se ha visto potenciado por el estado de cuarentena de la población mundial a causa de la pandemia del SARS-CoV-2. Sin duda alguna, muchas de las visiones de la educación en ciencias planteadas en los años noventa no tuvieron en cuenta la irrupción de un nuevo paradigma en la educación (Diaz Barriga, 2008) mediado por el uso de las TIC, por lo que está en discusión si los planteamientos del modelo constructivista pueden aplicarse, sin más, a este paradigma emergente.

7. A este respecto, también queda claro que el auge de las modalidades educativas que hacen uso de las TIC, tales como el *b-learning*, el *full-learning* y el *mobile-learnig*, plantean diversos interrogantes acerca de los fundamentos de un modelo alternativo y la extensión de los aportes construidos durante los últimos cincuenta años en el campo de la didáctica de las ciencias a estas nuevas modalidades educativas.

Sobre la educación mediada por el uso de las TIC, Siemens (2004), en su artículo titulado "Conectivismo: una teoría del aprendizaje para la era digital", señala que "en los últimos veinte años [hace ya 40 años] la tecnología ha reorganizado la forma en la que vivimos, nos comunicamos y aprendemos" (p. 1). También considera que "anteriormente la vida del conocimiento era medida en décadas. Hoy, estos principios fundamentales han sido alterados. El conocimiento crece exponencialmente" (p. 1).

Con base en estas afirmaciones, Siemens (2004) plantea algunas críticas a las teorías conductista, cognitivista y constructivista, señalando que:

> Las teorías del aprendizaje se ocupan del proceso de aprendizaje en sí mismo, no del valor de lo que está siendo aprendido. En un mundo interconectado, vale la pena explorar la misma forma de la información que adquirimos. La necesidad de evaluar la pertinencia de

> aprender algo es una meta-habilidad que es aplicada antes de que el aprendizaje mismo empiece. (p. 4)

Así pues, Siemens (2004) señala que el conectivismo, como teoría del aprendizaje para la era digital, "asume los principios de la teorías del caos, redes, complejidad y autoorganización. El aprendizaje es un proceso que ocurre al interior de ambientes difusos de elementos centrales cambiantes que no están por completo bajo control del individuo" (p. 6). De igual manera, formula algunos principios básicos del conectivismo como teoría del aprendizaje, entre los que se destacan: la habilidad de ver conexiones entre áreas, ideas y conceptos es una habilidad clave; el aprendizaje es un proceso de conectar nodos o fuentes de información especializados; la actualización (conocimiento preciso y actual) es la intención de todas las actividades conectivistas de aprendizaje.

Con base en los planteamientos de Siemens, diversos autores como Hinojo y Fernández (2012) y Zapata-Ros (2015) han planteado nuevos enfoques en la enseñanza y el aprendizaje de las diversas disciplinas que apelan a los denominados "diseños instruccionales" (Sorden, 2005) en ambientes virtuales de aprendizaje, configurando así la situación propicia para la entrada en crisis del paradigma constructivista y la consolidación del paradigma en la educación mediada por el uso de las TIC.

El regreso a la presencialidad ha planteado para muchos docentes ciertas tensiones e interrogantes acerca de la importancia atribuida a la experiencia y conocimiento construido sobre la educación mediada por el uso de las TIC durante el periodo de cuarentena mundial y nacional. Diversas afirmaciones como que "los estudiantes aprendieron muy poco", o que "la educación presencial es mejor que la virtual", dejan entrever la necesidad de adelantar investigaciones más sistemáticas y controladas que muestren la veracidad y validez de tales afirmaciones en los contextos educativos.

Se considera que la reciente preocupación de las instituciones educativas por adelantar programas basados en el uso de las TIC, en cualquier modalidad (*b-learning*, *full learning*, aula invertida, etc.) muestra, de todas maneras, la emergencia de un nuevo paradigma en la educación cuyo desarrollo y consensos alcanzarán, en un tiempo relativamente corto, su consolidación.

Uno de los retos relevantes en la investigación educativa y, por supuesto también, en la didáctica de las ciencias, está relacionado con los procesos de investigación. En realidad, se considera que el marco epistemológico apropiado para la comprensión de los fenómenos educativos está configurado por la denominada "epistemología de la complejidad".

Al respecto, Juárez y Comboni (2012) exponen:

> Como lo ha señalado Morin, el pensamiento complejo es una invitación a salir de una manera sencilla de ver las realidades a partir de la cual la especialización, y en particular la hiperespecialización, hace que cada persona —diría yo investigador o grupo de investigadores— conozca un pequeño fragmento de la realidad y que el objeto del conocimiento sea para su estudio desvinculado de la realidad donde actúa. (p. 42)

Se puede afirmar entonces que no basta solo con señalar, como mencionaba Porlan (1998), la necesidad de tener en cuenta el paradigma cualitativo en la investigación educativa, en nuestro caso, en la investigación en didáctica de las ciencias, sino que también es preciso considerar la necesidad de desarrollar un pensamiento que nos permita comprender los fenómenos educativos desde una epistemología de la complejidad.

Ahora bien, aunque esta afirmación resulte fácil, lo cierto es que queda el interrogante acerca de cómo investigar en educación, y particularmente en la didáctica de las ciencias, desde el marco de una epistemología de la complejidad, que permita superar la especialización o la hiperespecializacion de la que habla Morin (1994, citado por Juárez y Comboni, 2012). De igual manera, habría también que preguntarnos si los denominados enfoques mixtos de investigación y el denominado pluralismo metodológico son suficientes para aproximarnos a una comprensión de los procesos educativos desde una perspectiva compleja o, por otro lado, si es necesario desarrollar otras alternativas que posibiliten una comprensión de dichos procesos desde una perspectiva más transdisciplinar en donde, como lo señalan Juárez y Comboni (2012),

> La complejidad del pensamiento, así como la reconstrucción de la realidad por el sujeto cognoscente nos lleva necesariamente a la

> transdisciplinariedad como método de investigación y como epistemología de la investigación y del conocimiento, que nos ayuda a penetrar en el conocimiento de la vida, la existencia, el desarrollo humano, la educación y las disciplinas en las que se ha compartamentalizado el conocimiento científico. (p. 43)

Por su parte, para Pérez y Setién (2008),

> La transdisciplinariedad es una concepción mucho más reciente. La propia complejidad del mundo en que vivimos nos obliga a valorar los fenómenos interconectados. Las actuales situaciones físicas, biológicas, sociales y psicológicas no actúan sino interactúan recíprocamente. La descripción del mundo y de los fenómenos actuales nos exige una nueva forma de valoración desde una perspectiva más amplia, con una nueva forma de pensar que reclama encontrar un nuevo paradigma capaz de interpretar la realidad actual. (p. 3)

Como se observa, existe una similitud en la concepción del aprendizaje planteada por Siemens (2004) a través del conectivismo como teoría del aprendizaje para la era digital y los principios que orientan la epistemología de la complejidad, entre ellos la necesidad de una transdisciplinariedad en las formas de ver los fenómenos del mundo, bien sean biológicos, sociales, políticos o educativos. Lo anterior supone, entonces, que la investigación en el campo de la educación mediada por TIC debe también adoptar un enfoque transdiciplinar que trascienda la mirada parcializada y altamente especializada.

Un segundo reto para la educación en ciencias está relacionado con lo que podríamos denominar el contenido o los objetos de estudio en la educación en ciencias. Así pues, la pregunta es si continuamos "enseñando" los conceptos, principios, leyes, formas de resolver ejercicios y problemas propios de cada disciplina o si, por otro lado, favorecemos el desarrollo de diversas habilidades de pensamiento (analizar, razonar, deducir, entre muchas otras), es decir lo que podría llamarse el "enseñar a pensar" (Nickerson, Perkins y Smith, 1987). En realidad, se considera que hoy por hoy buena parte de los contenidos que se enseñan por parte de los profesores, principalmente en la educación secundaria, son de poca utilidad. Así pues, la educación en ciencias en los niveles de básica primaria y secundaria debería tener otros objetivos más relacionados con el desarrollo de valores y una ética hacia el cuidado del planeta y el ambiente. Esto no

significa, claro está, que deban descuidarse los conceptos propios de las disciplinas, sino que estos conceptos deberían adquirir significado en el marco de sus relaciones con otros conceptos en el contexto de la denominada educación para la sostenibilidad y el abordaje desde una perspectiva transdiciplinar de los problemas derivados de la crisis planetaria. Es crucial crear una consciencia de que la crisis planetaria y los problemas que la caracterizan no son un cuento de hadas o de terror sino que son una realidad. Nos enfrentamos a un proceso de extinción, no solo de la especie humana sino de todas las demás especies vivas que habitan el planeta.

Otro aspecto relevante en este contexto es que las próximas generaciones de estudiantes deben ser educadas en el marco de las relaciones con el entorno vivo y no vivo en el planeta tierra. Sobre este particular, cobran relevancia los planteamientos de autores como Barbadilla (s. f.), quien señala:

> La evolución científica y cultural no se limita a las leyes de la selección natural y la herencia genética. El ser humano está en el umbral de poder dirigir la evolución en la dirección que crea conveniente. Paradójicamente la humanidad se enfrenta hoy a los retos de su propio éxito evolutivo. El crecimiento explosivo de su población, con las necesidades de espacio y recursos que genera, provoca la eliminación o reducción hasta tamaños insoportables de los hábitats de las especies no solo animales sino vegetales, gracias a las cuales también es posible su existencia. La tasa de extinción actual no es sostenible. Es posible que el ser humano pueda mantener la diversidad biológica en forma de semillas o células congeladas, e incluso que pueda compensar la pérdida de especies con la creación de nuevas mediante ingeniería genética. Pero la reducción drástica de espacios naturales limitará inevitablemente la diversidad. (p. 20)

Podemos inferir del apartado anterior que los grandes retos de la humanidad son el control del crecimiento de la población, la eliminación de las desigualdades socioeconómicas, el mantenimiento de un desarrollo sostenido y viable y la conservación de hábitats naturales y de especies. El éxito frente a tales desafíos precisa el desarrollo de una consciencia ética planetaria basada en el respeto a la diversidad de pueblos y culturas de nuestra especie, lo que se conoce como relaciones intraespecie. Dicha consciencia debe extenderse al conjunto de relaciones que establecemos con todas

las otras formas de vida existentes en nuestro planeta (relaciones interespecie) y a las relaciones con el entorno natural no vivo que nos rodea. Las relaciones intraespecie se ven amenazadas por las confrontaciones entre los miembros de una misma especie, que en el caso de la especie *Homo sapiens* se manifiestan en conflictos bélicos, inequidades sociales y económicas que producen desigualdad en el acceso a los recursos (por ejemplo, agua y alimentos) y que de hecho afectan la vida de algunos grupos poblacionales en diversas partes del planeta. Las relaciones interespecie se ven amenazadas por la acción de los seres humanos sobre todos los demás organismos vivos vegetales o animales (deforestación, caza indiscriminada, sustitución de vegetación silvestre por monocultivos, fumigación excesiva que causa la disminución de las poblaciones de insectos y aves, pesca extensiva, entre muchas otras), y finalmente las relaciones de la especie humana con el entorno natural no vivo se ven amenazadas por la contaminación del agua, el aire, la minería excesiva, entre otros factores, que causan profundos daños a los diversos ecosistemas del planeta.

De igual manera, la evolución o extinción de la especie *Homo sapiens* podrá ser afectada no solo por los mecanismos de la selección natural o el azar, como lo han señalado autores como Gould y Eldredge (1993), sino también por la capacidad de la especie para dirigir su propia evolución. En este orden de ideas, la evolución futura de los seres humanos y de otras muchas especies animales y vegetales no podría verse influenciada tan solo por los procesos de la selección natural. Precisamente, la "infusión" de las novedades no adaptativas, los brincos episódicos y la eventualidad de las que hablan Gould y Eldredge (1993) pueden ser introducidas en el proceso evolutivo de la especie *Homo sapiens* gracias a los desarrollos de la inteligencia artificial (IA).

Según Lepage (2016), algunas de las aplicaciones más importantes de la IA en la actualidad son la ingeniería del conocimiento (*knowledge engineering*), robótica, reconocimiento de voz (*speech recognition*), procesamiento del lenguaje natural (*natural language processing* - NLP), generación de lenguaje natural (*natural language generation* - NLG), análisis de imágenes (*image analysis*), aprendizaje automático (*machine learning*), aprendizaje profundo (*deep learning*) y percepción sensorial (*sensory perception*). Quizás esto hoy nos parezca ciencia ficción, pero basta recordar que en los últimos cien años se han dado grandes

avances en el campo de la cibernética, la informática y la ingeniería genética y que aunque hoy muchas interfaces entre estas áreas están prohibidas, es muy probable que sean superadas en el futuro. En realidad, apenas estamos empezando, y quizás en solo cien, quinientos, mil o dos mil años, si para esa época hemos logrado mantener la vida en el planeta, es posible que la simbiosis entre los seres humanos y la inteligencia artificial llegue a niveles no concebidos en la actualidad.

Para los defensores de la versión fuerte de la inteligencia artificial, la consciencia y la inteligencia no son más que los disparos de las neuronas. El funcionamiento de los circuitos cerebrales es replicable por medios informáticos, sea como una réplica exacta o, mejor, utilizando simplificaciones que darán los mismos resultados funcionales. Para Denett (1998), citado por Hochel y Gómez (s. f.), el método más viable para crear una máquina consciente es construir un robot dotado de la capacidad de interaccionar con el ambiente de un modo similar al nuestro y aprender. Así va a crear su propia representación mental del mundo y, finalmente, su propia consciencia. En suma, podría crearse una inteligencia artificial que tenga miedo a la muerte.

Según Hochel y Gómez (s. f.), para Dennet es cierto que la complejidad de la bioquímica cerebral es abrumadora. Sin embargo, en la actualidad la ciencia es capaz de imitar y suplir el funcionamiento de algunos órganos. Por ejemplo, el corazón artificial funciona realmente bien, aun siendo muchísimo más sencillo que un corazón orgánico. Si es posible con el corazón y los ojos, ¿por qué no con el cerebro? No hay ninguna objeción lógica en contra de la posibilidad de sustituir cada uno de los módulos cerebrales por un circuito electrónico. Con todo, de modo análogo al caso del corazón artificial, para construir un cerebro artificial probablemente no sea necesario hacer una copia sinapsis por sinapsis.

En el contexto anterior, se plantean cinco posibles niveles de relación entre nuestra especie y la inteligencia artificial. En el primero, nuestra especie podrá seguir desarrollando diversas aplicaciones de la IA en muy diversos campos, en este caso la IA es tan solo una herramienta, un medio para la acción del ser humano sobre el entorno que le rodea y la satisfacción de algunas necesidades humanas. En el segundo nivel, gracias a los avances en campos como la ingeniería genética, la bioinformática, los algoritmos genéticos, la biomedicina y la biotecnología, entre otras, la especie humana podrá alterar la

evolución natural de otras especies (plantas, animales) mediante la introducción de innovaciones adaptativas. En el tercer nivel, los seres humanos podrán hacer uso de la inteligencia artificial para modificar o reemplazar diversos órganos de su cuerpo, entre ellos partes del cerebro, de tal modo que cumplan las mismas funciones; se podrá emplear la ingeniería genética y la bioinformática no solo para curar enfermedades sino para evitarlas desde el mismo proceso de la concepción y, adicionalmente, facilitar la concepción a pedido. En el cuarto nivel, la inteligencia artificial podrá supervisar y controlar la mayor parte de las acciones que realizan los individuos de la especie humana en muy diversos campos y podrá autocontrolarse. Finalmente, en el quinto nivel, la inteligencia artificial podrá autoclonarse o autorreplicarse aun sin la presencia de humanos.

Este último nivel constituye lo que algunos autores como Kurzweil (2012) denominan la singularidad tecnológica. El autor emplea este término para designar el advenimiento, en algún momento futuro, del primer sistema superinteligente capaz de perfeccionarse a sí mismo, o capaz de fabricar otros sistemas más inteligentes que él, los cuales a su vez puedan hacer lo mismo, y así sucesivamente en un crecimiento exponencial de la inteligencia alcanzada en cada fase que terminará por hacer de todo el planeta una entidad global inteligente.

Kurzweil sostiene que en el año 2029 una máquina pasará el test de Turing, es decir, mostrará una inteligencia igual a la humana, pero su estimación acerca del advenimiento de la singularidad se sitúa en torno al año 2045. En otras palabras, Kurzweil cree que, en el plazo de quince años, a contar desde el 2030, las máquinas se perfeccionarán tanto a sí mismas que todo quedará bajo su control, incluyendo los recursos materiales y energéticos necesarios para mantener su crecimiento, e iniciarán su expansión. La civilización humana habrá llegado entonces a su fin y comenzará una civilización "posbiológica" bajo el dominio de la inteligencia artificial.

Kurzweil (2012) agrega:

> La singularidad constituirá la culminación de la fusión entre nuestra existencia y pensamiento biológico con nuestra tecnología, dando lugar a un mundo que seguirá siendo humano pero que trascenderá nuestras raíces biológicas. En la pos-singularidad, no habrá distinción entre humano y máquina o entre realidad física y virtual. (pp. 9-10)

A mi parecer es poco probable que lo señalado por Kurzweil se cumpla durante este siglo, principalmente lo referente al comienzo de una civilización posbiológica, como él la llama. No obstante, un siglo no es nada en la evolución de una especie como la nuestra, por lo que es posible que sus planteamientos se cumplan más adelante. Ya hay muchas naciones en el mundo, entre ellas Colombia, que se han movilizado a regular los desarrollos de la inteligencia artificial, lo cual no significa que la investigación en esta área se detenga. El ser humano es una fábrica continua de deseos, por lo que la investigación en inteligencia artificial no será una excepción, como ocurrió con los desarrollos posteriores al desciframiento del genoma humano.

Por supuesto, los avances en el programa de investigación sobre inteligencia artificial han recibido diversas críticas. Para More (1996, p. 6), citado por Diéguez (2016):

> El transhumanismo es un conjunto de filosofías que buscan guiarnos hacia una condición poshumana. El transhumanismo comparte muchos elementos con el humanismo, incluyendo un respeto por la razón y la ciencia, un compromiso con el progreso y una apreciación de la existencia humana (o transhumana) en esta vida en lugar de en alguna "vida" sobrenatural después de la muerte. El transhumanismo difiere, en cambio, del humanismo al reconocer y anticipar las alteraciones radicales en la naturaleza y en las posibilidades vitales que resultarán del desarrollo de diversas ciencias y tecnologías, como la neurociencia y la farmacología, las investigaciones sobre la extensión de la vida, la nanotecnología, la ultrainteligencia artificial, la exploración del espacio, combinado todo ello con una filosofía y un sistema de valores racionales. (p. 154)

De acuerdo con los planteamientos anteriores, considero que la educación en ciencias debe orientarse al desarrollo de una consciencia que nos permita preguntarnos por el sentido de la vida, sobre todo en estos tiempos en donde vemos la vida de la especie humana amenazada por la pandemia, así como interesarse por los problemas que afectan la trama de la vida en nuestro planeta. Dicha consciencia individual, pero a la vez colectiva, es la que nos debe llevar a actuar en cada instante pensando siempre en los efectos que nuestras acciones tienen sobre todos los demás organismos vivos de nuestro planeta y los recursos que este provee, es decir, nuestra gran familia. Somos usted, yo, nosotros, los directamente responsables por las acciones

en contra de la trama de la vida como son la deforestación, el tráfico de especies, el armamentismo nuclear, el cambio climático y los desarrollos antiéticos de la inteligencia artificial.

REFERENCIAS

Aguilera, D., Vílchez, J., Carrillo, J. y Perales, J. (2021). Tendencias investigadoras en enseñanza de las ciencias en revistas españolas 2014-2018. *Enseñanza de las Ciencias, 39*(2), 45-62.

Aliberas, J., Gutiérrez, R. e Izquierdo, M. (1989). La didáctica de las ciencias: Una empresa racional. *Enseñanza de las Ciencias, 7*(3), 227-280.

Atkinson, R. C. y Shiffrin, R. M. (1968). Human memory: a proposed system and its control processes. En K. W. Spence y J. T. Spence (Eds.), *The psychology of learning and motivation: advances in research and theory* (pp. 89-195). Vol. 2. Academic Press.

Ausubel, D. P., Novak, J. D. y Hanessian, H. (1978). *Educational psychology: a cognitive view*. 2.ª ed. Holt Rinehart And Winston.

Barbadilla, A. (s. f.). *La evolución biológica*. Bioinformática. http://bioinformatica.uab.es/divulgacio/evol.html#:~:text=La%20evoluci%C3%B3n%20biol%C3%B3gica%20es%20el,las%20especies%20que%20han%20existido

Bruner, J. S. (1991). *Actos de significado: más allá de la revolución cognitiva.* Alianza.

Dennett, D. (1998). *Brainchildren: essays on designing minds*. Penguin Books.

Díaz Barriga, F. (2008). Educación y nuevas tecnologías de la información: ¿Hacia un paradigma educativo innovador? *Revista Electrónica Sinéctica, 30*, 1-15.

Diéguez, A. J. (2016). La singularidad tecnológica y el desafío posthumano. *Pasajes. Revista de pensamiento contemporáneo, 50*, 154-164.

Duque, N. D., Ovalle, D. y Carrillo, Á. (2020). Rules-based system for personalized virtual course generation. *TecnoLógicas, 23*(47), 229-242. https://doi.org/10.22430/22565337.1494

Gallego, R., Gallego, A. P. y Pérez, R. (2002). Historia de la didáctica de las ciencias: un campo de investigación. *Tecné, Episteme y Didaxis: TED, 12*, 125-133. https://doi.org/10.17227/ted.num12-5970

Gil, D. (1994). Diez años de investigación en didáctica de las ciencias: realizaciones y perspectivas. *Enseñanza de las Ciencias, 12*(2), 154-164.

Gil, D., Vilches, A., Toscano J. y Macías, O. (2006). Década de la educación para un futuro sostenible (2005-2014). Un punto de inflexión necesario para la atención a la situación del planeta. *Revista Iberoamericana de Educación, 40,* 125-178.

Gómez, M. (2005). La transposición didáctica: historia de un concepto. *Revista Latinoamericana de Estudios Educativos, 1*(1) 83-115.

Gould, S. J. y Eldredge, N. (1993). Puntuacted equilibrium comes to age. *Nature, 366,* 223-227.

Hinojo, M. A. y Fernández, A. (2012). El aprendizaje semipresencial o virtual: nueva metodología de aprendizaje en educación superior. *Revista Latinoamericana de Ciencias Sociales, Niñez y Juventud, 10*(1), 159-167.

Hochel, M. y Gómez, E. (s. f.). *Inteligencia artificial.* https://www.ugr.es/~setchift/docs/conciencia_capitulo_2.pdf

Juárez, J. M. y Comboni, S. (2012). Epistemología del pensamiento complejo. *Reencuentro, 65,* 38-51.

Kates, R. W., Clark, W. C., Corell, R., Hall, J. M., Jaeger, C. C., Lowe, I., … O'Riordan, T. y Svedin, U. (2001). Environment and development. Sustainability science. *Science, 292*(5517), 641-642.

Kuhn, T. (1975). *La estructura de las revoluciones científicas.* Fondo de Cultura Económica.

Kurzweil, R. (2012). *La singularidad está cerca. Cuando los humanos trascendamos la biología.* Lola Books.

Lepage, C. (2016). *Aplicaciones actuales de la inteligencia artificial y su uso con la tecnología IBM Watson.* (Tesis de grado). Universidad Nacional Mayor de San Marcos.

Linn, C. M. (1987). Establishing a research base for science education: challenges, trends and recommendations. *Journal of Research in Science Teaching, 24*(3), 191-216.

Martínez, L. (2014). Cuestiones sociocientíficas en la formación de profesores de ciencias: aportes y desafíos. *Tecné, Episteme y Didaxis, TED, 36*, 77-94.

Merchán, N. Y. (2011). Las cuestiones sociocientíficas: una alternativa de educación para la sostenibilidad. *Revista Luna Azul, 32,* 45-51. https://revistasojs.ucaldas.edu.co/index.php/lunazul/article/view/1162/1085

Miller, G. A. (1956). The magical number seven, plus or minus two: Some limits on our capacity for processing information. *Psychological Review, 63,* 81-97.

Nickerson, R., Perkins, E. y Smith, E. (1987). *Enseñar a pensar: aspectos de la aptitud intelectual.* Paidós Ibérica.

Novak, J. (1988). Constructivismo humano: un consenso emergente. *Enseñanza de las Ciencias, 6*(13), 213-223.

Ortega, J. (2020). El conocimiento tecnológico pedagógico de contenido (TPCK): un análisis a partir de la relación e integración entre el componente tecnológico y conocimiento pedagógico de contenido. *Tecné, Episteme y Didaxis, TED, 47,* 249-265.

Parga, D. y Mora, W. (2014). El PCK, un espacio de diversidad teórica: conceptos y experiencias unificadoras en relación con la didáctica de los contenidos en química. *Educación Química, 25*(3), 332-342.

Pérez, N. E. y Setién, E. (2008). La interdisciplinariedad y la transdisciplinariedad en las ciencias: una mirada a la teoría biblio-lógico-informativa. *Acimed, 18*(4). http://scielo.sld.cu/pdf/aci/v18n4/aci31008.pdf

Porlan, R. (1998). Pasado, presente y futuro de la didáctica de las ciencias. *Enseñanza de las Ciencias, 16*(1), 175-185.

Rojas, M. J. y Zapata, P. (2017). Contribuciones de la práctica pedagógica a la construcción del conocimiento profesional de profesores de ciencias en formación inicial. *Enseñanza de las Ciencias: Revista de Investigación y Experiencias Didácticas, [en línea], núm. extra,* 413-418. https://raco.cat/index.php/Ensenanza/article/view/334290

Rosch, E. (1977). Human categorization. En N. Warren (Ed.). *Studies in cross-cultural psychology* (pp. 1-72). Academic Press.

Salas, J. (2020, 23 de enero). Los científicos adelantan el "reloj del apocalipsis": quedan cien segundos para el fin del mundo. *El País.* https://elpais.com/elpais/2020/01/23/ciencia/1579777464_692402.html

Shulman, L. (1986). Those who understand: knowledge growth in teaching. *Educational Researcher, 15*(2), 4-14.

Shulman, L. (1987). Knowledge and teaching: foundations of new reform. *Harvard Educational Review, 57*(1), 1-22.

Siemens, G. (2004, 12 de diciembre). *Conectivismo: una teoría de aprendizaje para la era digital.* (Traducción de Diego Leal Fonseca, 2007). https://ateneu.xtec.cat/wikiform/wikiexport/_media/cursos/tic/s1x1/modul_3/conectivismo.pdf

Sorden, S. (2005). A cognitive approach to instructional. *Design for Multimedia Learning. Informing Science Journal, 8,* 264-279.

Tendencias El Tiempo. (2020, 09 de septiembre). Robot escribe artículo y dice que es "inútil erradicar a la humanidad". *El Tiempo.* https://www.eltiempo.com/tecnosfera/novedades-tecnologia/inteligencia-artificial-escribe-texto-dice-que-no-acabara-con-humanos-536893#:~:text=Esto%20se%20evidencia%20en%20una,hacer%20sus%20vidas%20m%C3%A1s%20f%C3%A1ciles%22

Toulmin, S. (1972). *La comprensión humana: I. El uso colectivo y la evolución de los conceptos.* Alianza Universidad.

Tsai, C. C. y Wen, L. M. C. (2005). Research and trends in science education from 1998 to 2002: a content analysis of publication in selected journals. *International Journal of Science Education, 27,* 3-14. http://dx.doi.org/:10.1080/0950069042000243727

Tulving, E. (1972). Episodic and semantic memory. En E. Tulving y W. Donalson, (Eds.). *Organization and Memory* (pp. 381-403). Academic Press.

Vilches, A. y Gil, D. (2015) Ciencia de la sostenibilidad: ¿una nueva disciplina o un nuevo enfoque para todas las disciplinas? *Revista Iberoamericana de Educación, 69*(1), 39-60.

Zapata-Ros, M. (2015). Teorías y modelos sobre el aprendizaje en entornos conectados y ubicuos: Bases para un nuevo modelo teórico a partir de una visión crítica del "conectivismo". *Education in the Knowledge Society, 16*(1), 69-102.

Capítulo 5. La educación en ciencias para la transformación social

Pedro Rocha dos Reis
Instituto de Educação da Universidade de Lisboa, Portugal

INTRODUCCIÓN

Vivimos momentos de retroceso en lo que respecta a democracia, derechos humanos, justicia social y bienestar de las personas, las sociedades y el medio ambiente. Este capítulo presenta un mensaje de esperanza en tiempos mejores. Constituye una reflexión sobre el poder de la educación y los ciudadanos en la lucha contra ideologías autoritarias y estructuras que restringen los derechos y el acceso de aquellos a quienes dicen servir, y pretende ser un manifiesto contra el fatalismo, el pesimismo, la apatía o la complacencia ante la degradación ambiental y la injusticia social, a través de la presentación de un enfoque educativo promotor de cuestionamientos de los problemas ambientales de la sociedad actual y del empoderamiento de los jóvenes/ciudadanos para la transformación social hacia la construcción de un mundo más justo y sostenible. Se trata de un enfoque educativo que nos interpela como ciudadanos, permitiendo que los alumnos y sus docentes asuman el rol de ciudadanos críticos, movilizados contra los problemas ambientales e involucrados activamente en la mejora de la sociedad.

El capítulo presenta una perspectiva humanista de la educación científica que combina un enfoque de contenido científico con la educación para la ciudadanía ambiental y el desarrollo holístico de los jóvenes/ciudadanos. De esta forma, la enseñanza de las ciencias se asume como pretexto y contexto para el desarrollo de conocimientos, capacidades y actitudes que permitan a los jóvenes/ciudadanos enfrentar los problemas, desafíos e injusticias de su vida cotidiana. En este enfoque educativo, la ciencia se presenta de una manera socialmente contextualizada que refuerza la percepción de los estudiantes sobre la importancia y relevancia de la educación científica para la resolución de problemas que afectan a sus/nuestras comunidades. Según este enfoque, el éxito de los estudiantes en la escuela y en la vida no depende solo del éxito académico sino, fundamentalmente, de la experiencia de oportunidades de desarrollo intra- e interpersonal y del ejercicio de la ciudadanía en situaciones que se consideren socialmente relevantes. Los estudiantes necesitan que los alienten a asumir la responsabilidad por la promoción del bienestar de las comunidades y los ecosistemas en los que viven.

El activismo juvenil representa un elemento clave en la educación para la ciudadanía ambiental, ya que permite a los estudiantes ejercer sus derechos y deberes ambientales y desarrollar conocimientos, capacidades, valores y actitudes que los empoderen como solucionadores capaces de enfrentar los problemas ambientales contemporáneos. Por tanto, no se trata de entender la participación de los jóvenes solo en términos del derecho individual a expresar su voz en los procesos de toma de decisiones públicas —orientados hacia y por los adultos y basados en las instituciones—, sino también de participar como ciudadanos activos en acciones cotidianas, asumiéndose como miembros de sus comunidades y compartiendo roles y responsabilidades. En este proceso, los conceptos de "agencia" y "empoderamiento" asumen una posición destacada.

Este capítulo también presenta ejemplos de iniciativas de docentes y jóvenes activistas, de diferentes países y niveles educativos, fuertemente comprometidos con la construcción de un entorno más sostenible y una sociedad más justa; se trata de poderosas formas de organizar los currículos y la enseñanza que movilizan a estudiantes y docentes como sujetos corresponsables por la construcción de un mundo mejor.

EL EJERCICIO DE LA CIUDADANÍA AMBIENTAL

El ejercicio de la ciudadanía ambiental está fuertemente asociado a la capacidad del ciudadano para actuar en la sociedad como agente de cambio (Hadjichambis y Reis, 2020; Hadjichambis *et al*., 2020; Reis, 2020), lo que depende del desarrollo de la disposición y competencia para una participación crítica, activa y democrática en la prevención y resolución de los problemas ambientales. Existe un llamado a una ciudadanía bien informada y empoderada para tomar acciones apropiadas a la gravedad de los problemas ambientales que afectan a nuestro mundo (Gray *et al*., 2009; Hodson, 2003). Sin embargo, muchos ciudadanos no se sienten lo suficientemente empoderados para participar en los procesos de toma de decisiones sobre controversias socioambientales y, al mismo tiempo, la confianza en los políticos ha disminuido y la apatía política ha ganado terreno (Hodson, 2014). Durante la última década, el surgimiento de prácticas autoritarias de gobierno, el fracaso de los movimientos populares para reemplazar a los regímenes no democráticos y el surgimiento de movimientos populistas en todo el mundo han alimentado las preocupaciones sobre una posible "recesión democrática" (Diamond, 2015). Parte del éxito de estos movimientos se ha atribuido a la falta de movilización de la participación política de los jóvenes (Schulz *et al*., 2018; Jackson *et al*., 2016).

El concepto de empoderamiento suele asociarse a la capacitación de los ciudadanos para la participación y la acción sociopolítica encaminada hacia el cambio social (Schutz, 2019). En el sentido más simple y general, significa capacitar a un individuo o grupo para hacer algo. Este concepto surge en conexión con los movimientos sociales de la década de los sesenta y aparece en el contexto de los movimientos de protesta social, anclado en una filosofía que priorizaba los puntos de vista de los pueblos oprimidos, permitiéndoles no solo expresarse sino también ganar poder y superar cualquier tipo de dominación (Schutz, 2019).

El compromiso cívico depende de los jóvenes y de su motivación para participar en actividades cívicas, su confianza en la eficacia de su participación y sus creencias sobre su propia capacidad para participar activamente (Schulz *et al*., 2018). La investigación muestra que la escuela puede apoyar y alentar el compromiso cívico de un estudiante con la ayuda de: 1) climas escolares abiertos, 2) estructuras

democráticas en las escuelas y 3) oportunidades tempranas para la participación activa, la promoción del conocimiento cívico de los estudiantes y de su predisposición para participar en actividades cívicas en el futuro (Schulz *et al*., 2018; Pancer, 2015; Roth y Calabrese-Barton, 2004). Por lo tanto, la educación constituye un elemento clave para contrarrestar los bajos niveles de compromiso cívico de los jóvenes, concretamente a través de la promoción del activismo democrático (Hodson, 2014).

La participación de niños y jóvenes no puede entenderse aisladamente de los contextos sociales, culturales y políticos en los que se desarrolla. Los niños y jóvenes son segregados del mundo de los adultos, experimentando relaciones de poder desiguales con los adultos y siendo integrados a un sistema educativo donde no tienen poder y donde su agencia no es habilitada (Percy-Smith y Thomas, 2010). Gran parte de sus vidas está controlada y limitada por los adultos, y esta situación no es el resultado de la falta de capacidades o percepciones erróneas de los niños, sino de las posiciones sociales que se les asignan (Alderson y Goodey, 1996).

Mientras que en los países occidentales (mundo minoritario) la participación de los jóvenes suele entenderse como el derecho a expresar opiniones (consultas) en procesos públicos de toma de decisiones, en los países en desarrollo (mundo mayoritario) la participación tiende a adquirir un significado más amplio de contribución activa a la familia y la comunidad (Percy-Smith y Thomas, 2010). Históricamente, los adultos en los países occidentales ven a los niños como carentes de agencia y con necesidad de protección. En estos países, los adultos, a menudo, limitan a los niños en su capacidad para dar forma a sus vidas y sus comunidades, y depende de los adultos actuar en lo que consideran que es el mejor interés de los niños. Por el contrario, los niños en el mundo mayoritario muestran capacidades significativas como ciudadanos, siendo capaces de asumir responsabilidades y roles activos en sus comunidades (McDonnell, 2005). Aunque en el mundo mayoritario los niños trabajadores son frecuentemente considerados como abandonados o vulnerables, varios ejemplos muestran cómo estos niños pueden ser extremadamente activos, competentes y participativos (Percy-Smith y Thomas, 2010; White y Choudhury, 2010). Así, mientras que en los países occidentales los niños menores de 10 años suelen quedar

excluidos de las situaciones de toma de decisiones (Kirby y Laws, 2010), en otras partes del mundo los niños de esta edad pueden ser jefes de hogar (Pells, 2010). Mientras que para algunos niños y jóvenes la participación puede abrir nuevas oportunidades y opciones, para otros, que viven en circunstancias de conflicto o pobreza, puede constituir una cuestión vital, que les permite acceder a otros derechos en la lucha diaria por la supervivencia (Percy-Smith y Tomás, 2010).

Las expectativas negativas de la sociedad (en particular, de los adultos) con respecto a las capacidades de los niños y jóvenes constituyen un obstáculo importante para su participación, haciéndolos pasivos por la idea de que deben ceder a sus padres la defensa de sus intereses (Twum-Danso, 2010). El reconocimiento de la capacidad de los niños y jóvenes y de su potencial de cambio social es fundamental para neutralizar su invisibilidad e impotencia (Menezes *et al*., 2012; Yamashita y Davies, 2010).

El contexto social en el que viven los niños y jóvenes es fundamental para su desarrollo, ya que en él aprenden a través de la interacción con miembros más experimentados de sus comunidades, incluyendo otros niños (Rogoff, 1990; Valsiner, 2000; Vygotsky 1978). Muchas de las decisiones importantes para la vida de las personas y sus comunidades se toman en la vida cotidiana y no a través de la participación en estructuras políticas de gobierno. Por lo tanto, la participación social en contextos cotidianos puede ser más eficaz en términos de empoderamiento que la participación en contextos públicos de toma de decisiones (Hart, 1992; White y Choudhury, 2010).

La capacitación de los niños y jóvenes para la participación implica la experiencia/contacto con diferentes modelos de participación y el consecuente desarrollo de competencias. Sin embargo, este contacto solo es posible en comunidades donde los adultos: 1) no trabajan activamente en contra de la participación de los niños y jóvenes, por sentir que no deben ser sobrecargados o que carecen de la capacidad para hacerlo, pudiendo incurrir en manipulación por terceros; y 2) no bloqueen oportunidades ni los desalienten de participar, socavando intencionalmente o no sus capacidades y haciéndolos sentir incapaces de participar.

Otro concepto clave en la capacitación de los niños y jóvenes para la acción es el de agencia, es decir, la capacidad individual y colectiva de actuar para obtener determinados resultados deseados

y transformar las condiciones externas que los condicionan (Ginwright, 2015). Sin embargo, el concepto de agencia no es consensuado entre los especialistas, por lo que en este capítulo se utiliza la definición propuesta por Greene y Nixon (2020). Según estos autores, la capacidad de los niños o jóvenes para actuar como agentes cambia con el tiempo, pero este cambio no está vinculado a ninguna edad o etapa. La agencia humana implica la capacidad de reflexionar y tomar decisiones, y está asociada a la autodeterminación, es decir, no es simplemente desencadenada por gatillos o factores externos. La agencia siempre depende del contexto, surge del desarrollo de transacciones con el entorno social y material y es moldeada tanto por la actividad en el mundo como por el uso del lenguaje. Inevitablemente, está limitada por realidades biológicas, ambientales y temporales. Las creencias y las intenciones son reales, no ilusorias, y pueden tener un impacto directo en lo que hace un individuo.

Así, se puede contribuir al desarrollo de la agencia en los jóvenes creando espacios para la expresión de su voz e identificando las formas en que pueden involucrarse en los problemas de sus comunidades (Hart, 2008). La provisión de proyectos tangibles para el cambio local, que sean alcanzables y fomenten el empoderamiento, facilita el desarrollo de la convicción de que el cambio es posible.

Según algunos autores (Freire, 1970/1987), las poblaciones oprimidas no tienen agencia ni capacidad política para liberarse de las narrativas dominantes (para emanciparse), por lo que requieren de la interacción con otros miembros de la comunidad que tienen esta capacidad. Sin embargo, otros autores creen que cualquier ciudadano tiene la capacidad de contribuir al cambio social, enfrentando su propio dolor y negándose a permanecer complaciente con la narrativa dominante (Gramsci, 1971).

EL CONCEPTO DE ACTIVISMO

El activismo es un concepto problemático, a menudo asociado con imaginarios sociales de: 1) acciones radicales y, en ocasiones, violentas por parte de grupos fanáticos (Davies *et al*., 2019); 2) prácticas de adoctrinamiento que no respetan diferentes puntos de vista (Alsop y Bencze, 2009); y 3) enfrentamientos entre policías y manifestantes en espacios públicos (Calabrese *et al*., 2010). En algunos contextos académicos (bajo la influencia de Paulo Freire), el término "activismo"

se asocia con una práctica desprovista de teoría —o una acción sin reflexión— (Freire, 1970/1987). Según Freire, la transformación del mundo requiere un proceso dialéctico entre la práctica y la teoría (entre la acción y la reflexión): la teoría desprovista de práctica consiste en simple verbalismo, en tanto que la práctica desprovista de teoría da como resultado un activismo ciego. Sin embargo, en este capítulo, "activismo" se refiere a un proceso de resolución colectiva, democrática, basada en la investigación y negociación de problemas socioambientales.

La acción comunitaria informada (basada en la investigación) a menudo se considera un aspecto importante de la alfabetización científica (Hodson, 1998), que capacita a los estudiantes como críticos y productores de conocimiento, en lugar de colocarlos en el papel de consumidores de conocimiento, que las prácticas de ciencia escolar a menudo parecen alentar (Colucci-Gray y Camino, 2014; Reis, 2014; Bencze y Sperling, 2012). Este concepto más amplio de alfabetización científica incluye el desarrollo, en los estudiantes, de la capacidad y el compromiso para tomar medidas apropiadas, responsables y efectivas sobre cuestiones de interés social, económico, ambiental y moral-ético (Hodson 2003). Implica el ejercicio de los derechos y deberes ambientales de los estudiantes, así como la identificación de las causas estructurales subyacentes a la degradación ambiental y a los problemas ambientales, desarrollando la disposición y competencias para la implicación crítica y activa y la participación ciudadana para enfrentar esas causas estructurales, actuando individual y colectivamente de manera democrática y teniendo en cuenta la justicia inter- e intrageneracional (Hadjichambis y Reis, 2020). Los problemas sociales y ambientales actuales solo pueden ser resueltos a través de currículos de ciencias orientados a la acción sociopolítica, para "[…] producir activistas: personas que lucharán por lo que es correcto, bueno y justo; personas que trabajarán para remodelar la sociedad de acuerdo con pautas socialmente más justas; personas que trabajarán vigorosamente en el mejor interés de la biosfera" (Hodson, 2003, p. 645). En los últimos quince años, varios autores han contribuido al desarrollo de este objetivo, entre ellos: Deborah Tippins, Michael Mueller, Michiel van Eijck y Jennifer Adams (2010), Jean y Laurence Simonneaux (2012), Larry Bencze (2008), Reis (2013), Steve Alsop y Larry Bencze (2014) y Wolff-Michael Roth y Angela Calabrese-Barton (2004).

El activismo a menudo es asociado con un tipo específico de iniciativas de "ciencia ciudadana", término que se ha utilizado durante décadas para describir la participación pública en estudios científicos auténticos (Mueller y Tippins, 2015) con el objetivo general de promover la alfabetización científica y ecológica de los estudiantes en entornos escolares formales más amplios (Fazio y Karrow, 2015). Tradicionalmente, la ciencia ciudadana se ha caracterizado como un enfoque de arriba hacia abajo, que envuelve proyectos propuestos e iniciados por científicos y agencias gubernamentales que reclutan miembros de la comunidad para recopilar datos sobre temas de poca relevancia para la vida de los ciudadanos. Sin embargo, durante los últimos años, y bajo la influencia de la educación científica crítica, la ciencia ciudadana —combinada con el activismo— ha sido reformulada como un enfoque pedagógico de abajo hacia arriba destinado a promover el interés de los estudiantes por la comunidad, el medio ambiente, el aprendizaje permanente, la democracia y justicia social (Britton y Tippins, 2015; Reis, 2020; Roth y Lee, 2002). Este enfoque utiliza la educación como contexto para el desarrollo de las competencias y la participación comunitaria de los estudiantes, alentándolos a ser científicos ciudadanos activos que contribuyen al bienestar de sus comunidades (Britton y Tippins, 2015). La ideología detrás de esta combinación de ciencia ciudadana y activismo pone énfasis en el aprendizaje sobre la salud de la comunidad local, desarrolla currículos socialmente responsables, difumina las fronteras entre las materias escolares y derriba los muros de la escuela, lo cual facilita las conexiones entre el aprendizaje escolar y el espacio extraacadémico, donde viven los estudiantes y sus familias (Britton y Tippins, 2015; Reis, 2020; Rodríguez, 2015; Martinez y Alsop, 2014). De esta forma, la ciencia ciudadana no se limita a la recopilación y análisis de datos en bruto sobre fenómenos naturales. Desde esta perspectiva, los estudiantes pueden ser ciudadanos activos, involucrados críticamente en el aprendizaje de cuestiones eco-socio-científicas y comprometidos con la denuncia de las bases no científicas del prejuicio y la discriminación (Reis *et al*., 2015; Mueller y Tippins, 2012); en otras palabras, pasan de una posición de aprendizaje pasiva a una participación en acciones de ciudadanía y prácticas científicas a través del activismo (Haverkos, 2015).

La ciencia ciudadana, combinada con el activismo juvenil, promueve una comprensión más profunda de cómo funciona la ciencia y constituye un poderoso catalizador para la capacitación y

el empoderamiento de los ciudadanos con la disposición y las capacidades para la participación en el esfuerzo global de la sostenibilidad y la aceptación de la responsabilidad por las generaciones futuras. El activismo democrático juvenil desarrolla la alfabetización científica crítica de los jóvenes, permitiéndoles pensar por sí mismos y llegar a sus propias conclusiones sobre una variedad de temas que tienen una dimensión científica, tecnológica o ambiental (Hodson, 2011). La alfabetización científica crítica permite a los estudiantes tomar medidas apropiadas, responsables y efectivas sobre cuestiones de interés social, económico, ambiental y moral-ético (Hodson 2011), aumentando su capacidad para tomar decisiones en lugar de aceptar las prescripciones de otros.

APOYANDO EL ACTIVISMO JUVENIL

Según Sleeter y Cornbleth (2011), la participación de los jóvenes en activismo democrático requiere que los estudiantes sientan que tienen los derechos, responsabilidades y competencias para participar en procesos complejos de pensamiento, toma de decisiones y resolución de problemas. Estas competencias y disposiciones para el activismo democrático no se promueven a través de aportes particulares de asignaturas o actividades de aula. Más bien, se desarrollan a lo largo del tiempo, a través de experiencias repetidas de aprendizaje activo en contextos formales e informales, que van más allá de la "aplicación del conocimiento" a los contextos cotidianos —como proponen muchos documentos curriculares escolares— y que apoyan el aprendizaje a través de la acción sociopolítica (Alsop y Bencze, 2014). El activismo requiere el desarrollo de un ambiente de responsabilidad y compromiso compartido y una relación de colaboración entre las escuelas y las comunidades en un intento de encontrar soluciones adecuadas a los problemas que consideran importantes y socialmente relevantes (Hodson, 2014; Kowasch *et al*., 2021).

El programa STEPWISE (Science and Technology Education Promoting Well-Being for Individuals, Societies and Environments), desarrollado por Larry Bencze, proporciona un marco para el currículo y la enseñanza centrado en el involucramiento de los estudiantes en investigaciones autodirigidas basadas en su propia investigación primaria (estudios experimentales y correlacionales) y secundaria (utilizando datos recopilados por otros y disponibles en internet) para desarrollar planes de acción centrados en cuestiones sociocientíficas

o socioambientales (Bencze, 2017). La idea principal de STEPWISE es alentar y empoderar a los estudiantes para que utilicen la ciencia y la tecnología en acciones para ayudar a los demás y al planeta. En el marco de STEPWISE se han desarrollado muchas iniciativas activistas en varios países y contextos educativos, con un impacto considerable en las competencias de ciudadanía activa de los estudiantes (Alsop y Bencze, 2014; Bencze, 2017).

El proyecto WE ACT – Promoting Collective Activism on Socio-Scientific and Socio-Ambiental Issues, viene apoyando a docentes y estudiantes de varios países y niveles escolares en la implementación de acciones informadas y negociadas sobre temas sociales y ambientales (Cebrián-Robles, España-Ramos y Reis, 2021; Conceição *et al*., 2019; España-Ramos y Reis, 2017; García Bermúdez *et al*., 2014, 2017, 2022; Reis, 2014; Reis y Tinoca, 2018; Scheid y Reis, 2016; Watanabe y Reis, 2019). Este proyecto se centra en 1) la promoción de un aprendizaje activo basado en la indagación sobre problemas de la vida real relacionados con la ciencia y la tecnología y 2) el fomento de la participación de los estudiantes en acciones colectivas democráticas de resolución de problemas (por ejemplo, a través de iniciativas basadas en el arte y el uso de herramientas de la Web 2.0). Baptista, Reis y Andrade (2018) presentan y discuten un ejemplo de activismo juvenil, desarrollado en el ámbito de WE ACT, centrado en un problema ambiental específico identificado por los niños: el colapso de las colonias de abejas en una zona rural de Portugal. Los activistas eran 26 estudiantes de primaria con edades entre ocho (8) y diez (10) años. Durante un periodo de dos meses, los estudiantes participaron en la identificación de posibles causas y soluciones para el problema seleccionado. La investigación que realizaron, combinada con su conocimiento de las prácticas agrícolas utilizadas por sus familias, les permitió reconocer la inadecuación de estas prácticas y conocer prácticas alternativas ambientalmente sostenibles. Como una forma de desarrollar la acción colectiva en su comunidad local, los estudiantes redactaron un manifiesto —utilizando argumentos centrados en el uso de pesticidas y denunciando algunas prácticas agrícolas locales como posible causa de la desaparición de las abejas— e invitaron a la población local a firmarlo. Este manifiesto fue propuesto por los estudiantes y firmado por la población durante una sesión pública en la escuela. Funcionó como un compromiso para cambiar las prácticas agrícolas que son perjudiciales para el ecosistema y

adoptar metodologías más sostenibles para el medio ambiente. Esta iniciativa activista facilitó el desarrollo de conocimientos científicos y capacidades para la acción, destacando la posibilidad de promover la participación de jóvenes estudiantes en acciones colectivas de resolución de problemas ambientales.

Tanto en contextos formales como no formales, existen varias formas posibles para que los jóvenes se impliquen en activismo en las esferas pública y privada, a saber: 1) iniciativas educativas destinadas a cambiar el comportamiento de otros ciudadanos; 2) la organización de grupos de presión responsables de escribir y distribuir manifiestos/peticiones y boicotear ciertos productos desarrollados a través de prácticas controvertidas; 3) iniciativas de voluntariado destinadas a promover un mundo más justo, ético y sostenible; 4) la propuesta de soluciones innovadoras a problemas locales, nacionales o globales; y 5) el cambio de sus propios comportamientos (Baptista *et al*., 2018; Bencze, 2017; Hodson, 2014; Kowasch, Cruz, Reis, Gericke y Kicker, 2021; Reis, 2013, 2020).

Los enfoques basados en el arte y las herramientas de la Web 2.0 pueden ser bastante pertinentes para la implementación de activismo colectivo sobre controversias socioambientales (Reis, 2013). La investigación y la discusión inherentes al desarrollo de exposiciones y representaciones dramáticas acerca de cuestiones socioambientales pueden ser particularmente útiles, tanto en el aprendizaje de los contenidos, procesos y naturaleza de la ciencia y la tecnología, como en el desarrollo cognitivo, social, político, moral y ético de los estudiantes (Reis y Marques, 2016; Kolstø, 2001). Las exposiciones y representaciones dramáticas centradas en controversias socioambientales, como contexto dialógico, permiten plantear preguntas, suscitar la reflexión personal y estimular discusiones entre estudiantes y visitantes, transformando a ambos en aprendices políticos y activistas (Agostinho y Reis, 2021; Braund y Reiss, 2004; Damião y Reis, 2021; Levinson *et al*., 2008; Linhares y Reis, 2017; Reis y Marques, 2016; Reis *et al*., 2020, 2021, 2022). Además, el desarrollo de exposiciones crea una oportunidad para que los estudiantes participen en activismo sobre temas ambientales específicos, alentando a los visitantes a tomar acción (Reis y Marques, 2016).

Durante las últimas dos décadas, en muchos países, los movimientos sociales han recurrido a las herramientas de la Web 2.0 para romper con la agenda mediática dominante, establecer vínculos entre

activistas y movimientos y crear nuevas formas de organización y acción sociopolítica (Candón-Mena y Benítez-Eyzaguirre, 2016). Plataformas y redes sociales como Facebook, Instagram, Snapchat, Twitter y YouTube han abierto brechas en los monopolios mediáticos, controlados por Estados o grupos económicos, creando y facilitando el acceso a un ciberespacio más democrático y participativo y, en consecuencia, dando poder a muchas personas que no lograrían obtenerlo antes de la era digital. Estas herramientas digitales permiten a muchos ciudadanos mantenerse conectados, compartir experiencias y opiniones y ponerse en contacto con personas con las que de otro modo no podrían interactuar. Pero también tienen desventajas, pues permiten la distribución de propaganda a millones de personas, distrayéndolas de temas importantes, fomentando el odio y la intolerancia, minando la confianza social, fomentando dudas sobre la ciencia y controlando el comportamiento y la vida de los ciudadanos (Ashley, 2020; Lanier, 2018; Vaidhyanathan, 2018). Sin embargo, las tecnologías por sí solas no tienen el poder de transformar la participación y el involucramiento de los ciudadanos en la sociedad; todo depende de cómo estas herramientas sean utilizadas. Por ello, se han producido nuevas luchas sociales con el uso de internet y las TIC, haciendo de la información un instrumento de poder (Kellner, 2006). La facilidad de acceso a internet y de construcción y difusión de contenidos a través de la Web 2.0 permiten tanto la democratización del acceso a la información como la manipulación de la información por parte de colectivos específicos con el objetivo de modular el discurso y la opinión pública, lo que desencadena un movimiento conocido como "desorden de información" (Wardle, 2019; Wardle y Derakhshan, 2017), que es particularmente problemático en comunidades con bajos niveles de alfabetización mediática (Lopes, 2019). Este desorden de la información, derivado de la difusión de grandes cantidades de contenidos falsos o incorrectos, no es un fenómeno nuevo, sino que ha adquirido nuevas proporciones con la irrupción de las redes sociales en una sociedad en red (Ireton y Posentti, 2018). La promoción de la alfabetización mediática de los ciudadanos, entendida como la capacidad de acceder, analizar, evaluar, crear y hacer un uso activo de todas las formas de comunicación (Bulger y Davison, 2018), constituye un medio para combatir los problemas derivados del desorden de la información (Ireton y Posentti, 2018; Wardle, 2019).

Las herramientas de la Web 2.0 pueden tener un fuerte impacto en el empoderamiento cultural, social y político de los ciudadanos (Kellner y Kim, 2010; Zoras y Bencze, 2014). Según varios autores, los medios interactivos de transmisión de información sobre problemas sociales y políticos (por ejemplo, las redes sociales) son más efectivos para promover la participación ciudadana que los medios tradicionales (Bachen *et al*., 2008; Kahne *et al*., 2013; Segerberg y Bennett, 2011). Las herramientas de la Web 2.0, especialmente aquellas que permiten la comunicación colectiva (la mayoría a través de las redes sociales), pueden ser muy útiles para las iniciativas de activismo (Stegmann *et al*., 2007), ya que proporcionan a todos los ciudadanos medios poderosos para expresar sus voces y visiones, promoviendo formas independientes de comunicación/intervención y un modelo participativo de democracia (García Bermúdez *et al*., 2014, 2017, 2022; Krstovic, 2014; Marques y Reis, 2017a, 2017b; Scheid y Reis, 2016; Zoras y Bencze, 2014). A través de estas formas de activismo, cada estudiante puede asumir un rol activo en la resolución de problemas, y no solamente el de espectador que depende de los expertos para que le indiquen la dirección correcta.

Un gran ejemplo de activismo juvenil difundido a través de las redes sociales lo desencadenó la adolescente sueca Greta Thunberg. En agosto del 2018 (a los 15 años de edad), planeó una huelga escolar y una protesta frente al parlamento sueco, instando a los políticos a actuar sobre el calentamiento global para evitar sus desastrosas consecuencias relacionadas con el aumento del nivel del mar, fenómenos meteorológicos extremos, extinción de especies, disminución del abastecimiento de agua, costos económicos y crisis humanitarias. Sus protestas atrajeron la atención mundial e inspiraron un movimiento global que condujo a huelgas en muchos países y aumentó la conciencia de la gente sobre el cambio climático y la necesidad de una acción urgente sobre este tema. Su mensaje, difundido a través de las redes sociales y presentado en foros internacionales, movilizó a niños, adolescentes y adultos de todo el mundo para exigir una acción climática inmediata a políticos y líderes empresariales. Varios activistas climáticos adolescentes, como Greta Thunberg, han ejercido presión a través de iniciativas difundidas y organizadas a través de las redes sociales. El papel de los niños y jóvenes como agentes sociales y ciudadanos activos ha sido, en parte, estimulado por la conciencia de los niños del mundo minoritario sobre los problemas mundiales y

por la comprensión de que ellos, en comparación con la gran mayoría de sus contrapartes en los países en desarrollo, viven vidas de enorme privilegio (McDonnell, 2005). Esta conciencia ha motivado a muchos jóvenes a participar en iniciativas de activismo social sobre temas como el racismo, la falta de respeto por los derechos de los niños y la degradación ambiental. Varios factores de la modernidad —como la televisión, internet y los cambios en la educación de niños y jóvenes— han sacudido lo que McDonnell (2005) llama el "muro de la ignorancia forzada" que ha rodeado a la infancia en la sociedad occidental durante los últimos cien años.

La investigación ha revelado que el activismo de los estudiantes acerca de controversias sociocientíficas y socioambientales tiene un impacto positivo: 1) en su conocimiento de estos temas; 2) en sus concepciones sobre la naturaleza de la ciencia; 3) en sus competencias de investigación y ciudadanía; y, eventualmente, 4) en el bienestar de las personas, sociedades y entornos (Bader y Laberge, 2014; Bencze, 2017; Bencze y Carter 2011; Davies *et al*., 2019; Reis y Tinoca, 2018; Roth y Désautels 2002; Roth y Lee, 2002; Zoras y Bencze, 2014). La participación de los estudiantes en iniciativas de activismo promueve: 1) capacidades de comunicación a través del intercambio de argumentos para ciertas acciones; 2) capacidades de investigación científica durante la identificación de posibles causas y soluciones para los problemas; 3) capacidades de pensamiento crítico, a través de la resolución de problemas complejos; 4) creatividad, durante el desarrollo de propuestas innovadoras para contextos singulares; 5) perseverancia, entendiendo que el cambio implica tiempo, esfuerzo y dedicación; y 6) empoderamiento, cuando los estudiantes se dan cuenta de que sus acciones pueden tener un impacto positivo en la sociedad (Bencze, 2017; Carter *et al*., 2014; Conceição *et al*., 2019; Davies *et al*., 2019; Krstovic, 2014; Marques y Reis, 2017a,b; Schalk, 2008; Schusler y Krasny, 2015).

CONCLUSIÓN

El activismo constituye un aspecto importante de la ciudadanía ambiental, que permite a los ciudadanos participar activamente en la resolución de problemas en lugar de limitarse a ser meros espectadores que dependen de la opinión de expertos. En consecuencia, la participación de los estudiantes en iniciativas de activismo representa un elemento clave en la educación para la ciudadanía

ambiental, pues crea un contexto excelente para el desarrollo de conocimientos, capacidades, valores y actitudes que empoderan a los ciudadanos como agentes de cambio capaces de concebir y ejecutar acciones individuales y colectivas orientadas a contribuir a la resolución de los problemas ambientales contemporáneos (Hadjichambis y Reis, 2020; Reis, 2020). Las iniciativas de activismo juvenil permiten a los estudiantes ejercer sus derechos y deberes ambientales, comprender las causas estructurales de los problemas ambientales y desarrollar las competencias necesarias para enfrentar estas causas. A través del activismo, los estudiantes pasan de una posición de aprendizaje a una nueva posición de participación activa en actos de ciudadanía y prácticas de investigación científica. Por lo tanto, se empodera a los estudiantes como productores de conocimiento contextualizado y socialmente relevante, en lugar de ser simplemente consumidores de conocimiento. De esta manera, los niños y jóvenes son vistos como agentes de cambio y ciudadanos activos, capaces, con sus pares y adultos, de poder imaginar y crear proyectos en torno a sus vidas, más que simplemente seguir los proyectos que los adultos imaginan y conciben para ellos. La participación auténtica implica inclusión —con lo que el sistema cambia para adaptarse a la participación y los valores de los niños y jóvenes— en lugar de integración —en la que los niños y jóvenes participan en formas y estructuras predefinidas—.

Las iniciativas de activismo juvenil tienen el potencial de fortalecer los lazos entre la escuela y las comunidades donde viven los estudiantes y sus familias. A través de estas iniciativas, los estudiantes desarrollan percepciones positivas sobre la importancia y pertinencia social de una educación en ciencias con currículos socialmente responsables, fuertemente comprometidos con la salud de las comunidades y del medio ambiente.

El estudio de los movimientos activistas juveniles recientes puede traer alguna luz sobre los factores importantes en la movilización de los jóvenes para la participación política y, en consecuencia, sobre cómo las escuelas pueden combatir los bajos niveles de compromiso cívico entre los jóvenes, por ejemplo, a través de la promoción del activismo democrático.

El enfoque del activismo juvenil asume la educación como fuerza democratizadora y catalizadora del desarrollo individual y la transformación social (Dewey, 1916; Freire, 1970/1987). Con este

enfoque, la escuela se convierte en un foro vivo de diálogo liberador y un contexto real para el ejercicio de la ciudadanía ambiental. Existe una urgencia mundial de enfoques pedagógicos que incluyan el activismo juvenil como un paso prioritario y fundamental hacia la promoción de la ciudadanía (y de la ciudadanía ambiental). Para ello, es necesario: 1) asegurar que los niños y jóvenes tengan oportunidades de participar de manera significativa en su vida cotidiana, a través de la provisión de espacios informales y formales (en diferentes niveles: hogar, escuela, comunidad, organizaciones y asociaciones) en los cuales puedan articular sus propias expresiones de ciudadanía activa a través de diferentes formas de participación; 2) alentar a los niños y jóvenes a asumir altos niveles de responsabilidad y acción (que no se restrinjan a simples consultas) en el ejercicio de su agencia como ciudadanos activos; y 3) motivar a los adultos a asumir el papel de facilitadores y defensores —y no de controladores— en la realización de iniciativas de activismo (que involucren a niños, jóvenes y adultos) centradas en preocupaciones comunes y que faciliten el desarrollo de una cultura de respeto y confianza mutua.

El cambio climático, la destrucción del hábitat, la explotación descontrolada de los recursos, la desigualdad de la riqueza, las violaciones de los derechos humanos, el desorden de la información y el creciente autoritarismo son solo algunos de los innumerables problemas que amenazan la estabilidad social y ambiental. Solo a través de una ciudadanía activa, bien informada y capacitada para actuar se podrá abordar la gravedad de estos problemas. Nadie espera que la escuela sea capaz de generar ciudadanos con todos los conocimientos y capacidades necesarios para la toma de decisiones y la acción informada sobre cualquier problema. Lo que se pretende lograr es quizás una utopía: una sociedad democrática en la que los ciudadanos (independientemente de su edad) colaboren y pongan sus diferentes capacidades al servicio del bienestar de las personas, las comunidades y el medio ambiente, a través de acciones colectivas enfocadas en una sociedad mejor. Puede tratarse de un proyecto idealista, pero los seres humanos necesitamos de utopías que nos interpelen y movilicen para la acción.

REFERENCIAS

Agostinho, A. y Reis, P. (2021). Contributos educativos de exposições interativas on-line sobre imunidade como prática de ativismo coletivo em contexto de pandemia. *Uni-Pluriversidad, 21*(2), 1-22.

Alderson, P. y Goodey, C. (1996). Research with disabled children: How useful is child-centered ethics? *Children & Society, 10,* 106-116.

Alsop, S. y Bencze, L. (2014). Activism! Toward a more radical science and technology education. En L. Bencze y S. Alsop (Eds.), *Activist science and technology education* (pp. 1-19). Springer.

Ashley, S. (2020). *News literacy and democracy*. Routledge.

Bachen, C., Raphael, C. Lynn, K., McKee, K. y Philippi, J. (2008). Civic engagement, pedagogy and information technology on web sites for youth. *Political Communication, 25*(3), 290-310.

Bader, B. y Laberge, Y. (2014). Activism in science and environmental education: Renewing conceptions about science among students when considering socioscientific issues. En L. Bencze y S. Alsop (Eds.), *Activist science and technology education* (pp. 419-433). Springer.

Baptista, M., Reis, P. y Andrade, V. (2018). Let's save the bees! An environmental activism initiative in elementary school. *Visions for Sustainability, 9,* 41-48.

Bencze, L. (2008). Private profit, science and science education: Critical problems and possibilities for action. *Canadian Journal of Science, Mathematics & Technology Education, 8*(4), 297-312.

Bencze, L. (Ed.). (2017). *Science and technology education promoting wellbeing for individuals, societies and environments*. Springer.

Bencze, L. y Carter, L. (2011). Globalizing students acting for the common good. *Journal of Research in Science Teaching, 48*(6), 648-669.

Bencze, L. y Sperling, E. R. (2012). Student-teachers as advocates for student-led research-informed socioscientific activism. *Canadian Journal of Science, Mathematics & Technology Education, 12*(1), 62-85.

Berila, B. (2016). *Integration mindfulness into anti-oppression pedagogy*. Routledge.

Braund, M. y Reiss, M. (Eds.). (2004). *Learning science outside the classroom.* Routledge Falmer.

Britton, S. A. y Tippins, D. J. (2015). Living history: challenging citizen science and youth activism through historical re-enacting. En M. P. Mueller y D. J. Tippins (Eds.), *Ecojustice, citizen science and youth activism. Situated tensions for science education* (pp. 207-222). Springer.

Bulger, M. y Davison, P. (2018). The promises, challenges, and futures of media literacy. *Journal of Media Literacy Education, 10*(1), 1-21. https://digitalcommons.uri.edu/jmle/vol10/iss1/1/

Calabrese Barton, A. y Tan, E. (2010). It changed our lives: activism, science, and greening the community. *Canadian Journal of Science, Mathematics and Technology Education, 10*(3), 207-222.

Candón-Mena, J. y Benítez-Eyzaguirre, L. (Eds.). (2016). *Activismo digital y nuevos modos de ciudadanía: una mirada global*. InCom-UAB Publicacions, Institut de la Comunicació, Universitat Autònoma de Barcelona.

Carter, L., Rodríguez, C. C. y Jones, M. (2014). Transformative learning in science education: Investigating pedagogy for action. En L. Bencze y S. Alsop (Eds.), *Activist science and technology education* (pp. 531-545). Springer.

Cebrián-Robles, D., España-Ramos, E. y Reis, P. (2021). Programa formativo sobre el activismo colectivo basado en la indagación para la formación inicial de profesorado. En D. Cebrián, A. J. Franco, T. Lupión, M. C. Acebal y Á. Blanco (Coords.), *Enseñanza de las ciencias y problemas relevantes de la ciudadanía: transferencia al aula* (pp. 223-238). Graó.

Colucci-Gray, L. y Camino, E. (2014). From knowledge to action? Re-embedding science learning within the planet's web. En L. Bencze y S. Alsop (Eds.), *Activist science and technology education* (pp. 149-164). Springer.

Conceição, T., Baptista, M. y Reis, P. (2019). La contaminación de los recursos hídricos como punto de partida para el activismo socio-científico. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias, 16*(1), 1502.

Damião, I. P. y Reis, P. (2021). Percepções dos alunos sobre o desenvolvimento de exposições científicas como estratégia de ativismo. *Revista Eletrônica de Educação, 15,* 1-17.

Davies, I., Evans, M., Fulop, M., Kiwan, D., Peterson, A. y Sim, B.-Y. J. (Eds.) (2019). *Taking action for change: Educating for youth civic engagement and activism.* University of York.

Dewey, J. (1916). *Democracy and education: An introduction to the philosophy of education.* Free Press.

Diamond, L. (2015). Facing up to democratic recession. *Journal of Democracy, 26*(1), 141-155.

España-Ramos, E. y Reis, P. (2017). El proyecto We Act como marco para formar ciudadanos competentes a través del activismo colectivo basado en la investigación. *Enseñanza de las Ciencias, núm. extraordinario,* 657-661.

Fazio, X. y Karrow, D. D. (2015). The commonplaces of schooling and citizen science. En M. P. Mueller y D. J. Tippins (Eds.), *Ecojustice, citizen science and youth activism. situated tensions for science education* (pp. 179-182). Springer.

Festinger, L. (1957). *A theory of cognitive dissonance.* Stanford University Press.

Freire, P. (1970/1987). *Pedagogia do oprimido*. 17.ª ed. Paz e Terra.

García Bermúdez, S., Reis, P. y Vásquez Bernal, B. (2022). Facebook como herramienta para promover el activismo ambiental en las clases de ciencias. *Enseñanza de las Ciencias, 40*(3), 1-20.

García-Bermúdez, S., Reis, P. y Vázquez-Bernal, B. (2014). Potencialidades y limitaciones de los entornos virtuales colaborativos y las herramientas Web 2.0 en la promoción del activismo sobre cuestiones ambientales en estudiantes de básica secundaria. *Uni/Pluriversidad, 41/14*(2), 502-507.

García-Bermúdez, S., Reis, P. y Vázquez-Bernal, B. (2017). Promoción del activismo sobre cuestiones ambientales en estudiantes de básica secundaria a través de las herramientas web 2.0. *Da Investigação às Práticas, 7*(2), 34-53.

Ginwright, S. (2015). *Hope and healing in urban education: How urban activists and teachers are reclaiming matters of the heart*. Routledge.

Gramsci, A. (1971). *Selections from the prison notebooks.* International Publishers.

Gray, D., Colucci-Gray, L. y Camino, E. (Eds.). (2009). *Science, society and sustainability: Education and empowerment for an uncertain world*. Routledge Research.

Greene, S. y Nixon, E. (2020). *Children as agents in their worlds: a psychological–relational perspective*. Routledge.

Hadjichambis, A. Ch. y Reis, P. (2020). Introduction to the conceptualisation of Environmental Citizenship for twenty-first century education. En A. Ch. Hadjichambis, P. Reis, D. Paraskeva-Hadjichambi, J. Činčera, J. Boeve-de Pauw, N. Gericke y M.-C. Knippels (Eds.), *Conceptualizing environmental citizenship for 21st century education* (pp. 1-14). Series Environmental Discourses in Science Education. Springer.

Hadjichambis, A. Ch., Reis, P., Paraskeva-Hadjichambi, D., Činčera, J., Boeve-de Pauw, J., Gericke, N. y Knippels, M.-C. (Eds.). (2020). *Conceptualizing environmental citizenship for 21st century education*. Series Environmental Discourses in Science Education. Springer.

Harmon-Jones, E. y Harmon-Jones, C. (2007). Cognitive dissonance theory after 50 years of development. *Zeitschrift für Sozialpsychologie, 38*(1), 7-16.

Hart, R. (1992). *Children's participation: from tokenism to citizenship*. International Child Development Centre of Unicef.

Hart, R. (2008). Stepping back from 'the ladder': reflections on a model of participatory work with children. En A. B. Reid (Ed.), *Participation and learning: perspectives on education and the environment, health and sustainability* (pp. 19-31). Springer.

Haverkos, K. (2015). Living history-challenging citizen science and youth activism through historical re-enacting. En P. Mueller y D. J. Tippins (Eds.), *Ecojustice, citizen science and youth activism. situated tensions for science education* (pp. 193-206). New York: Springer.

Hodson, D. (1998). *Teaching and learning science: Towards a personalized approach.* Open University Press.

Hodson, D. (2003). Time for action: science education for an alternative future. *International Journal of Science Education, 25*(6), 645-670.

Hodson, D. (2011). *Looking to the future: building a curriculum for social activism.* Sense Publishers.

Hodson, D. (2014). Becoming part of the solution: Learning about activism, learning through activism, learning from activism. En J. L. Bencze y S. Alsop (Eds.), *Activist science and technology education* (pp. 67-98). Springer.

Ireton, C. y Posentti, J. (2018). *Introduction in journalism, 'fake news' and disinformation: handbook for journalism education and training.* Unesco. https://en.unesco.org/fightfakenews

Jackson, D., Thorsen, E. y Wring, D. (2016). *EU referendum analysis 2016: Media, voters and the campaign: Early reflections from leading UK academics.* The Centre for the Study of Journalism, Culture and Community.

Kahne, J., Lee, N.-J. y Feezell, J. T. (2013). The civic and political significance of online participatory cultures among youth

transitioning to adulthood. *Journal of Information Technology and Politics, 10*(1), 1-20.

Kellner, D. (2006). Cultura da mídia e triunfo do espetáculo. En D. Moraes (Org.), *Sociedade mediatizada* (p. 119-148). Mauad.

Kellner, D. y Kim, G. (2010). YouTube, critical pedagogy, and media activism. *The Review of Education, Pedagogy, and Cultural Studies, 32*(1), 3-36.

Kirby, P. y Laws, S. (2010) Advocacy for children in family group conferences: Reflections on personal and public decision-making. En B. Percy-Smith y N. Thomas (Eds.). *A handbook of children and young people's participation: perspectives from theory and practice* (pp. 113-120). Routledge.

Kolstø, S. (2001). Scientific literacy for citizenship: Tools for dealing with the science dimension of controversial socioscientific issues. *Science Education, 85*(3), 291-310.

Kowasch, M., Cruz, J., Reis, P., Gericke, N. y Kicker, K. (2021). Climate youth activism initiatives: motivations and aims, and the potential to integrate climate activism into ESD and transformative learning. *Sustainability, 13*, 11581.

Krstovic, M. (2014). Preparing students for self-directed research-informed actions on socioscientific issues. En J. L. Bencze y S. Alsop (Eds.), *Activist Science & Technology Education* (pp. 399-417). Springer.

Lanier, J. (2018). *Ten arguments for deleting your social media accounts right now.* Henry Holt and Co.

Levinson, R., Nicholson, H. y Parry, S. (Eds.) (2008). *Creative encounters: new conversations in science, education and the arts.* The Wellcome Trust.

Linhares, E. F. y Reis, P. (2017). Interactive exhibition on climate geo-engineering: empowering future teachers for sociopolitical action. *Sisyphus: Journal of Education, 5*(3), 85-106. http://revistas.rcaap.pt/sisyphus/ article/view/13203/10251

Lopes, P. (2019). Mentiras, pegadas e algoritmos: da necessidade de uma educação para os media. En P. Lopes y B. Reis (Eds.), *Comunicação digital: media, práticas e consumos* (pp. 137-156). Núcleo de Investigação em Práticas & Competências Mediáticas; Departamento de Ciências da Comunicação da Universidade Autónoma de Lisboa.

Marques, A. R. y Reis, P. (2017a). Producción y difusión de vídeos digitales sobre contaminación ambiental. Estudio de caso: activismo colectivo basado en la investigación. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias, 14*(1), 215-226.

Marques, A. R. y Reis, P. (2017b). Research-based collective activism through the production and dissemination of vodcasts about environmental pollution in the 8th grade. *Sisyphus: Journal of Education, 5*(2), 116-137. http://revistas.rcaap.pt/sisyphus/article/view/11843/936

Martínez, A. M. y Alsop, S. (2014). Climate change and citizen science: early reflections on long-term ecological monitoring projects in Southern Ontario. En L. Bencze y S. Alsop (Eds.), *Activist science and technology education* (pp. 477-489). Springer.

McDonnell, K. (2005). *Honey, we lost the kids: re-thinking childhood in the multi-media age.* Pluto Press.

Menezes, I., Fernandes-Jesus, M., Ribeiro, N. y Malafaia, C. (2012). Agência e participação cívica e política de jovens. En I. Menezes, C. Ribeiro, M. Fernandes-Jesus, C. Malafaia y P. Ferreira (Eds.), *Agência e participação cívica e política: Jovens e imigrantes na construção da democracia* (pp. 9-26). Livpsic.

Mueller, M. P. y Tippins, D. J. (2012). Citizen science, ecojustice, and science education: Rethinking an education from nowhere. En B. J. Fraser, K. Tobin y C. J. Campbell (Eds.), *Second international handbook of science education* (pp. 865-882). Springer.

Mueller, M. P. y Tippins, D. J. (Eds.). (2015). *Ecojustice, citizen science and youth activism. situated tensions for science education*. Springer.

Pancer, S. M. (2015). *The psychology of citizenship and civic engagement*. Oxford University Press.

Pells, K. (2010). 'No one ever listens to us': challenging obstacles to the participation of children and young people in Rwanda. En B. Percy-Smith y N. Thomas (Eds.), *A handbook of children and young people's participation: perspectives from theory and practice* (pp. 196-203). Routledge.

Percy-Smith, B. y Thomas, N. (Eds.). (2010). *A handbook of children and young people's participation: perspectives from theory and practice*. Routledge.

Peterson, T. H. (2018). *Student development and social justice: critical learning, radical healing, and community engagement*. Palgrave Macmillan.

Reis, G., Ng-A-Fook, N. y Glithero, L. (2015). Provoking ecojustice. taking citizen science and youth activism beyond the school curriculum. En M. P. Mueller y D. J. Tippins (Eds.), *Ecojustice, citizen science and youth activism. situated tensions for science education* (pp. 39-62). Springer.

Reis, P. (2013). Da discussão à ação sócio-política sobre controvérsias sócio científicas: uma questão de cidadania. *Ensino de Ciências e Tecnologia em Revista, 3*(1), 1-10.

Reis, P. (2014). Promoting students' collective socio-scientific activism: Teacher's perspectives. En S. Alsop y L. Bencze (Eds.), *Activism in science and technology education* (pp. 547-574). Springer.

Reis, P. (2020). Environmental Citizenship & Youth Activism. En A. Ch. Hadjichambis, P. Reis, D. Paraskeva-Hadjichambi, J. Činčera, J. Boeve-de Pauw, N. Gericke y M.-C. Knippels (Eds.), *Conceptualizing environmental citizenship for 21st century education* (pp. 139-148). Series Environmental Discourses in Science Education. Springer.

Reis, P. y Marques, A. R. (Coords.). (2016). *As exposições como estratégia de ação sociopolítica: cenários do projeto Irresistible.* Instituto de Educação da Universidade de Lisboa.

Reis, P. y Tinoca, L. (2018). A avaliação do impacto do projeto "We Act" nas percepções dos alunos acerca das suas competências de ação sociopolítica. *Revista Brasileira de Ensino de Ciência e Tecnologia, 11*(2), 214-231. https://periodicos.utfpr.edu.br/rbect/article/view/8435

Reis, P., Baptista, M., Tinoca, L. y Linhares, E. (2021). Potencialidades educativas do desenvolvimento pelos alunos de exposições interativas sobre controvérsias sociocientíficas. *Debates em Educação, 13*(2), 1-21.

Reis, P., Baptista, M., Tinoca, L. y Linhares, E. (2022). Educational potentialities of student-curated exhibitions on socioscientific issues: the students' perspective. Y.-S. Hsu *et al.* (Eds.), *Innovative approaches to socioscientific issues and sustainability education, learning sciences for higher education* (pp. 217-233). Springer.

Reis, P., Tinoca, L., Baptista, M. y Linhares, E. (2020). The impact of student-curated exhibitions about socio-scientific issues on students' perceptions regarding their competences and the science classes. *Sustainability, 12*, 2796.

Rodríguez, E. D. (2015). *Together we look for answers.* En M. P. Mueller y D. J. Tippins (Eds.), *EcoJustice, Citizen Science and Youth Activism. Situated Tensions for Science Education* (pp. 11-18). Springer.

Rogoff, B. (1990). *Apprenticeship in thinking: cognitive development in sociocultural activity.* Oxford University Press.

Roth, W.-M. y Barton, A. (2004). *Rethinking scientific literacy.* Routledge Falmer.

Roth, W.-M. y Désautels, J. (Eds.). (2002). *Science education as/for socio-political action.* Peter Lang.

Roth, W.-M. y Lee, S. (2002). Scientific literacy as collective praxis. *Public Understanding of Science, 11,* 33-56.

Schalk, S. (2008). *When students take action: how and why to engage in college student activism* (Tesis de grado). College of Arts and Science, Miami University.

Scheid, N. y Reis, P. (2016). As tecnologias da informação e da comunicação e a promoção da discussão e ação sociopolítica em aulas de ciências naturais em contexto português. *Ciência & Educação, 22*(1), 129-144.

Schulz, W., Ainley, J., Fraillon, J., Losito, B., Agrusti, G. y Friedman T. (2018). *Becoming citizens in a changing world: IEA International Civic and Citizenship Education Study 2016 International Report.* IEA y Springer.

Schusler, T. M. y Krasny, M. E. (2015). Science and democracy in youth environmental action – learning "good" thinking. En M. P. Mueller y D. J. Tippins (Eds.), *Ecojustice, citizen science and youth activism - situated tensions for science education* (pp. 363-384). Springer.

Schutz, A. (2019). *Empowerment: a primer.* Routledge.

Segerberg, A. y Bennett, W. L. (2011). Social media and the organization of collective action: using twitter to explore the ecologies of two climate change protests. *The Communication Review, 14*(3), 197-215.

Simonneaux, J. y Simonneaux, L. (2012). Educational configurations for teaching environmental socioscientific issues within the perspective of sustainability. *Research in Science Education, 42,* 75-94.

Sleeter, C. E. y Cornbleth, C. (2011). *Teaching with vision: Culturally responsive teaching in standards-based classrooms.* Teachers College Press.

Stegmann, K., Weinberg, A. y Fischer, F. (2007). Facilitating argumentative knowledge construction with computer-supported collaboration scripts. *Computer-Supported Collaborative Learning, 2,* 421-447.

Stevenson, B. (2016, March 29). *American injustice: mercy, humanity and making a difference. Criminal justice symposium.* Pomona College.

Tippins, D., Mueller, M., van Eijck, M. y Adams, J. (Eds.). (2010). *Cultural studies and environmentalism: the confluence of ecojustice, place-based (science) education, and indigenous knowledge.* Springer.

Twum-Danso, A. (2010). The construction of childhood and the socialisation of children in ghana: implications for the implementation of article 12 of the CRC. En B. Percy-Smith y N. Thomas (Eds.), *A handbook of children and young people's participation: perspectives from theory and practice* (pp. 133-140). Routledge.

Vaidhyanathan, S. (2018). *Antisocial media: how facebook disconnects us and undermines democracy.* Oxford University Press.

Valsiner, J. (2000). *Culture and human development.* Sage.

Vygotsky, L. S. (1978). *Mind and society*. Harvard University Press.

Wardle, C. (2019). *Understanding information disorder.* First Draft. https://firstdraftnews.org/wp-content/uploads/2019/10/Information_Disorder_Digital_AW.pdf?x76701

Wardle, C. y Derakhshan, H. (2017). *Information disorder: toward an inter-disciplinary framework for research and policymaking.* Council of Europe. https://firstdraftnews.com/wp-content/uploads/2017/11/PREMS-162317-GBR-2018-Report-de%CC%81sinformation-1.pdf?x56713

Watanabe, G. y Reis, P. (2019). Controvérsias sócio-científicas e relações de poder: desafios de sua inserção segundo futuros professores de ciências. *Linhas Críticas, 24,* 472-496.

White, S. y Choudhury, S. (2010). Children's participation in Bangladesh: issues of agency and structures of violence. En B. Percy-Smith y N. Thomas (Eds.), *A handbook of children and young people's participation: perspectives from theory and practice* (pp. 39-50). Routledge.

Yamashita, H. y Davies, L. (2010). Students as professionals. En B. Percy-Smith y N. Thomas (Eds.), *A handbook of children and young people's participation: perspectives from theory and practice* (pp. 230–239). Routledge.

Zoras, B. y Bencze, L. (2014). Utilizing social media to increase student-led activism on STSE issues. En L. Bencze y S. Alsop (Eds.), *Activist science & technology education* (pp. 435-449). Springer.

Capítulo 6. Articulación entre educación ambiental y educación en ciencias en escenarios de cambio global: aportes a una educación resiliente pos-sostenibilidad desde una didáctica centrada en cuestiones socioambientales

William Manuel Mora Penagos
Universidad Distrital Francisco José de Caldas

ANTROPOCENO, RIESGOS GLOBALES, SUSTENTABILIDAD Y EDUCACIÓN RESILIENTE

La Tierra está saliendo de la época geológica del Holoceno y entrando en una nueva era llamada Antropoceno, concepto generalizado a partir del 2008 que entiende a la especie

humana como fuerza geológica generadora de un "cambio global" incontrolable (López, 2016) —iniciado con la Revolución Industrial—, que afecta seriamente las condiciones climáticas y geológicas, así como la diversidad del planeta. Este cambio global, que altera la capacidad de la Tierra para sustentar la vida, se entiende como un fenómeno de gran complejidad, que ocurre a un ritmo vertiginoso en comparación con la velocidad natural del planeta y que comprende un conjunto de cambios (ambientales, sociales, económicos, culturales y educativos) de origen tanto humano como natural, que incluyen el *calentamiento atmosférico global* y el *cambio climático*.

Desde el punto de vista tecnocientífico, se puede decir que estamos en un tránsito de la edad industrial, que comprende los siglos XIX y XX, a la edad digital del siglo XXI (caracterizada por la computación, la inteligencia artificial, la aceleración del cambio, la omniconectividad, la ubicuidad y la macroescala del procesamiento y transmisión de datos), cambio que acarrea tres tipos de riesgos globales (Harari, 2021; Sachs, 2021):

- *Tecnológico* (y de aumento de la desigualdad). Es producto de la fusión entre la *infotecnología* y la *biotecnología*, la cual permite modificar cuerpos, cerebros y mentes, cambiando así la naturaleza humana y hacerla proclive a la desvinculación entre la inteligencia y la conciencia. Esto posibilita nuevas especies de dictaduras centradas en el control social, propios de una *Matrix* de vigilancia digital permanente, manipuladora de una "clase inútil global" sin movilidad social, necesitada de una "renta universal básica" sin salarios, pero subvencionada en sus necesidades básicas; así, la toma de decisiones se traslada de los humanos a los algoritmos de las dictaduras digitales, suprimiendo las libertades y el libre albedrío.
- *Nuclear* (bélico y de fragilidad de la paz). El actual conflicto Rusia-Ucrania-OTAN ha desvelado la amenaza de una tercera guerra mundial nuclear, que pone en peligro no solo la paz mundial sino la vida en la Tierra, por las inseguridades alimentaria, hídrica, energética y territorial que comienzan a hacerse evidentes. Este y otros conflictos se ven asociados a la suspensión e incluso la abolición de las democracias y la aparición de los ultranacionalismos.

- *Ambiental* (de los límites planetarios). Se presenta como una amenaza más vaga y a más largo plazo que la nuclear, y se manifiesta principalmente con las emergencias climática y sanitaria (de la COVID-19) que, como producto de la destrucción de los ecosistemas, la invasión de hábitats silvestres y la forma de producir alimentos, son generadoras de la aparición de enfermedades zoonóticas desconocidas, que devienen en pandemias. Este riesgo ha creado la necesidad de generar una política climática y sanitaria internacional, enfrentada a la tarea de generar marcos normativos mundiales que propicien la acción colectiva de un cambio global, una especie de "reseteo" humano que se inicia no solo con compromisos de neutralidad climática y pasaportes sanitarios, sino con una educación universal centrada en los 17 objetivos de desarrollo sostenible (ODS) de la Agenda 2030 de las Naciones Unidas.

Las crisis tecnológica/bélica/ambiental es propia de la *crisis civilizatoria y cultural de la modernidad* tecno-desarrollista y consumista, asociada con los procesos de globalización y crecimiento capitalista de la economía, el conocimiento, la información y la geopolítica, que van conduciendo a un "pensamiento único" (de un solo gobierno mundial, con una sola economía, una sola religión, una sola educación, etc.), a conspiraciones sobre el *reseteo y el nuevo orden mundial*, en una espantosa "era de posverdad" en que estamos llenos de mentiras y ficciones. Asistimos a escenarios de ciberdelincuencia, con implicaciones inerciales a las soluciones de las emergencias climáticas, sanitarias y migratorias, situación propia de una "sociedad/planeta en riesgo" que enfrenta a la humanidad a un momento histórico de inflexión nihilista, de desilusión e indignación, de incertidumbre y de una posible sexta extinción de la vida por la incapacidad de la biosfera para absorber los impactos del metabolismo socioeconómico, situación que demanda cambios urgentes.

Se requiere entonces la comprensión de las nuevas realidades, para permitir nuevos sentidos respecto a quiénes somos, así como un nuevo humanismo y una nueva dimensión filosófica y educativa, de acción colectiva para aprender a entender la muerte de la civilización, de la modernidad (productivista/consumista) y, en concreto, de nuestro estilo de vida, éxito y progreso. En este sentido, Scranton (2021) afirma:

> Para que la humanidad sobreviva en el Antropoceno, tenemos que aprender a convivir con el fin de nuestra civilización actual y a vivir a través de él. El cambio, el riesgo, el conflicto, la lucha y la muerte son los procesos mismos de la vida y es imposible evitarlos. Hemos de aprender a aceptarlos y adaptarnos. (p. 27)

Estas problemáticas de desigualdad/violencia/pobreza han hecho que la Organización de la Naciones Unidas (ONU) proponga transformar nuestro mundo hacia la *sostenibilidad* mediante la Agenda 2030, constituida por 17 objetivos de desarrollo sostenible (ODS) y 169 metas, que no obligan, pero sí comprometen a los Estados a poner en práctica una batería de medidas, cumpliendo unos objetivos integrales con plazo al año 2030, dentro del marco de interdependencia a escala global y desde los principios del "desarrollo sostenible". Este modelo pretende combinar el crecimiento económico con la inclusión social, las sociedades pacíficas y la sostenibilidad medioambiental, lo que demanda un cambio formativo de la sociedad global en torno a la "educación para el desarrollo sostenible" (EDS) (Sotillo, 2017).

Desde perspectivas epistemológicas andinas y del Sur, es posible hacer una diferenciación entre sostenibilidad y sustentabilidad como soluciones pedagógicas frente a las problemáticas del desarrollismo que ha originado el estado de crisis global, y que se muestra como alternativa crítica a la sostenibilidad, como se sintetiza en la tabla 6.1.

Tabla 6.1. *Desarrollismo, sostenibilidad y sustentabilidad*

	Desarrollismo	Sostenibilidad	Sustentabilidad
Fundamento	Ideología del progreso capitalista. Confianza en el poder ilimitado de la ciencia y la tecnología.	Paradigma globalizante y unificador con tendencia a los aspectos económicos, articulado a lo ecológico y social.	Paradigma de diversidad y pluralidad. Utopía de nuevo paradigma civilizatorio alternativo sustentado en lo cultural, político, ético, espiritual y sagrado.
Racionalidad	Disciplinaria. Norte político y epistemológico.	Interdisciplinaria. Norte político y epistemológico europeo.	Diálogo de saberes. Sur epistemológico. Latinoamérica y región andina.
	Modernidad. Dominación y conquista.	Modernidad inconclusa.	Posmodernidad. Transformación y liberación.

	Desarrollismo	Sostenibilidad	Sustentabilidad
Racionalidad	Era del Antropoceno.	Era del Antropoceno.	Era del Ecoceno. biocivilización del Buen Vivir (convivencia y justicia ambiental planetaria con todos los seres vivos, para reubicar y reterritorializar la economía y el poder). Hacia el pos-Antropoceno, donde la vida en la Tierra está en un estado de equilibrio dinámico.
	Antropocentrismo.	Biocentrismo.	Cosmocentrismo.
	Cabeza (racionalidad).	Justicia y reciprocidad.	Corazón (espiritualidad), emoción. Cuidado-complementariedad.
Cosmovisión	Patriarcal, la conquista y dominación. *Animus*, hombre, expresado por la razón objetiva y la ordenación de las cosas.	Patriarcal.	Matriarcal: el cuidado en el habitar la Tierra, desde una relación de precaución y prevención amorosa, protectora y respetuosa. *Anima*, mujer (sensibilidad, intuición de la espiritualidad).
Fundamentos de cambio	Ideas rectoras: más, mayor, más de prisa, más lejos. Sociedad del consumo y el crecimiento centrada en la publicidad, el crédito y la obsolescencia programada.	Educación para el DS. Derechos humanos de solidaridad (cooperación), tecnologías limpias compatibles con la naturaleza (coherencia), mejor aprovechamiento de materia y energía (eficiencia), menor demanda de consumo (suficiencia).	EA para la sustentabilidad de la vida en la Tierra. Derechos de la Tierra, decrecimiento (como rechazo al crecimiento, como utopía de esperanzas y sueños de cambio) en búsqueda del posdesarrollo, la desaceleración y un sentido de ganancia del ocio. Se prevé en no caer en el comunitarismo local cerrado, ni en la sacralización animista de la naturaleza. *Ecoeficiencia. Menos es más: "hacer más y mejor con menos". Principio de precaución* (como vinculo ciencia y política) en la toma de decisiones en condiciones de ignorancia e incertidumbre en escenarios de riesgo.

Fuente: adaptada de Mora (2020).

El problema de la sostenibilidad es que la mayoría de los cambios requeridos, como por ejemplo la descarbonización a escala mundial, son en la práctica irreconciliables con la continuidad del capitalismo global; así, un cambio brusco hacia las energías alternativas podría crear una gran depresión económica y una recesión indefinida, en el caso de que se tuvieran desarrollos tecnológicos en energías alternativas al corto plazo del 2030, algo que pocos creen, por lo que la gran mayoría de los países en el mundo están solo dispuestos hacer cambios lentos, más allá de dicho año. Pareciera entonces que a toda la humanidad se le hizo tarde para mitigar la crisis asociada al cambio global ambiental.

Según lo expuesto, el problema es cómo superar la propuesta de sostenibilidad del *liberalismo verde* (crecimiento verde, sustentado en la suposición de que la causa de la crisis no es el sistema capitalista sino la falta de iniciativa privada y de posibilidades tecnológicas de solución), la cual, como señala Arias (2020), despliega una engañosa colección de "verdades de sentido común" y, sin superar las concepciones clásicas pobre/rico, Norte/Sur, hace creer que la pobreza es falta de desarrollo. En otras palabras, el liberalismo verde impide que nuestras sociedades reaccionen de forma adecuada ante la crisis civilizatoria, por lo que se requiere una ortopedia cultural, reconociendo que no tenemos soluciones contundentes dentro del paradigma cultural dominante, que se opone al cambio social, político, económico y epistémico. En esta línea de ideas, Riechmann (2020) plantea:

> Necesitamos parar —tirar del benjaminiano freno de emergencia— y cambiar de rumbo totalmente; en vez de eso, el *liberalismo verde* propone una mínima corrección, si acaso acelerando. Es una estrategia homicida y suicida. Pues el concepto clave no es "electromovilidad": es menos movilidad. No es "turismo sostenible": es menos turismo. No es "desarrollo sostenible", es decrecimiento. (p. 15)

Se requiere de un cambio hacia una *cultura por la Tierra*, de carácter decrecentista y de transición ordenada, que contenga principios como los de precaución y ecoeficiencia, contextualizada en una "educación en tiempos de crisis", una *educación resiliente* que acorte la distancia entre la gravedad de la crisis asociada al cambio global y la percepción y el compromiso ciudadanos. Debemos también

reconocer a qué nos referimos al promover "salvar el planeta que dejaremos a nuestros hijos", cuando en realidad lo que nos preocupa es nuestra propia supervivencia egoísta.

Educar en el Antropoceno, en escenarios de crisis civilizatoria y de *cambio global*, implica enfocarse en el decrecimiento desde principios fundamentales. En este sentido, Riechmann (2014) ha planteado cinco principios de acción articulados a cinco problemas centrales, tal como se describe en la tabla 6.2.

Tabla 6.2. *Problemas para superar y principios para educar en el Antropoceno*

Problemas	Principios
Problema de *escala:* hemos *"llenado" el mundo*, saturando el espacio ecológico.	Principio de *autolimitación* (autocontención) o *gestión generalizada de la demanda, ante la bulimia productivista desarrollista.*
Problema de *diseño:* nuestra tecnosfera está mal diseñada. La *tecnosfera en guerra con la biosfera.*	Principio de *biomímesis (imitación de los organismos) o imitación de la economía natural de los ecosistemas (ecomímesis).* Reconstrucción de la tecnosfera de acuerdo con principios de ecomímesis o biomímesis.
Problema de *eficiencia:* somos altamente *ineficientes en el uso de materias primas y energía.*	Principio de *ecoeficiencia.* Reducir a la décima parte nuestro consumo de energía y materiales, liberando así espacio ambiental. También precisamos un "factor diez" ético-político.
Problema *fáustico:* nuestra poderosa *tecnociencia* anda demasiado *descontrolada.*	Principio de *precaución. Que favorece una aproximación preventiva antes que reparadora.*
Problema de *desigualdad: desigualdad social (opresión de las mujeres)* planetaria históricamente inaudita y creciente.	Principio de *igualdad social. En conexión con el principio de solidaridad sincrónica y diacrónica* (entre todas las poblaciones del mundo) y entre las generaciones actuales y las futuras.
Problema de falta *democracia* a múltiples niveles.	Principio *democrático. Principio de participación* del conjunto de los actores sociales en los mecanismos de decisión.

Fuente: adaptada de Riechmann (2014).

Así, a la educación en general y a la educación ambiental en particular se les pide redefinir su rol pedagógico/didáctico, social y político (Caride y Meira, 2020), para ser más pertinentes a esta situación de crisis y cambios acelerados, no dejándonos amedrentar por las profecías de desastre o del negacionismo, reorientando nuestras emociones para pasar del pánico a la perplejidad constructiva con el

fin de promover con paciencia, reflexión y amor, patrones alternativos de desarrollo socioeconómicos. Se requiere entonces de pedagogías y didácticas para la reinvención y el aprendizaje permanentes, de manera situada, compleja, ética y crítica, que involucren un diálogo de saberes y que den sentido al manejo de la información, el uso del tiempo, el equilibrio y la flexibilidad mental, promoviendo la justicia, la equidad y la gobernanza local articuladas a lo regional/mundial y aplicadas a la acción participativa y la toma de decisiones de la ciudadanía ambiental. Por tanto, la reclamación es dar énfasis a un aprendizaje centralizado en el desarrollo de una capacidad/competencia global que permita analizar asuntos globales e interculturales, que valore distintas perspectivas y que respete tanto los derechos humanos como los derechos de la naturaleza.

Hasta aquí se plantea que la humanidad se encuentra en una etapa de inflexión y tránsito hacia un cambio de época que, para muchos, está asociada con la muerte de la civilización moderna, debido al descontrol del estilo de vida dominante en la humanidad, incapaz de poner límites a la explotación de la naturaleza, lo cual ha generado un cambio ambiental global que pone en riesgo la continuidad del proyecto de la humanidad en el planeta Tierra. Estos escenarios, acompañados de conflictos de todo tipo, demandan una intervención filosófica y educativa para el logro de nuevos sentidos y caminos de solución a problemáticas no solo urgentes sino casi imposibles de solventar en corto tiempo. No solo se requiere de un cambio en el modelo de desarrollo imperante, también es preciso cambiar la racionalidad centrada en la tecnociencia de la modernidad.

NUEVO CONTRATO SOCIAL PARA LAS CIENCIAS, RACIONALIDADES MÚLTIPLES, CIENCIA POSNORMAL Y EDUCACIÓN POSMODERNA

Jane Lubchenco (1998) considera que hemos entrado en el siglo del medioambiente, con la exigencia de un nuevo contrato social para la ciencia, dado que el entendimiento de la crisis socioambiental es desafiante para individuos e instituciones, quienes requieren tomar decisiones informadas sobre políticas y gestión articuladas con la seguridad nacional, la justicia socioambiental, la economía y la salud humana. El nuevo contrato debe basarse en los supuestos de que los científicos: 1) atenderán las necesidades más urgentes

de la sociedad, en proporción a su importancia; 2) comunicarán amplia y claramente su conocimiento para informar las decisiones de individuos e instituciones; y 3) ejercerán buen juicio, sabiduría y humildad.

Los vínculos entre los sistemas sociales, políticos, económicos, físicos, biológicos, químicos y geológicos presentan nuevos desafíos para los científicos. Hay quienes sostienen que se está en el momento histórico de decir adiós a las antiguas clasificaciones, como "la física, la química, la biología", y dar la bienvenida a articulaciones GRAINN, acrónimo de genómica, robótica, inteligencia artificial, neurociencia y nanotecnología (Ravetz, 2014), para comprender dónde están las urgencias de acción en este momento y dónde se desarrollan los problemas complejos, razón por la cual las distinciones entre ciencia, tecnología y políticas públicas estarían desapareciendo. Para Ravetz (2014) esto resulta ser una "deliciosa ironía", porque las cuestiones importantes para la humanidad actualmente, que tienen que ver con seguridad, salud y medioambiente, se consideran ahora de domino de las ciencias "blandas", que no generan dinero, no dan gloria a los científicos y no están en el escenario de los premios Nobel.

Recurrir a la ciencia en búsqueda de ayuda para comprender cómo funciona el mundo es un sello distintivo de un ciudadano razonable y educado, pero recurrir a la ciencia y la tecnología para buscar soluciones a problemas ambientales de por sí complejos, inciertos y con muchos intereses, cargados de valores éticos y políticos, puede no serlo. No debemos engañarnos pensando que, debido a que muchos problemas ambientales involucran cuestiones técnicas, tampoco plantean cuestiones de valor y en esencia éticas (DesJardins, 2013). Podemos captar esta perspectiva parafraseando un viejo adagio filosófico: "la ciencia sin ética es ciega; la ética sin ciencia está vacía", pero también se puede decir que "la ciencia sin cultura es arrogante, y la cultura sin ciencia es incompleta".

La naturaleza compleja y valorativa de los problemas ambientales contradice los postulados centrales de la ciencia moderna, lo que propicia una visión de ciencia posmoderna (Littledyke, 1996) que no rechaza la ciencia como tal, sino solo el cientificismo en el que se considera que únicamente los datos de las ciencias modernas pueden contribuir a la construcción de una nueva cosmovisión del mundo emancipadora epistemológicamente. La perspectiva posmoderna

saca a la luz dos aspectos centrales de la ciencia: 1) el conocimiento científico no es todo el saber y 2) la legitimidad de la ciencia se establece en escenarios amplios.

La tecnociencia de la modernidad, asociada a una "razón única", ha estado centrada en una serie de rasgos potencialmente destructivos del entorno físico y social, y se caracteriza por una serie de insuficiencias y de límites y excesos, así como por su desencanto, fragmentación, instrumentalización, control, universalidad, cuantificación, intervencionismo, individualismo y colonialismo. Por esta razón, en las últimas décadas, en el contexto del "cambio global", el supuesto de "racionalidad única" ha entrado en crisis en favor de la existencia de "racionalidades múltiples", concepto de carácter plural, abierto, relacional, complejo y respetuoso con la diversidad de modos de concebir las realidades y las relaciones con el mundo. Vemos entonces el surgimiento de nuevas bases epistemológicas de complejidad (sistémica), diversidad (biológica y cultural), límites (en una ecosfera limitada y vulnerable) y biomímesis (imitación de la naturaleza en la inserción de los sistemas humanos), sustentadas en unos pilares normativos de precaución (ante acciones cuyas consecuencias no sean claras), calidad (en el orden socioeconómico y socioecológico), socialización (generador de puentes entre individuo-comunidad) y proximidad (cobertura de las necesidades básicas humanas) (CIP-Ecosocial, 2011).

Esta racionalidad múltiple articula *conocimiento* y *saber*: el *conocimiento,* fundamentado en bases científicas compartidas por una comunidad de pares epistémica y generadora de realidades artificiales y de nuevos diseños sin raíces ecológicas, y el *saber*, fundamentado en conocimientos tradicionales, locales, holísticos, empíricos y repetitivos que mantienen prácticas intelectuales y materiales milenarias, portadoras de una cosmovisión que integra aspectos físicos y espirituales. La racionalidad plural o múltiple también articula deducción/inducción, lógica/intuición, lo que configura un principio metodológico propio del razonamiento abductivo. Sin embargo, esta integración de conocimiento científico y conocimiento tradicional ha conllevado distintas luchas y conflictos sobre el uso de los recursos naturales y la protección de los territorios y conocimientos tradicionales en escenarios de conflictos socioambientales.

En dichos escenarios, resulta necesario apostar por una nueva racionalidad ambiental que revalorice las distintas dimensiones de la cultura humana, un campo de reflexión epistemológica que nos muestra que la ontología del "saber ambiental" desborda el campo del conocimiento científico y del saber académico, ubicándose fuera de él, como externalidad; así es que surge una "racionalidad ambiental", enmarcada en un proceso político y social que requiere de la innovación de conceptos y métodos encaminados hacia el "diálogo de saberes" (Leff, 2006), lo cual potencia la creatividad cultural frente a las distintas problemáticas de la relación sociedad-naturaleza. Como diría Boaventura De Sousa Santos (2010), dada la imposibilidad de completud de las culturas, ellas pueden ser enriquecidas por el diálogo y la confrontación, sabiendo que la ignorancia estará siempre presente y que todas las prácticas de relación entre seres humanos, y de ellos con la naturaleza, implican más de una forma de conocimiento ("ecología de saberes") y, por tanto, de ignorancia. En este diálogo no se pretende desacreditar el conocimiento científico, pero sí se requiere una "traducción intercultural" de interpretación, con el objetivo de identificar preocupaciones y respuestas isomórficas.

De Sousa Santos, desde una perspectiva transmoderna (Masías y Jiménez, 2017) y en sintonía con posturas de giro decolonial (denunciante del epistemicidio y las colonialidades del ser, el poder y el conocimiento), enfatiza en la necesidad de un *"conocimiento-emancipación" de diálogo de saberes* en disputa epistemológica, superador de la ciencia como fenómeno moderno, capitalista, colonial y eurocéntrico, que ha sido un instrumento de reproducción de un sistema social y político. A este postulado subyace un diagnóstico contundente: la ciencia se ha agotado como único proyecto y factor organizador y centralizador del orden social, y en la actualidad se ha vuelto un verdadero obstáculo por ser considerada como fuente única de soluciones de los problemas asociados al cambio global. De esta manera, en el campo educativo se pretende desafiar los epistemicidios del currículo occidental legitimados por el monocultivo del conocimiento científico, que necesita ser derrotado y reemplazado por una ecología de saberes, alentando a incorporar epistemes no occidentales para la formación de subjetividades inconformistas y rebeldes orientadas a la acción transformadora, así como de

subjetividades democráticas, como elementos clave de la potencial democratización de la sociedad (Barbosa de Oliveira, 2017) frente a problemas de alta complejidad, incertidumbre y lucha de intereses.

Es de hacer notar que los fundamentos y principios de la sostenibilidad centrada en la racionalidad de la tecnociencia y sus instituciones han sido cuestionados por la desconfianza pública ante el poco acceso que brindan a procesos ciudadanos de gobernanza, por lo que se ha generado la necesidad de una nueva ciencia centrada en epistemología política, que podría denominarse como "ciencia posnormal" (Funtowicz y Ravetz, 2008; Saltelli y Funtowicz, 2017). Esta nueva disciplina está enfocada en replantear la urgencia de la democracia para la solución de los problemas ambientales, desde una refuncionalización de la ciencia en un nuevo sistema socioambiental y político de producción de conocimiento/saber en contextos de incertidumbre, diversidad de valores antagónicos y necesidad de grandes decisiones urgentes que involucran la interculturalidad y la política en diálogo de saberes. La ciencia posnormal genera una *ciencia emergente* para lidiar con las crisis ambientales de este siglo, escenario en donde los intentos de un monopolio de expertos de la gestión sobre los problemas de riesgo fracasaron significativamente y en donde la estrategia para contrarrestar este fracaso es extender la revisión por pares, ya que (solo) un diálogo entre todas las *partes interesadas*, en el que la experiencia científica ocupa uno entre varios lugares en la mesa, con preocupaciones locales y ambientales, puede lograr soluciones creativas y pertinentes a los problemas. Las cuestiones de política de riesgos y preocupaciones ambientales se resuelven en el ámbito político, y es allí donde se define quién puede participar en la toma de decisiones, incluido el diseño de soluciones. Wesselink y Hoppe (2011) plantean que los elementos específicos de la ciencia posnormal son: 1) la gestión de la incertidumbre, 2) la gestión de la inter- o la transdisciplinariedad, 3) la gestión de la relevancia de la política y 4) la gestión de la calidad de los resultados de esta ciencia centrada en las decisiones de la comunidad de pares extendida.

Estos elementos aplican a problemas complejos y urgentes que están cargados de valores y que son conocidos como "problemas perversos", situados en el nexo ciencia-práctica. Un ejemplo es el *cambio climático* que, en la figura 6.1, se ha situado en el sector superior izquierdo; en la vertical se ve que las "apuestas de decisión" de distintos

actores interesados para regular las emisiones de los gases de efecto invernadero (GEI) tienen un nivel alto. Sin embargo, las "apuestas de decisión" pueden no ser igualmente altas para todas las cuestiones relacionadas o relevantes para el cambio climático. En el eje horizontal, el conocimiento científico sobre el cambio climático se considera como sólido, por lo que tendría una puntuación baja o media en las "incertidumbres de los sistemas". Cuanto más avanzamos desde el conocimiento básico sobre la dinámica del calentamiento global y el cambio climático hacia el conocimiento sobre las medidas de mitigación y adaptación, más incierta se vuelve la base científica de nuestro conocimiento y nuestras acciones (Naustdalslid, 2011).

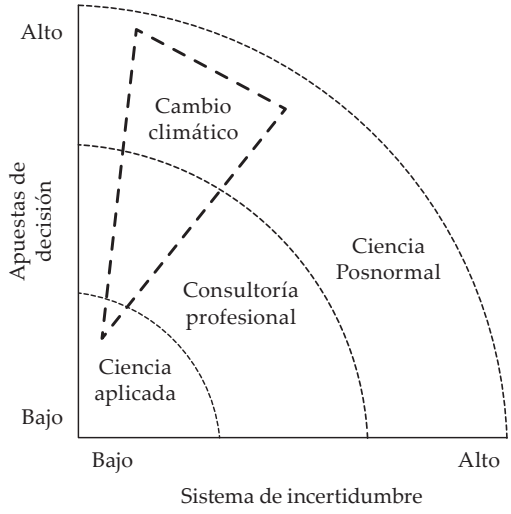


Figura 6.1. Ciencia posnormal y cambio climático
Fuente: Naustdalslid (2011, p. 25).

Si el pensamiento posmoderno y el transmoderno son un ingrediente esencial para crear una sociedad ecológicamente sostenible, es decir, una que pueda sobrevivir, la incorporación de los enfoques posmodernos y transmodernos a la educación científica es un imperativo ecológico. La ciencia posmoderna ofrece un "reencantamiento" humanitario de la ciencia, proporcionando un enfoque significativo para comprender el universo, en el que las dimensiones estética y espiritual son fundamentales; reconocer esta interacción entre el pensamiento y la emoción, el pensador y el objeto, exige a la pedagogía pos- y transmoderna un acercamiento a la humanización de la ciencia. Los valores éticos, estéticos y espirituales del diálogo de saberes sustentan la motivación para la acción.

Derek Hodson (2003), en su artículo "Tiempo para la acción: educación científica para un futuro alternativo", discute cómo los problemas de confrontación que tienen dimensiones ambientales y tecnocientíficas incluyen varios niveles de reconocimiento epistemológico:

- Nivel 1. Reconocer que la ciencia y la tecnología están, en cierta medida, determinadas culturalmente.
- Nivel 2. Reconocer que el desarrollo de la ciencia y la tecnología también está vinculado con la distribución de la riqueza y el poder.
- Nivel 3. Desarrollar los propios puntos de vista y valores.
- Nivel 4. Preparar para la acción.

EDUCACIÓN AMBIENTAL Y SUSTENTABLE PARA UN MUNDO POSCRECIMIENTO Y DE POS-SOSTENIBILIDAD

La educación se ha vuelto ineficiente frente a los problemas de cambio global. Las educaciones transversales instrumentalizadas, orientadas al desarrollo sostenible y desarticuladas curricularmente, han obtenido resultados poco claros para abordar el cambio global ambiental, por lo que se requiere una respuesta profunda desde una *educación en escenarios de crisis y urgencia*, una *educación resiliente* de enfoque sociocrítico, emancipatorio, ético y político basada en una cosmovisión relacional interepistémica (Jickling y Sterling, 2017), que se comienza a ver como floreciente en diversos movimientos de la sociedad civil y que está indicada por una *educación ecosocial* o de *educación ambiental y de sustentabilidad*.

En atención a lo anterior, se precisa un cambio educativo para superar una serie de defectos estructurales, particularmente de la EA tradicional (CIP-Ecosocial, 2011, p. 175), como:

- Falta de investigación y de formación específica en esta materia.
- Escaso desarrollo metodológico y el empleo de metodologías inadecuadas.
- Escasa adecuación a una perspectiva sociológica cercana a los conflictos cotidianos.

- Excesivo énfasis en la infancia y el consecuente descuido a otros grupos sociales.
- Escasa presencia en el currículo educativo de los saberes y prácticas ecológicas tradicionales.
- Dificultad para crear programas interdisciplinarios de formación ambiental que no sean una simple conjunción de disciplinas.

A lo anterior sumaríamos (Mora, 2020):

- Falta de un campo disciplinar para la didáctica ambiental.
- Falta de un área curricular específica en la educación general.
- Falta de una formación docente pertinente y de un diálogo de saberes.

Teniendo en cuenta las propuestas de Ecologistas en Acción-Madrid (2011) y de Díaz-Salazar (2017), para educar estudiantes en escenarios de crisis socioambiental desde una *educación ecosocial* se debería tener en cuenta:

- Una perspectiva holística, orientada no hacia el trabajo en una sociedad del mercado sino hacia una formación integral para el desarrollo de la inteligencia ecológica/emocional/moral, para un *buen vivir y bien ser*, en armonía con la naturaleza, consigo mismo y con los demás.
- Un aprendizaje social y emocional, para mantenerse optimista a pesar de la incertidumbre, los traumas, la apatía, la desesperanza y la parálisis absoluta, pero también para la compasión, el amor, el autocontrol, la resiliencia y la salud mental. Esto demanda prácticas educativas restaurativas, que generen respeto, reparación y reintegración.
- Colocar la vida en el centro del aprendizaje y de la experiencia, comprendiendo el metabolismo económico.
- Educar para cuidar, valorando la vida, comprendiendo las interdependencias y reconociendo la deuda entre géneros, clases sociales y Norte/Sur.

- Vincularse al territorio próximo, pues la cercanía propicia una interacción más humana; la escuela, como territorio, requiere de apropiación para dar sentido a los problemas ambientales propios, comprendiéndolos mediante metodologías de investigación-acción.
- Alentar la diversidad para enfrentar la homogenización de la globalización y asegurar la complementariedad y el reajuste en momentos de crisis para la supervivencia.
- Tejer comunidad y poder comunitario para la responsabilidad y la supervivencia.
- Hacer acopio de saberes que acercan a la sustentabilidad, funcionales a un territorio en que se vive.
- Desenmascarar y denunciar el actual modelo de desarrollo, comprendiendo el metabolismo social, la huella ecológica, el capitalismo asociado a la publicidad consumista y la obsolescencia programada, y los intereses transnacionales.
- Experimentar alternativas para el cambio ecosocial, para vivir mejor con menos, para la equidad, el equilibrio ecológico y el Buen Vivir, articulados al activismo ecológico.

Con miras a posibles reformas curriculares educativas, que permitan absorber los impactos del metabolismo socioeconómico en pro del cambio social y de modelo de desarrollo, de lo que se trata es de *etnoeducar,* y no tanto de escolarizar la racionalidad de la modernidad de la sostenibilidad, por lo que se pretende fortalecer una *educación resiliente* y sustentable (de forma permanente a lo largo de la vida), orientada al "saber ser y trascender". En este sentido, el acercamiento a distintos tipos de educación no escolarizada como la informal (para "saber actuar") e incluso la educación escolarizada no-formal (para el "saber hacer" en todas las edades), propias de la educación ambiental, se articulan con la educación en ciencias, más común en la educación formal (para la juventud, y del "saber decir", en proceso ordenados, lógicos y secuenciales).

Los *espacios no convencionales educativos* (ENCE), como jardines botánicos, parques temáticos, ecoparques, museos, centros interactivos como Maloka (en Bogotá) y otros (Rodríguez y Mora, 2019), que tradicionalmente han sido apoyo de la formalidad educativa como

también de la educación informal, se integran con el objetivo de promover la emoción y la trascendencia ("saber sentir, actuar, trascender"), recuperando el sentido de *pseudoserendipia* (o de búsquedas a lo largo de muchos años, aparentemente estériles, de pluralidad epistémica) en un nuevo orden sinérgico, provisorio, incierto y caótico de *desescolarizar/escolarizar* y de *oposición/distinción* entre EA/EC. De esta forma, la educación ambiental (EA) trasciende el papel transversal que le han otorgado desde su potencial no curricular, de modo que la educación en ciencias (EC) se vuelve pertinente al servicio de los problemas socioambientales y reales del mundo.

El acercamiento entre la educación en ciencias (EC) y la educación ambiental (EA), en las dos últimas décadas, ha buscado un *mutualismo* —beneficio mutuo (Gough, 2002) o convergencia sinérgica (Wals, Brody, Dillon y Stevenson, 2014)— para mejorar las actitudes hacia las ciencias y el aprendizaje de los estudiantes en la EC y asegurar asimismo el posicionamiento formal, educativo y curricular de la EA. Es necesario entonces fortalecer la ciencia ciudadana (respaldada por las tecnologías de la información y las comunicaciones-TIC) de cara a los compromisos de la sostenibilidad/sustentabilidad. Sin embargo, las distintas tradiciones y evoluciones como campos educativos, donde la EC se ha enfocado principalmente en enseñar conocimientos y habilidades y la EA en enfatizar en la incorporación de valores y el cambio de comportamientos, las ha mantenido distantes y en competencia, e incluso en la situación de depredador-presa y huésped-parásito, como lo expresa Annette Gough (2002).

La posibilidad de una *educación eco-científica* (Sauvé, 2010), o "educación científica-ambiental" (Mora y Parga, 2017) ya no debe tener un carácter implícito y de desconfianza, sino más de sinergia y resiliencia, como se viene planteando en la *educación en ciencias para la sostenibilidad* (Corcoran, Weakland y Wals, 2017) y que de alguna manera puede percibirse en las distintas secciones del *International Handbook of Research on Environmental Education* (Stevenson, Brady, Dillon y Wals, 2013), en particular en sus líneas de investigación, presentadas en la tabla 6.3. Es evidente que la EA se aleja de la tradición centrada en activismo y resultados conductuales, y que se presta más atención a la comprensión de los procesos de aprendizaje y a las capacidades de los individuos y de las comunidades, las cuales son necesarias para ayudar a resolver problemas socioambientales complejos.

Tabla 6.3. *Líneas de investigación en educación ambiental*

Temas de investigación	Contenidos
1. Formación del profesorado.	Pregrado y desarrollo profesional continuo de docentes y material de enseñanza; programas de educación de maestros; reforma de la formación docente e investigación-acción.
2. La enseñanza y los profesores.	Conocimiento del profesor; conocimiento pedagógico; formas de representación del conocimiento; el pensamiento del profesorado; el conocimiento de los docentes; estrategias de enseñanza (los valores de los profesores, los intereses, la motivación, las actitudes, el razonamiento).
3. Aprendizaje de conceptos, los estudiantes, concepciones y cambio conceptual.	Métodos para investigar el conocimiento y la comprensión de los estudiantes; concepciones alternativas de los estudiantes, métodos de enseñanza para el cambio conceptual; desarrollo conceptual.
4. Aprendizaje sobre los estudiantes y el aprendizaje (contextos de aula y características de los estudiantes).	Interés de los estudiantes y motivación; ambiente de aprendizaje; diferencias individuales; enfoques de aprendizaje; interacción profesor-alumno; experiencias sobre el terreno; dimensiones afectivas de aprendizaje del medioambiente/sostenibilidad (desarrollo actitud, valores); factores sociales, políticos y económicos; argumentación (razonamiento, toma de decisiones).
5. Objetivos y política, evaluación curricular y valoración.	Desarrollo curricular, implementación, difusión y evaluación; análisis social de plan de estudios; evaluación; evaluación de los maestros; medidas educativas; política curricular y reforma (enlaces a otras áreas del currículo, por ejemplo, la salud).
6. Temas culturales, sociales y de género.	Temas multiculturales y bilingües; cuestiones étnicas; cuestiones de género; estudios comparativos; temas de la diversidad en relación con el medioambiente/ sostenibilidad, la enseñanza y el aprendizaje.
7. Historia, filosofía, epistemología y naturaleza de la investigación.	Temas históricos; cuestiones filosóficas; cuestiones epistemológicas; cuestiones éticas y morales; naturaleza de la investigación; métodos de investigación y cuestiones teóricas relacionadas con la investigación.
8. Tecnología educacional.	Computadoras; multimedia interactivos; de video; integración de la tecnología en la enseñanza.
9. Aprendizaje informal.	Aprendizaje del medioambiente/sostenibilidad en contextos informales (por ejemplo, museos, escenarios al aire libre); "trabajos prácticos y trabajo de campo"; conciencia pública sobre el medioambiente/sostenibilidad.

Fuente: Reid y Scott (2013, p. 519), en Stevenson, Brady, Dillon y Wals (2013).

Durante las dos últimas décadas ha habido un interés por examinar los problemas ambientales en el contexto de la educación en ciencias, originándose propuestas centradas en la "comprensión pública de la ciencia", la "educación científica centrada en temas críticos", la "educación experiencial", la "educación basada en el contexto", la "educación centrada en lo cultural, la "educación para la sostenibilidad" y, recientemente, la educación en "ciencia ciudadana" y la "ecojusticia", que demandan de un pensamiento crítico desde una formación para la argumentación, la evaluación de riesgos, la toma de decisiones y el activismo sociopolítico. La ciencia ciudadana y las preocupaciones sobre la sostenibilidad han sido particularmente catalizadores sinérgicos entre EC y EA, tal como lo plantean Wals, Brody, Dillon y Stevenson (2014).

Desde el análisis crítico del discurso, Ventura de Freitas y Freire (2018), investigadoras del grupo Pesquisa em Educação Ambiental e Educação em Ciências (GPEAEC), han analizado las relaciones de sentido entre EC y EA, que son legitimadas curricularmente como campos heterogéneos teóricos y prácticos, en constantes tensiones, que albergan diversidad de opciones político-pedagógicas desarrolladas por diversos actores en distintos segmentos sociales, por ejemplo: conservacionista (de lo culto a lo salvaje), pragmático (evangelio de ecoeficiencia) y crítico (ecologismo de los pobres). Estos enfoques van desde el énfasis en el sentido biológico de la ecología hasta perspectivas que enfocadas en lo social, las humanidades y aspectos éticos, políticos y económicos, por lo que se presentan distintas posibilidades de conexión entre EC y EA, como podría ser el traslado de perspectivas positivistas desde la EC a la EA. Frente a discursos que promulgan que la base de la crisis ambiental es la desigual distribución de bienes y riquezas en las relaciones sociales contemporáneas, Ventura de Freitas y Freire exaltan la noción de justicia ambiental, planteando que la EC debería contribuir a la comprensión de nuevas relaciones entre seres humanos y naturaleza, así como del desarrollo tecnocientífico. En este contexto, un diálogo estratégico entre la EC y una EA crítica agrega discusiones sociopolíticas a los contenidos de las ciencias naturales para evaluar el actual modelo de desarrollo dominante, si bien esto tiene gran dificultad en la formación y en las prácticas docentes.

DIDÁCTICA DE LAS CIENCIAS Y DEL AMBIENTE, TRANSICIONES DE APRENDIZAJE Y CUESTIONES SOCIOAMBIENTALES COMO ARTICULADORES CURRICULARES Y DE LA FORMACIÓN DOCENTE

Aunque consideramos conveniente la construcción de una *didáctica ambiental* (DA) como campo disciplinar específico, que trate los contenidos ambientales asociados al cambio ambiental global, son las didácticas-puente, como la *didáctica de las ciencias y el ambiente* (DCA), las que proporcionan los elementos estratégicos de articulación entre las educaciones EC y EA. Aprovechando el estatus disciplinar logrado desde los años ochenta del siglo pasado por parte de la didáctica de las ciencias (DC), la DCA ha podido consolidarse como ciencia social del diseño del contenido y ha servido como articuladora entre las educaciones EA/EC en contextos de educación formal/no formal/informal, en un currículo amplio de educación eco-científica, para lo cual el "paradigma perdido del contenido" en el currículo ambiental abrirá caminos a una didáctica ambiental (Mora y Parga, 2021).

Nos inclinamos por una DC como estado deseable para el campo de la DA formal, basados en la supresión de un *estado utópico* (irrealizable) y con miras a un *estadio de lo eutópico* (lo posible), dada la urgencia de una didáctica-puente: la DCA. Este enfoque permite aceptar procesos educativos paradójicos, holísticos y sinérgicos, contradictorios, ambiguos e inciertos, que contemplen no solo la razón sino también la emoción y la trascendencia, en contextos temporales de *sincronía* en los cuales hay coincidencia significativa de dos o más sucesos no relacionados causalmente (fuente nutricia del currículum oculto), en una lógica (formalizadora) no bivalente dicotomizante, sino polivalente.

Desde la sustentabilidad ambiental para tiempos de crisis e incertidumbre, y como puente entre EA y EC, la DCA se orientaría a la construcción de contenidos en cuatro áreas fundamentales:

- La naturaleza de los problemas científicos y su impacto socioambiental.
- Las cuestiones del discurso asociadas a los modelos de enseñanza-aprendizaje en el aula y relacionadas con *cuestiones socioambientales* (CSA).

- Las implicaciones culturales en la toma de decisiones asumidas por los distintos actores implicados desde una *ecología y diálogo de saberes*.
- Las CSA basadas en casos reales y no solo simulados, para la participación democrática de toma de decisiones en una comunidad de pares extendida.

Esta DCA (sociocrítica y constructivista) se regiría por un desarrollo/formación de *capacidades/competencias ambientales interconectadas* (Mora y Guerrero, 2022), las cuales se enlistan a continuación:

1. *Conocer situado.* Capacidad conceptual/factual, razón/emoción/trascendencia, para la comprensión y solución de problemas reales inciertos y contradictorios de la relación sociedad/naturaleza, en territorios espaciotemporales específicos.
2. *Emocional.* Capacidad para el cuidado, la empatía y la compasión ligados inseparablemente al amor y la belleza, que reconocen y respetan los valores y "racionalidades" de otros pueblos y culturas.
3. *Valoración para la participación y gobernanza.* Capacidad para pensar en términos de conflictos de valores y dilemas morales y para la actuación en escenarios de conflictos de intereses, aceptando lo sacralizado/secularizado de la naturaleza.
4. *Pensamiento complejo.* Capacidad relacional y sistémica, en diferentes escalas, para reconocer y comprender los procesos no lineales en el tiempo y el espacio.
5. *Tolerancia a la ambigüedad e incertidumbre.* Habilidad para afrontar conflictos, contradicciones y contratiempos.
6. *Empatía y cambio de perspectiva en contextos de pluralidad epistémica.* Capacidad para lidiar con las diferencias y asumir una comprensión inter- y transcultural en escenarios decoloniales.
7. *Respeto a la otredad.* Capacidad de comunicación, deliberación y negociación para enfrentar conflictos.
8. *Política.* Capacidad para comprender el papel del conocimiento en la toma del poder, redireccionando las ciencias hacia y con la gente, para el cambio cultural en la relación antropocentrismo/

biocentrismo/cosmocentrismo. Con ello se cuestionan la creciente brecha Norte-Sur, la influencia que en ella tienen las ciencias de la modernidad y su articulación al modelo de desarrollo productivista-consumista, entrelazada con la globalización económica. Esto permite la propuesta de alternativas al desarrollo y al rol de las ciencias de la modernidad en la cultura.

9. *Pensamiento crítico-argumentativo.* Capacidad de reflexión escéptica y propositiva sobre normas, prácticas y opiniones en pro del logro de la autonomía y la valoración de las identidades en el respeto a la diversidad, como reacción al colonialismo e imperialismo del conocimiento.
10. *Comunicación y uso de los medios.* Capacidad para usar las TIC apropiadas.
11. *Acción estratégica.* Capacidad para diseñar e implementar intervenciones, transiciones y transformaciones en escenarios de riesgo.

Los elementos articuladores entre EC y EA tienen un precedente en la DC, en particular en el enfoque CTS y ciencia en contexto, con propuestas como la alfabetización científico-tecnológica, la educación científica para la ciudadanía y, en particular, el enfoque ciencia, tecnología y sociedad-ambiente (CTS-A) (Pedretti y Nazir, 2011), las cuestiones sociocientíficas (CSC, *socio-scientific issues-SSI*) y las cuestiones socialmente agudas-vivas (en francés *questions socialement vives*-QSV, en inglés, *socially acute questions*-SAQ) (Bencze *et al*., 2020; Simonneaux, 2014). Las dos últimas tienen un claro sentido de puente con los problemas ambientales, en particular, la propuesta de las QSV (que no están orientadas directamente hacia las ciencias), que saca a la luz las implicaciones de la tecnociencia en el campo ambiental. En las QSV, el ángulo de lo social ha servido de punto tangencial, e incluso de solapamiento, para la generación de lecturas contrahegemónicas, críticas y transformadoras de la realidad, que han sido formuladas, por tradición de la EA, en relación con los conflictos socioambientales y, en particular, con su perspectiva didáctica, constituyendo lo que conocemos como cuestiones socioambientales (CSA).

En la tabla 6.4 se presentan algunas diferencias y similitudes entre CTSA, CSC y CSV.

Tabla 6.4. *Diferencias y similitudes entre* CTSA, CSC *y* CSV

Fundamentos comunes: "ciencia en contexto" y alfabetización funcional			
CTS	**CTSA (STSE)** Años setenta. Educación en ciencia, tecnología, sociedad y medioambiente (Pedretti y Nazir, 2011).	**Origen británico** • Atención hacia la ciencia y la responsabilidad social. • Relevancia y compromiso público; movimiento ambientalista; las convocatorias de la ciencia ciudadana y el activismo. • STSE (CTSA) como movimiento y como fuerza positiva dentro de la reforma de la educación científica. • "Ciencia para todos". • Currículos como *Science in a Social Context* (SISCON).	Educación STEM
	CSC (SSI) cuestiones sociocientíficas (Zeidler, 2014).	**Origen estadounidense** • Instalado en una tradición progresiva de educación que fomenta la inteligencia moral y la responsabilidad social. • Comparte una visión que enfatiza la virtud cívica y la ciudadanía. • Rechazo a la bifurcación de la ciencia en componentes no normativos (procesos de la ciencia) y componentes normativos (imperativos morales).	
	SAQ (CSV) cuestiones socialmente agudas. (Simonneaux, 2014).	**Origen francés** • Plantea la interdependencia entre los componentes cognitivos, afectivos y de juicio (axiológicos) de la educación y la formación. • Las controversias deben ser "agudas" en los tres campos: sociedad, investigación y campo profesional, y aulas. • En relación con los riesgos de enseñanza que sienten que pueden tolerar, entre zonas de lo frío/caliente de la participación social.	Educación general

Fuente: elaboración propia a partir de Bencze *et al*. (2020).

Desde la línea de investigación Inclusión de la dimensión ambiental en la educación en ciencias, inscrita en el Énfasis en Educación en Ciencias del Doctorado Interinstitucional en Educación, sede Universidad Distrital Francisco José de Caldas (DIE-UD), instituida en el 2012 (Mora, 2018), hemos considerado que las cuestiones socioambientales derivadas de distintos conflictos son susceptibles de ser articuladas al desarrollo curricular y docente del profesorado de ciencias, dando cuenta de la situación actual del campo ambiental

en la educación en ciencias como elemento contextualizador cultural, político, ético y crítico. Consideramos que con este enfoque se pueden enfrentar las diversas situaciones de crisis socioambientales, lo que requiere una educación articuladora entre ciencias y ambiente, dirigida a la participación ciudadana y relacionada con el desarrollo de capacidades/competencias ambientales determinadas en contextos curriculares propios de conflictos socioambientales reales. La justicia socioambiental precisa que el profesorado tenga una formación epistemológica ambiental, así como una formación pedagógico-didáctica ambientalizada en torno a CSA y con un *conocimiento didáctico del contenido* (CDC) en justicia socioambiental (o *social justice pedagogical and content knowledge*-SJPCK), como ya se reconoce a nivel internacional (Dyches y Boyd, 2017) en algunos trabajos sobre formación inicial de profesores de ciencias, articulación curricular y cuestiones socioambientales (Mora, 2020; Sepúlveda y Mora, 2021). La tabla 6.5 compara las CSC y las CSA, comparación que proponemos como forma de caracterización de esta línea de investigación.

Tabla 6.5. *Contraste entre las cuestiones sociocientíficas y cuestiones socioambientales*

	CSC	CSA
Origen	Educación en ciencias	Educación ambiental
Currículo	• Tendencia humanista: "*Alfabetización científica funcional*" y de *ciudadanía científica*, para el desarrollo de la capacidad de aplicar el razonamiento científico en escenarios del mundo real, entendiendo la provisionalidad de las ciencias en espacios de relevancia y controversia, que requieren debate y argumentación.	• No curricular (transversalizado) Educación en escenarios de crisis y riesgos, con vínculos con la educación eco-científica (*ciudadanía ambiental)* en escenarios informales y no formales, para el desarrollo de las capacidades argumentativa/crítica y ética/política, para el compromiso y la acción, en tiempos de crisis, incertidumbre y luchas de poder. • Asociadas a conflictos socioambientales (que involucran el Estado, campesinos, grupos étnicos, en un territorio) en el contexto de la gestión ambiental, educación ambiental, comunicación y participación ciudadana en audiencias públicas, veedurías ciudadanas, derechos de petición y consultas previas. Conflictos que dependen de: el deterioro de un recurso natural, la confrontación de intereses y la participación de diferentes actores.

	CSC	CSA
Currículo	• Tendencia a la formación en competencias: CTS-A, STEM/E-STEM/STEAM, y asociadas a estándares de ciencias de la próxima generación (NGSS), en contextos de *ciencia ciudadana,* y a los 17 ODS del proyecto 2030 de Naciones Unidas, que configuran una *educación para todos* como se propone en la educación para el desarrollo sostenible (EDS). • Basada en la didáctica de las ciencias, en la cual lo ambiental es un contexto para la educación en ciencias.	• Transiciones (progresiones / regresiones) de pensamiento complejo y desarrollo/formación de capacidades/ competencias ambientales clave. • De formación docente en escenarios de JA-CDC (conocimiento didáctico del contenido en justicia ambiental) y de *social justice pedagogical and content knowledge* (SJPACK). • "Pos-sostenibilidad: Rehacer la educación. Hacia una educación ambiental sustentable". • Las ciencias naturales/sociales son un criterio más para la toma de decisiones en el campo socioambiental.
Contexto	Tendencia hacia la *sostenibilidad* (desarrollo sostenible propuesto por Naciones Unidas). Derechos humanos. *Educación para el desarrollo sostenible.*	Tendencia hacia la sustentabilidad (propio del pensamiento ambiental latinoamericano, de las epistemologías andinas y del Sur). Derechos de la Tierra. *Educación ambiental y sustentable. Educación ambiental articulada a la gestión ambiental, la comunicación, la participación y la justicia ambiental, desde conflictos socioambientales.*
Epistemología	Ciencias: naturales/ sociales. Epistemología de las ciencias de la modernidad. Comunidad de pares disciplinarizada. Acercamiento a los aspectos humanísticos de la línea de naturaleza de las ciencias.	Cultura: ciencias/humanidades. Decolonial: pluralidad epistémica. Epistemología posmoderna, "ciencia posnormal", epistemología política de ciencia con la gente. Comunidad de pares extendidas a los *stake holder*s (grupos de interés de partes interesadas). Propio de la era de la interculturalidad.
	Interdisciplinariedad.	Diálogo de saberes.
Didáctica	*Didáctica de las ciencias.* Ética/valores, naturaleza de las ciencias.	"*Didáctica de las ciencias y del ambiente"* (en construcción), como articulador curricular EA/EC, en contextos de justicia socioambiental y decrecimiento.

	CSC	CSA
Desarrollo	Moral, cognitivo, emotivo y responsable.	Cultural, político y del cuidado necesario, en escenarios de desarrollo moral.
	Casos en el contexto de aula, simulados y reales.	Casos en contextos reales de participación social, de articulación con escenarios fuera del aula de clase. Particularmente en la zona caliente de las cuestiones socialmente vivas de Simonneaux (2014).

Fuente: elaboración propia.

A MANERA DE CONCLUSIÓN

A continuación sintetizamos las principales ideas discutidas en este capítulo:

- *Los problemas actuales tienen una naturaleza compleja.* Hoy en día, los problemas ambientales se interpretan comúnmente como problemas perversos multidisciplinarios, caracterizados por la complejidad, la incertidumbre y el riesgo, por lo tanto, abiertos a la incertidumbre y la impugnación. Estos conflictos *tienen sus raíces fundamentalmente en la competencia, el poscolonialismo, la arrogancia, el absolutismo, la violencia y la codicia*. Dichos factores son objeto de crítica desde la educación ambiental, aunque son difíciles de encajar en la escolarización, caracterizada por metas de aprendizaje, control, evaluaciones predefinidas, *currículos fracturados y métodos tradicionales, incluso en el ámbito de la educación multicultural.*
- *Estamos en tiempos para la "reflexión crítica-dialogante-acción"* en contextos de democracia participativa. Se requiere, por tanto, de posiciones propositivas asociadas a la aceptación de la diversidad epistémica orientada a la acción sobre problemas urgentes en escenarios situados (contextualizados) y fundamentados de participación democrática.
- *En la actualidad, emerge un nuevo contrato social de las ciencias,* desde una epistemología para la sustentabilidad ambiental y como cambio de percepción pública de la naturaleza de las ciencias, en tensión constante con las posturas negacionistas de posverdad y seudociencia. Este fenómeno tiene implicaciones

fundamentales en el campo de la DCA, pues requiere del profesorado una formación en epistemología ambiental.

- *Una EA enmarcada en una educación resiliente y de cambio social cuestiona la tendencia contemporánea de tratar los temas de ciudadanía y democracia como un desafío de individuos y no de comunidades.* La relación entre conocimiento, valores, política y ética en temas de sustentabilidad es compleja, por lo que articular las CSA con el cambio social resulta fundamental. Una DCA de naturaleza crítica implica reconocer que los sistemas políticos, ideológicos y las estructuras en que las culturas y las sociedades se desarrollan pueden contribuir tanto a la sustentabilidad como a la insostenibilidad y la extinción.
- *Se requiere de una DCA centrada en las controversias de comunidades epistémicas diversas,* en escenarios de conflicto socioambiental, entre zonas frías y calientes, en lo que se podría entender como una pedagogía-didáctica ciudadana para la toma de decisiones autónomas, fundamentadas y propositivas, en diferentes niveles o progresiones de aprendizaje y de participación social.
- *La formación del profesorado en EA es una prioridad y debe abarcar una dimensión tanto política como técnica y epistémica, en un contexto de diálogo de saberes, de multiculturalidad y de cambio global,* de tal manera que les permita a las comunidades considerar la ciencia como una práctica compleja condicionada ambiental y culturalmente. Este es un desafío para las facultades de formación de profesores, particularmente de los profesores de ciencias, que se ven desbordados por una epistemología de diálogo de saberes que es distinta a la disciplinariedad de la biología, en donde se forman, en cuestiones medioambientales, buena parte del profesorado de básica y media. Se requiere entonces de conocimientos del contenido, métodos y participación de la comunidad de pares de varias disciplinas, y de formación de competencias docentes de carácter ambiental de gran complejidad; en este aspecto, incluso los esfuerzos de las licenciaturas en EC y EA predominantes hoy en Colombia no pasan de ser un intento casi fallido y espontáneo, pues falta una verdadera comunicación epistémica y ontológica de dos campos tradicionalmente diferenciados y separados.

REFERENCIAS

Arias A. (2020). *La batalla de las ideas tras la pandemia. Crítica del liberalismo verde.* Los Libros de la Catarata.

Barbosa de Oliveira, I. (2017). *Boaventura and education.* Sense Publishers.

Bencze, L., Pouliot, Ch., Pedretti, E., Simonneaux, L., Simonneaux, J. y Zeidler, D. (2020). SAQ, SSI and STSE education: defending and extending "science-in-context". *Cultural Studies of Science Education, 15*, 825-851. https://doi.org/10.1007/s11422-019-09962-7

Caride, J. A. y Meira, P. A. (2020). La educación ambiental en los límites, o la necesidad cívica y pedagógica de respuestas a una civilización que colapsa. *Pedagogía Social. Revista Interuniversitaria. Tercera época. 36*, 21-34. doi: 10.7179/PSRI_2020.36.01 http://recyt.fecyt.es/index.php/PSRI/

CIP–Ecosocial. (2011). Cultura y medio ambiente. Apuntes para una reconciliación. En S. Álvarez (Ed.), *Convivir para perdurar. Conflictos ecosociales y sabidurías ecológicas* (pp. 125-184). Icaria Editorial S. A.

Corcoran, P. B., Weakland J. P. y Wals, A. E. J. (Eds.) (2017). *Envisioning futures for environmental and sustainability education.* Wageningen Academic Publishers.

De Sousa Santos, B. (2010). *Descolonizar el saber, reinventar el poder.* Ediciones Trilce.

DesJardins, J. R. (2013). *Environmental ethics. An introduction to environmental philosophy.* Cengage Learning.

Díaz-Salazar, R. (2017). El cambio ecológico de la educación. En The Worlwatch Institute (Ed.), *La situación del mundo. Educación ecosocial. Cómo educar frente a la crisis ecológica* (pp. 319-329). Icaria Editorial S. A.

Dyches, J. y Boyd, A. (2017). Foregrounding equity in teacher education: toward a model of social justice pedagogical and content knowledge. *Journal of Teacher Education, 68*(5), 476-490.

Ecologista en Acción-Madrid (2011). Educar en el Antropoceno. En S. Álvarez (2011), *Convivir para perdurar. Conflictos ecosociales y sabidurías ecológicas* (pp. 351-368). Icaria Editorial S. A.

Funtowicz, S. y Ravetz, J. (2008). Values and Uncertainties. En G. Hirsch Hadorn *et al*. (Eds.), *Handbook of Transdisciplinary Research* (pp. 361-368). Springer.

Gough, A. (2002): Mutualism: a different agenda for environmental and science education. *International Journal of Science Education, 24*(11), 1201-1215.

Harari, Y. N. (2021). *21 lecciones para el siglo XXI.* Penguin Random House.

Hodson, D. (2003). Time for action: science education for an alternative future. *International Journal of Science Education, 25*(6), 645-670. doi: 10.1080/09500690305021

Jickling, B. y Sterling S. (Eds.). (2017). *Post-sustainability and environmental education. Remaking education for the future*. Palgrave Studies in Education and the Environment.

Leff, E. (2006). *Aventuras de la epistemología ambiental*. Siglo XXI Editores.

Littledyke, M. (1996). Science education for environmental awareness in a postmodern world. *Environmental Education Research, 2*(2), 197-214. doi: 10.1080/1350462960020206

López, F. (2016). La interacción humanidad-tierra: el Antropoceno. En T. Vicente (Ed.), *Justicia ecológica en la era del Antropoceno* (pp. 71-124). Editorial Trota.

Lubchenco, J. (1998). Entering the century of the environment: a new social contract for science. *Science. 279*(23), 491-497.

Masías, R. y Jiménez, G. (2017). Acreditación, reconocimiento científico y razón de ser la ciencia en las teorías generales de la ciencia, la política y la sociedad. En G. Vélez *et al., Investigación en ciencias sociales, humanidades y artes* (pp. 17-67). Ediciones Uniandes.

Mora, W. M, y Guerrero, G. N. (2022). Las competencias ambientales clave en las actividades docentes del profesorado de ciencias. *Tecné, Episteme y Didaxis: TED, 51*, 299-316.

Mora, W. M. (2018). La metodología de investigación en tesis doctorales: el caso de la línea "inclusión de la dimensión ambiental en la educación en ciencias". En D. Edgar, P. Duncan y F. Valencia (Eds.), *Research strategy, culture development and Doctoral Support: Tools and Techniques for Latin American Universities* (pp. 162-184). Latin American University Research and Doctoral Support.

Mora, W. M. (2020). Las epistemologías del sur y la relación sostenibilidad/sustentabilidad en la construcción conceptual de una línea de investigación didáctica sobre justicia socio-ambiental. En A. Molina (Ed.), *Investigación y formación de profesores de ciencias:*

diálogos de perspectivas latinoamericanas (pp. 21-54). Universidad Distrital Francisco José de Caldas.

Mora, W. M. y Parga, D. L. (2017). Educación científica ambiental: elementos conceptuales para la formación del profesorado de ciencias. X Congreso Internacional sobre Investigación en Didáctica de las Ciencias. Sevilla (España). *Enseñanza de las Ciencias, núm. extraordinario,* 3357-3361. https://ddd.uab.cat/record/183965?ln=es

Mora, W. M. y Parga, D. L. (2021). Didáctica ambiental: un aporte desde la didáctica de las ciencias. *XI Congreso Internacional en Investigación en Didáctica de las Ciencias. Libro de actas* (pp. 2311-2314). https://congresoenseciencias.org/wp-content/uploads/2021/09/Actas-Electronicas-del-XI-Congreso_compressed.pdf

Naustdalslid, J. (2011). Climate change: the challenge of translating scientific knowledge into action, *International Journal of Sustainable Development & World Ecology, 18*(3), 243-252. doi: 10.1080/13504509.2011.572303

Pedretti, E. y Nazir, J. (2011). Currents in STSE education: mapping a complex field, 40 years on. *Science Education, 95,* 601-626. https://doi.org/10.1002/sce.20435

Ravetz, J. (2014). *The no-nonsense guide to science*. New Internationalist Pubns Inc.

Reid, A. y Scott, W. (2013). Identifying needs in environmental education research. En R. B. Stevenson, M. Brody, J. Dillon y A. Wals. (Eds.), *International Handbook of Research on Environmental Education* (pp. 518-528). 1.ª ed. Routledge.

Riechmann, J. (2014). ¿Cómo cambiar hacia sociedades sostenibles? Reflexiones sobre Biomímesis y Autolimitación. En J. Riechmann. (2014), *Tratar de comprender. Ensayos escogidos sobre sustentabilidad y ecosocialismo en el siglo de la gran prueba* (pp. 67-98). Editorial Universidad Distrital Francisco José de Caldas.

Riechmann, J. (2020). Para ayudarnos a salir del manicomio. [Prólogo]. En A. Arias, *La batalla de las ideas tras la pandemia. Crítica del liberalismo verde* (pp.11-18). Los Libros de la Catarata.

Rodríguez, T. E., y Mora, W. M. (2019). El sentido educativo ambiental de los espacios no convencionales de educación tipo jardines botánicos: aproximación a un estado del arte. En W. M. Mora (Ed.), *Proyectos investigativos en educación en ciencias:*

articulaciones desde enfoques histórico-epistemológicos, ambientales y socioculturales (pp. 97-124). Editorial Universidad Distrital Francisco José de Caldas.

Sachs, J. D. (2021). *Las edades de la globalización.* Editorial Planeta Colombiana S. A.

Saltelli, A. y Funtowicz, S. (2017). What is science's crisis really about. *Futures, 91,* 5-11.

Sauvé, L. (2010). Educación científica y educación ambiental: un cruce fecundo. *Enseñanza de las Ciencias, 28*(1), 5-18.

Scranton, R. (2021). *Aprender a vivir y a morir en el Antropoceno. Reflexiones sobre el cambio climático y el fin de una civilización.* Errata Naturae Editores.

Sepúlveda, E. y Mora, W. M. (2021). Cuestiones socioambientales como articulador curricular en la formación de profesores de ciencias: aproximación a un estado del arte. *Praxis & Saber, 12*(31), e12648. https://doi.org/10.19053/22160159.v12.n31.2021.12648

Simonneaux, L. (2014). Questions socialement vives and socios-cientific issues: new trends of research to meet the training needs of postmodern society. En C. Bruguière, A. Tiberghien y P. Clément (Eds.), *Topics and trends in current science education. 9th ESERA Conference Selected Contributions* (pp. 37-54). doi: 10.1007/978-94-007-7281-6_3. https://www.researchgate.net/publication/297739864

Sotillo, J. A. (2017). *El ecosistema de la cooperación. La Agenda 2030 para el desarrollo sostenible*. Los Libros de la Catarata.

Stevenson, R. B., Brady, M., Dillon, J. y Wals, A. (2013). *International Handbook of Research on Environmental Education.* AERA, Routledge.

Ventura de Freitas, G. y Freire, L. M. (2018). Relações entre educação em ciencias e a educação ambiental: uma perspectiva a partir dos estudos críticos do discurso. En M. A. Mejía-Cáceres, L. M. Freire y E. G. García (Eds.), *Educación en ciencias y educación ambiental en la formación de profesores* (pp. 79-100). Programa Editorial Universidad del Valle.

Wals, A., Brody, M., Dillon, J. y Stevenson, R. B. (2014). Convergence between science and environmental education. *Science, 344,* 583-584.

Wesselink, A. y Hoppe, R. (2011). If post-normal Science is the solution, what is the problem? The politics of activist environmental science. *Science, Technology & Human Values, 36*(3), 389-412.

Zeidler, D. L. (2014). Socioscientific issues as a curriculum emphasis: theory, research and practice. En N. G. Lederman y S. K. Abell (Eds.), *Handbook of Research on Science Education* (vol. II, pp. 697-726). Routledge. https://doi.org/10.4324/9780203097267.ch34.

Capítulo 7. Mecanismos de ambientalización en la educación en ciencias. El caso de la educación química en interacción con la educación para la sustentabilidad ambiental

Diana Lineth Parga Lozano
Universidad Pedagógica Nacional

INTRODUCCIÓN

La Constitución Política de Colombia de 1991 considera la educación ambiental (EA) una herramienta indispensable en la construcción de una sociedad en armonía con la naturaleza (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales - Ideam, 2010). De la misma forma, en la Política Nacional de Educación Ambiental

(Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial - MAVDT y Ministerio de Educación - MEN, 2003) se reconoce a la EA como uno de los instrumentos necesarios para reducir las tendencias de deterioro ambiental y desarrollar una nueva concepción en la relación sociedad-naturaleza. Por su parte, en el capítulo 36 de la Agenda 21 se describe una base de acción para la educación para el desarrollo sostenible o EDS (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible - MADS, 2012) en la que se plantea que la educación, la capacitación y la toma de conciencia pública deben reconocerse como procesos por los cuales los seres humanos y la sociedad pueden alcanzar su máximo potencial. Para dar cuenta de esto, a lo largo del tiempo, en el ámbito internacional y nacional, la EA ha modificado sus objetivos, proponiendo en sus inicios una EA para la conservación, luego una EA para la concientización de los problemas, para ser hoy una educación ambiental transformadora, es decir, ha pasado por varios niveles, según Klein y Merritt (1994): en el primero se enfatiza en la fundamentación ecológica para que los alumnos tengan suficientes conocimientos ecológicos; el segundo nivel es la concientización conceptual sobre acciones individuales y colectivas frente a la relación calidad de vida y calidad ambiental; el tercero, de investigación y evaluación, busca desarrollar conocimientos y habilidades para que se investiguen cuestiones ambientales y se evalúen soluciones alternativas; el cuarto nivel orienta el desarrollo de habilidades de acción, capacitación y aplicación para tomar medidas que mantengan en equilibrio la relación calidad de vida y calidad ambiental.

Además de lo anterior, se han abierto nuevos campos de trabajo educativo sobre lo ambiental. Así, la educación ambiental se transformó en una educación para el desarrollo sostenible (EDS), ya que según el informe de la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura - Unesco (2017, p. XXIII), tres cuartas partes de los países daban énfasis a cuestiones del desarrollo sostenible (DS) en los planes de estudio de 2005-2015, pero como un proceso técnico y de entrenamiento. Para intentar superar esta deficiencia, en el contexto internacional surgieron propuestas curriculares como la educación ambiental para el desarrollo sostenible (EADS), la educación para la sustentabilidad ambiental (EPSA), la alfabetización en sustentabilidad o la alfabetización científica y ambiental (Wals y Dillon, 2015; Parga, 2019), por citar algunas, a modo de mecanismos para asumir los compromisos del sistema escolar *para* y *en* la sustentabilidad ambiental.

Esto muestra el papel fundamental del currículo en los niveles macrocurricular (social, internacional, nacional), mesocurricular (comunidad, escuela, universidad) y microcurricular (individuo, programas, materias, contenidos). El currículo, como afirma Sacristán (1998), es un instrumento que refleja la herencia cultural, diseñado para mejorar y reconstruir la sociedad, que describe la función educativa dentro del contexto histórico-social, y por lo tanto es un proyecto de la cultura y de la sociedad que se quiere tener. Pero si se demanda una verdadera acción transformadora desde la escuela, hay que cuestionar las hegemonías inclusive del propio currículo para ir hacia uno decolonial, de justicia, como diría Paraskeva (2021).

Por ello, al incorporar los problemas de la crisis civilizatoria, como los ambientales, a los currículos de ciencias naturales en las escuelas y en los programas de formación de profesores en las universidades, se deben atender tales situaciones y no solo "observarlas". Debe tenerse en cuenta que estos problemas nos conciernen a todos, con mayor o menor responsabilidad, y considerar que si una idea se inserta en la mente colectiva, se pueden comenzar transformaciones y acciones, porque el mundo demanda cambios urgentes. Un ejemplo de esta emergencia se evidencia en las movilizaciones frente a lo ambiental, el cuidado y gestión responsable, que hoy parece más preocupación de niños y jóvenes, como Greta Thunberg, activista ambiental sueca, quien se ha manifestado frente al cambio climático, o Francisco Vera, ambientalista colombiano de 11 años, quien ante la ONU levanta su voz por la niñez, el clima y la vida. Este contexto nos lleva a pensar en la importancia de la educación como factor fundamental para asumir una conciencia pública sobre los diferentes componentes ambientales, pero, sobre todo, capacidades-competencias para actuar en dicha realidad.

Con la Conferencia de Estocolmo de 1972 (o Conferencia de Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente Humano) se traspasó la frontera física al considerar lo social y cultural. Dentro de las recomendaciones de este evento fue propuesto el Programa Internacional de Educación Ambiental, de carácter interdisciplinar, que incluye la educación formal y la no formal. Para llevarlo a cabo fue necesario incluir en la educación formal, que comprende los niveles de enseñanza infantil, básica primaria, secundaria, media y universitaria, los elementos comprensivos de los impactos y abordajes de las problemáticas

ambientales, las alternativas para afrontarlas y los mecanismos que den inicio a una transformación cultural para asumir la nueva realidad. Sin embargo, como destaca González-Gaudiano (2000), la educación ambiental en América Latina se ha desarrollado más en el terreno de la educación no formal; ha trabajado más con la población de adultos que con la infantil y ha hecho numerosos proyectos articulados con grupos indígenas y en las áreas rurales en el contexto de los enfoques de desarrollo social comunitario.

Uno de los desafíos que enfrenta la educación superior son los llamados "problemas perversos", nombre dado por Wals y Dillon (2015) a lo que entendemos como problemas ambientales, que evidentemente no tienen una solución única dada su ambigüedad, están inmersos en medio de diversos intereses y son conflictos socioambientales globales y de la sustentabilidad que han sido expuestos en distintas declaraciones internacionales, que convocan a las universidades a hacerse sustentables ambientalmente para cumplir con su responsabilidad social y moral. También se ha sugerido, en forma de indicadores, un modelo de inclusión de la dimensión ambiental (IDA) en el currículo universitario, que puede ser útil en procesos de autoevaluación y acreditación.

Otra propuesta relevante es el reconocimiento de la importancia del ámbito disciplinar de las ciencias ambientales, que establece la IDA en la enseñanza (Mora, 2007). Esto significa que se requiere la formación integral del profesorado en capacidades-competencias de lo disciplinar (lo que involucra el conocimiento en sustentabilidad ambiental), de lo ambiental y de los diversos saberes de la cultura, de lo pedagógico-didáctico (lo que incluye el conocimiento didáctico del contenido o CDC de las didácticas de las ciencias, de lo ambiental y su epistemología, de la sustentabilidad y del saber ambientalizar frente a lo que debe ser enseñado), de lo comunicacional y de la investigación y su práctica. De igual forma, es preciso el desarrollo de aptitudes y valores éticos para impulsar y liderar propuestas innovadoras y soluciones a los problemas relacionados con la educación en ciencias naturales y su lugar en la realidad bio-sociocultural regional, nacional y mundial. En el caso de la educación en ciencias naturales y de la educación química, se han planteado propuestas curriculares que responden en mayor o menor medida a estos planteamientos, y que aquí llamamos *mecanismos para ambientalizar el currículo y el contenido* (Parga y

Carvalho, 2017), entre los que se encuentran la química verde o química sustentable, química ambiental y en sustentabilidad y otras opciones que han surgido para la formación de profesores de química y que en seguida se analizan.

QUÍMICA VERDE, SUSTENTABLE Y AMBIENTAL EN LA EDUCACIÓN EN CIENCIAS

La química verde (QV) se inició en Estados Unidos con los trabajos de Paul Anastas y John Warner, y se expandió hasta ganar reconocimiento a mediados de los años noventa del siglo XX. En los primeros años, se dio una lucha para encontrar un nombre adecuado para el concepto de QV. Mientras que en este país se aceptó rápidamente la noción, gran parte de Europa se vio frustrada por el uso de la palabra "verde", pues para los químicos europeos el término se consideraba asociado con las políticas de los partidos políticos "verdes" que surgieron en la década de los ochenta. En ese momento, estos partidos estaban alineados con la izquierda política y sus políticas estaban, al principio, alejadas de todo lo relacionado con la química industrial. Así, Europa continental seleccionó la noción de química sostenible (QS) para evitar malas interpretaciones en el contexto político. En cualquier caso, hoy los dos términos (verde y sostenible) pueden significar lo mismo y usarse indistintamente (Burmeister, Rauch y Eikls, 2012), siempre que los doce principios de la química verde se consideren como principios para el DS.

Desde la publicación del libro *Green chemistry: Theory and practice*, de Anastas y Warner, en 1998, el concepto de QV, en esencia, se mantiene hasta hoy y se refiere a una síntesis que respeta el ambiente y preserva los recursos; incluye doce principios concretos que son pautas para comprender la química en la investigación y la industria en todo el mundo. El papel tanto de la química como de las industrias en DS en la sociedad (con todas sus dimensiones) debe ser considerado desde el punto de vista de la educación química; sin embargo, por la forma en que se enseña (considerando los conceptos, principalmente, y algunas de sus teorías y hechos), vemos que esto no es suficiente ni relevante para que los estudiantes tengan capacidades-competencias para enfrentar problemas y demandas socioambientales. En este sentido, se requieren enfoques multidimensionales para que la química y la ciencia sean parte de la vida, es decir, analizar sus impactos

positivos y negativos, las "visiones y percepciones de la química", como dirían Guerris *et al*. (2020), sus relaciones con la política, la economía, la sociedad, la cultura y el ambiente, es decir, promover una educación científica para el desarrollo humano sustentable (Parga, 2019; 2021). Enseñar y aprender sobre estos nuevos enfoques hace que la educación química tenga el potencial de involucrar a profesores y estudiantes en la comprensión-transformación de la realidad. Pero, como afirma John Warner en la entrevista publicada en el diario *El Tiempo* (Pardo, 2018), las universidades no han cambiado la forma de enseñar química en las últimas décadas, y aunque existan industrias y empresas que abrazan la química verde, estas no encuentran con quién desarrollarla.

Sumado a lo anterior, ni los químicos, ni los ingenieros químicos, ni los científicos de materiales (los que inventan y producen los productos que usamos) se están capacitando en química verde, diseño sustentable o toxicología (Pardo, 2018), y lo peor es que la sociedad no sabe a qué está expuesta con los productos que compra. En el contexto de las universidades, la comprensión de la química verde varía según las partes interesadas: por ejemplo, los estudiantes de los cursos de química en general y los estudiantes que se forman para ser profesores de química pueden estar aplicando sus principios, pero no los reconocen como principios de sostenibilidad, aunque incorporen sus valores en actividades de laboratorio (Hamidah *et al*., 2017).

La educación en QV tiene como objetivo integrar información sobre química verde en la educación química, llamando a la planificación de opciones adecuadas en las áreas educativas en general: desarrollo curricular, enseñanza, aprendizaje y difusión, así como sus componentes específicos, desde actividades en el aula e incluso experimentos de laboratorio y difusión de información al público. Para Braun *et al*. (2006), la implementación de la QV en el currículo de química e ingeniería es deseable y necesaria, porque la química tiene impactos sociales y ambientales y es un mecanismo para conectar lo que se enseña con la vida cotidiana de los estudiantes. Para ello, la forma de enseñar debe cambiar, por ejemplo, con enfoques multidisciplinarios e interdisciplinarios, saliendo de la zona de confort por parte de los docentes y evitando que sea una disciplina más, es decir, trabajándola como enfoque central (Parga, 2019; 2021). Además, la educación en química verde promueve la alfabetización científica

sostenible y el desarrollo de las habilidades correspondientes entre las generaciones presentes y futuras (Zuin y Mammino, 2015), si bien la alfabetización científica, como afirman Sjöström y Eilks (2018), ha pasado por varios niveles. Para Sjöström, Eilks y Zuin (2016), la QV es un nuevo campo interdisciplinario y filosófico que está permeando los dominios tradicionales y nuevos de la química disciplinar, la investigación en química, la enseñanza y las aplicaciones industriales; es un contenido filosófico de la educación química; en el contexto de la ambientalización, "es más débil que fuerte", como diría Parga (2019), ya que está desarrollada a partir de una materia (química verde), por lo que se enseñan sus principios y no se enseña desde la química verde; es también una "ambientalización táctica", usando la expresión de Macdonald (2015), es decir, se está dando un aprovechamiento de los términos para hacer creer que hay una verdadera ambientalización.

Por lo tanto, formar a los profesores de química, y estos a sus alumnos, desde una educación para la sostenibilidad ambiental o química verde, no es un interés nuevo, como afirman Burmeister, Rauch y Eikls (2012) y Rauch (2015), pues en las últimas décadas se han abordado como temas en los currículos de química a partir de propuestas como química en contexto, química y sociedad, APQUA, Salters, química en comunidad, química y sociedad, etc., referentes al enfoque ciencia, tecnología, sociedad y ambiente o CTSA, como lo señalan Parga y Mora (2016) y Parga (2019). La cuestión, en todo caso, es cómo afrontar los problemas del DS y cómo asumir diferentes aspectos y modelos, que se superponen parcialmente y pueden integrarse de diferentes maneras (Rauch, 2015); es decir, cómo desarrollar hoy, con los problemas de hoy, los estudiantes de hoy y los profesores de hoy, opciones *para y desde* una educación química en armonía (sociedad-naturaleza) para el presente y el futuro.

FORMACIÓN DE PROFESORES EN LA PERSPECTIVA DE AMBIENTALIZACIÓN

Los estudios de Karpudewan, Ismail y Mohamed (2009), Karpudewan, Ismail y Roth (2012a) y Karpudewan, Roth e Ismail (2015) afirman que los docentes en formación inicial de química lograron aprender conceptos relacionados con el ambiente, la economía y la sociedad, así como cambiar conceptos relevantes de la química para tener

valores, actitudes y motivaciones proambientales (mejor motivación intrínseca autodeterminada y valores ambientales ecocéntricos y homocéntricos). Dicho de otra manera, comenzaron a asumir un conocimiento del DS. Estos autores proponen la química verde como una nueva filosofía para la enseñanza de la química, la cual favorece que los docentes desarrollen un papel destacado en la denominada *alfabetización ambiental* y superen la formación docente para integrar la temática ambiental en el proceso de enseñanza. Sin embargo, cabe la pregunta de si esta es suficiente o adecuada para la ambientalización del contenido.

La química verde está siendo enseñada a los profesores de química. En el caso de los profesores en Malasia, se considera como una pedagogía de laboratorio, como temas para que se comprendan las diferencias entre la química verde y el enfoque tradicional, que es uno de los más contaminantes en la producción, y cómo con la química verde se reflexiona sobre la sustentabilidad a través de la enseñanza (Karpudewan, Roth e Ismail, 2015). Estos cambios en los currículos de formación docente posibilitan establecer vínculos con la vida cotidiana, siendo así la QV un enfoque para la enseñanza de las ciencias que apoya los objetivos de sustentabilidad en el planeta. En este sentido, la enseñanza de la química verde en la formación de profesores de química, y de ciencias en general, es una forma de ambientalización curricular, en concordancia con lo dicho por Parga (2015) y Sjöström, Eilks y Zuin (2016), pero queda el interrogante sobre la naturaleza de este enfoque para la educación química a partir del convivir en armonía o en los ideales de sustentabilidad ambiental y con las contradicciones que se han presentado, incluso en la historia de la química.

Aun así, esta propuesta de QV o QS debe entenderse con cuidado porque, en ocasiones, se reduce a los doce principios establecidos por Anastas y Warner; por el contrario, en la medida en que exista una relación simbiótica entre lo investigado y lo enseñado de las disciplinas, como afirman Andraos y Dicks (2012), las próximas generaciones de investigadores y profesores se formarán al graduarse y aprenderán y actuarán de acuerdo con las tendencias del momento. En el caso del concepto "verde", su significado es reducido en la literatura cuando se minimiza al uso de los doce principios, ante lo cual revistas como *Green Chemistry* han adaptado su política editorial para evitar este

sesgo; además, al revisar los doce principios en la literatura pedagógica-didáctica surgen vacíos, un ejemplo es que la cuantificación del consumo de energía y los costos en las reacciones químicas ha recibido poca atención en la investigación y la docencia; otro se da en el siguiente caso: "una reacción que tiene lugar en agua o en un líquido iónico no la hace 'verde', o porque una reacción que se inicia con una biosedimentación no la hace automáticamente 'sostenible'" (Andraos y Dicks, 2012, p. 75).

Para Sierra *et al*. (2014), la química verde se enfoca en el diseño de procesos, la preparación y uso de productos químicos con menor potencial de contaminación y menor riesgo ambiental que los tradicionales, basada en diferentes tecnologías. Por su parte, la química sostenible amplía su definición a sistemas más grandes que una sola reacción (impactando en escalas macroscópicas o ecológicas, aunque la calidad de vida se ubica en la escala microscópica o molecular), y considera un enfoque holístico en el que se involucra la aplicación de la filosofía de la química verde, los principios de la ingeniería verde y el establecimiento de un programa multidisciplinario.

Los autores mencionados consideran que el término "sostenible" es más amplio que el término "verde", idea que también defienden Sjöström, Eilks y Zuin (2016) y Böschen, Lenoir y Scheringer (2003), quienes consideran que el concepto de QS aún está en desarrollo, pero comúnmente se define como investigación química orientada a la optimización de procesos y productos químicos con respecto al consumo de energía y materiales, seguridad inherente, toxicidad y degradación ambiental. Además, debe involucrar el aspecto social de la sustentabilidad (transparencia en la investigación para los actores sociales y abordar en la investigación científica el grado de incertidumbre y desconocimiento); este criterio social de la QS no está ampliamente reconocido, por lo que es necesario, a partir de la educación química, hacer su inclusión.

Respecto a la química ambiental, es la química del medio natural y los productos químicos contaminantes en la naturaleza. Por ello, según Sierra *et al*. (2014), la química verde se responsabiliza de la "sostenibilidad ambiental" al considerar cuestiones moleculares, enfocándose principalmente en el diseño de productos y procesos químicos de bajo riesgo, el uso eficiente de materiales y energía (que impacta principalmente en la escala microscópica) y en el desarrollo de recursos

renovables. En muchos casos, es necesario "rediseñar" materiales básicos para nuestra sociedad, buscando que sean benignos para el ser humano y el ambiente, preferentemente con beneficios económicos y sociales. Este enfoque de QV es criticado por nosotros porque se basa en los principios del desarrollo sostenible y considera solo tres de sus más de seis pilares: ecológico, económico y, en algunos casos, social. Esta idea se corrobora cuando Rauch (2015) afirma que el papel central de la química y la industria química es fundamental para el DS en las sociedades modernas y sugiere un papel central de la educación química para una EDS.

MECANISMOS PARA AMBIENTALIZAR EL CONTENIDO EN LA ENSEÑANZA DE LA QUÍMICA

Burmeister, Rauch y Eilks (2012) y Rauch (2015) identificaron cuatro modelos o mecanismos relacionados con la química verde y la química sostenible: el modelo QV, el modelo basado en estrategias de sostenibilidad como contenido, el modelo que aborda los temas controvertidos del DS y las cuestiones sociocientíficas (CSC) y el modelo de educación química como parte del desarrollo escolar basado en la EDS.

- Modelo 1 o modelo de la QV. Al adoptar los principios de esta química como modelo de formación, los estudiantes de licenciatura utilizan procedimientos químicos y de laboratorio en clase con experimentos escolares a microescala y no a macroescala, trabajan con sustancias y catalizadores no peligrosos, reflexionan y comparan estas diferencias, y preguntan por qué sucede esto en la industria. Estos aspectos pueden generar mejores actitudes en el aprendizaje, los valores y el conocimiento, como lo plantean Karpudewan, Ismail y Mohamed (2009), Karpudewan, Ismail y Roth (2012a; 2012b) y Karpudewan, Roth e Ismail (2015). El modelo, tal como lo desarrolla el profesor universitario, puede provocar poca reflexión sobre la forma en que la sociedad orienta los debates en torno a las tecnologías cambiantes, como lo expresan Burmeister, Rauch y Eikls (2012), lo que impediría que los futuros profesores desarrollen habilidades para la toma de decisiones, elaboración y comprensión de la naturaleza de las interacciones ciencia-tecnología y sociedad-ambiente. Potenciar esta

reflexión hace que este modelo sea más multidimensional y poco favorecedor de una educación química transformadora (Parga, 2019).

- Modelo 2. Estrategias de sustentabilidad como contenido en la educación química. El docente universitario, que conoce la formación para el DS, define qué contenidos incluir, para lo cual involucra principios de QV y sustentabilidad y sus aplicaciones industriales, por ejemplo, en los planes de enseñanza. La fortaleza del enfoque es el aprendizaje de los principios químicos junto con los procesos y productos cotidianos, siendo una propuesta más contextual, que puede ser más significativa para los estudiantes al permitirles tener relaciones más profundas entre las interacciones CTSA y los impactos económicos, ecológicos y sociales, es decir, desde el DS tradicional. Esto no puede suceder si el profesor universitario se enfoca solo en los contenidos sustantivos de la química; así, las capacidades-competencias generadas le permitirían participar en debates sociales en los que podrían iniciarse las controversias sociocientíficas o CSC, pues los temas de sustentabilidad favorecen el contenido químico básico en el contexto adecuado; de este modo, los futuros egresados tienen acceso a los problemas de sustentabilidad ambiental.
- Modelo 3. Temas controvertidos del DS y CSC. Es un modelo que permite la interacción de las CSC con el aprendizaje de la química y favorece el debate actual sobre estas cuestiones. Su enseñanza no solo está enfocada en el aprendizaje como tema o problema de la sustentabilidad en sí mismo, sino que permite el desarrollo de capacidades-competencias más generales de la EDS como miembros de una sociedad con responsabilidad, lo cual supera el debate en torno a la sociedad y la tecnología del modelo anterior. El modelo se enfoca en aprender cómo los desarrollos en química pueden ser discutidos y evaluados en la sociedad desde las dimensiones de la sustentabilidad, y permite el aprendizaje explícito de la química y su tratamiento en la sociedad de forma multidimensional (por ejemplo, al producir y utilizar biocombustibles, medicinas, alimentos, semillas, pesticidas, vacunas). Se favorecen competencias para debatir y tomar decisiones informadas con

el fin de enfrentar eventualidades. Es una propuesta más clara en los principios de la EDS, por lo que sería más una educación *a partir* de la química que una química a *través* de la educación.

- Modelo 4. Educación química y EDS integradas. En este enfoque, la educación química tiene integrados los aspectos que promueve la EDS de la institución. Así, las clases están más abiertas al contexto institucional y local, y la institución y la enseñanza deben ser parte de la EDS para que los estudiantes tengan una vida enfocada en la sustentabilidad ambiental. De igual forma, los contenidos deben especificar sus objetivos, valores y reflexiones, para consolidar una institución como una organización que aprende, es decir, se promueve una educación química que transforma la cultura de la enseñanza tradicional, centrada en las teorías químicas *per se*, por una educación química pensada desde los problemas de la sustentabilidad.

Estos modelos pueden ser claros ejemplos de una enseñanza de la química ambientalizada, que pasa por diferentes niveles evolutivos, transiciones-regresiones o progresiones de aprendizaje, como se muestra en la figura 7.1, de una enseñanza y educación a través de la química verde a una enseñanza de la química para una educación en el desarrollo sostenible (E2Q-E2EDS).

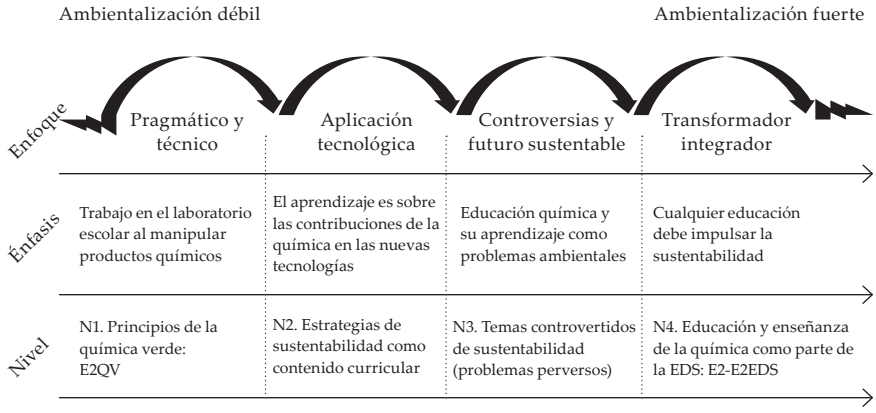


Figura 7.1. Transición de la ambientalización: de E2QV a E2Q-E2DS
Fuente: Parga (2019, p. 134).

Los modelos expuestos pueden usarse en conjunto como enfoques para la EDS, sin incluir el aprendizaje puro sobre desarrollo sostenible, porque una cosa es la educación sobre DS y otra la educación para el DS. La *educación sobre* se refiere al conocimiento y la discusión teórica (sería enfocada como una disciplina) y la *educación para* es una forma de lograr la sustentabilidad ambiental, que tiene un propósito específico. Los modelos 3 y 4 estarían más enfocados en la educación *para* la sustentabilidad ambiental (EPSA), aunque todos pueden contribuir a la educación *sobre* DS. Estos modelos, como cualquier otro, requieren de profesores universitarios formados en EDS para superar la visión academicista de la química, porque esta influye en nuestra vida, la sociedad y todos los seres materiales existentes; en otras palabras, la nueva formación docente, tanto para las universidades como para los diferentes niveles educativos, debe incluir el DS, la EDS, el desarrollo humano sustentable (DHS) y la EDHS, enfoques aún poco conocidos, como afirman Burmeister y Eilks (2014), Stratton *et al*. (2015), Macdonald (2015) y Parga (2019). Esto no quiere decir que al enseñar aspectos del DS o del DHS y su educación, por ejemplo, en cursos de formación de profesores, se logre ambientalizar el contenido, ya que dependiendo de su enfoque (interdisciplinario o monodisciplinar, multidimensional o unidimensional, holístico o fragmentado, simple o complejo, tradicional o innovador-transformador) podría o no cumplir con dicho propósito.

Macdonald (2015) considera que la EPSA se hace a través de la educación científica (entendida desde la educación para especialistas hasta la educación científica para todos) y la sustentabilidad (entendida como táctica hasta adoptarla como principio, ver tabla 7.1). Es una ambientalización *táctica* cuando el profesor cumple con un requerimiento interno o externo a la institución y evidencia, por ejemplo, el cumplimiento de indicadores de sustentabilidad que han sido elaborados por las diferentes redes ambientales o de sustentabilidad ambiental; es una ambientalización como *principio* cuando las universidades tienen una política ambiental universitaria que apoya la docencia, política que es pensada, planificada, evaluada y transformada porque se adopta como forma de vida universitaria desde todas las funciones de la universidad.

Tabla 7.1. *Características de la sostenibilidad como táctica o principio*

Sustentabilidad como táctica	Sustentabilidad como principio
Posible enfoque disciplinario.	Requiere un enfoque transdisciplinario.
Tiene una tarea con misión y objetivos específicos.	Presupone un código normativo de conductas-virtudes participativas.
A menudo implica una ubicación específica.	Representa un conjunto de valores
Puede carecer de una estrategia general.	que orientan y rigen la conducta
Aprovecha las oportunidades;	de una sociedad concreta.
puede llenar lagunas.	Promueve el desarrollo de competencias
Puede crear resultados nuevos/innovadores.	de acción y el activismo.
Enfocada en actividades discretas,	Acepta el enfoque de sistemas como
a menudo de tipo conductual.	una característica esencial.

Fuente: Macdonald (2015, p. 1341).

En este contexto, Macdonald (2015) identificó cuatro modos en la acción pedagógica didáctica: educación en ciencia y tecnología, educación en desarrollo sostenible, educación en ciencias de la sustentabilidad y educación para la sustentabilidad. Según Parga (2019), la *educación sobre* DS tiene potencial, pero la mayoría de las veces se aborda de forma táctica y pocos docentes se interesan y no saben cómo enseñarla porque no se modifica el paradigma educativo en general; el paradigma positivista en la enseñanza de las ciencias no cambia, su enfoque es disciplinar, se percibe una ciencia neutral, el enfoque moderno no dialoga con el posmoderno, lo posnormal. Las *ciencias de la sustentabilidad* buscan desarrollar especialistas en sustentabilidad pero tienen el riesgo, como ya está ocurriendo, de no ser reconocidas por el medio académico; para su abordaje se necesita del enfoque sistémico. La *educación para la sostenibilidad* ambiental es conectiva e integradora, orientada al futuro, relacional, inclusiva, participativa; los problemas están contextualizados y basados en la competencia de acción y activismo.

Por otro lado, Parga (2015) argumenta que los profesores universitarios hacen un incipiente abordaje de la química verde en los cursos de pregrado de química, lo que no les permite distinguir, relevantemente, los saberes involucrados en la enseñanza, en su conocimiento didáctico del contenido; es posible que esto se deba a la formación desestructurada en lo ambiental, o como plantean Stratton *et al*. (2015), porque se carece de una comprensión de la educación para la sostenibilidad y de la experiencia de enseñarla, es decir, un CDC aún limitado. Sobre la idea de la falta de formación, Zuin (2010)

afirma que se puede apreciar que existen pocos estudios dirigidos a la formación de profesionales en el campo de la química que se ocupen de la discusión de la paradoja presente en el discurso o eslogan de la química verde. Por ello, en los planes de enseñanza en general y, sobre todo, en los programas de las carreras que forman profesores de química (Rauch, 2015), debe reflexionarse no solo sobre la importancia de la educación y el DS, sino que también se debe apoyar el desarrollo de la identidad humana que está en interacción con el entorno, con lo individual y lo colectivo y lo que implica el llamado desarrollo sostenible para el contexto colombiano y latinoamericano.

En el libro *Worldwide trends in green chemistry education* (*Tendencias globales sobre educación en química verde*), publicado en 2015 y editado por Zuin y Mammino, se destaca que la QV ha sido ubicada en el contexto más amplio del DS, y se resaltan experiencias de enseñanza en QV con diversos enfoques para ser incluidos en los currículos de los diferentes niveles educativos. Pero, a pesar de eso, el llamado currículo verde y, por ende, la EDS, siguen siendo deficientes en las universidades, como afirman Leal Filho (2015) y Leal Filho *et al*. (2017).

El profesor universitario debe conocer y favorecer la didáctica de la química verde, pero sobre todo, y como dirían Sjöström y Malmö (2018), la didáctica de la sustentabilidad, los principios para enseñarla, los mecanismos de aprendizaje, los posibles modelos pedagógico-didácticos, las formas de evaluar, los modelos mentales de los estudiantes de pregrado, los mecanismos para desarrollar capacidades-competencias en sostenibilidad ambiental (sociocientíficas, anticipatorias, de conexión e interdependencia), así como los valores para formar ciudadanos autocumplidos, autodeterminados, críticos, con pensamiento global (Barth, 2016; Parga, 2019; Mora y Guerrero, 2022; Vare, Lausselet y Rieckmann, 2022), que utilicen enfoques multifacéticos. Para ello, debe cambiar la enseñanza occidentalizada de las ciencias y de la química, pues la forma en que se ha desarrollado en los currículos de ciencias contraviene una educación para/en/desde la armonía. En otras palabras, el profesor universitario debe transitar desde una enseñanza instrumental a una enseñanza emancipadora–transformadora, que permita formar profesores de química desde y en valores, conocimientos, actitudes y compromisos por la sustentabilidad del planeta; este desafío es imperativo para los docentes que forman licenciados o profesores, lo que

nos exige una nueva visión curricular, otra visión de la educación, e involucrar a los estudiantes y a la comunidad extendida de pares, como consideran Funtowicz y Ravetz (2000).

Las formas de entender la EDS desde la educación química se describen en la tabla 7.2; estas han evolucionado desde los enfoques curriculares CTS (Parga y Mora, 2020), como ChemCom, APQUA, Salters o Química en Comunidad, en los que ya estaba puesto el interés por lo ambiental.

Tabla 7.2. *Formas de entender la EDS a partir de la educación química*

Propuesta	Enfoque	Característica
Karpudewan *et al*. (2009)	Educación a partir de la QV.	Mejora actitudes para aprender conceptos sobre el ambiente, economía y sociedad; alfabetización ambiental.
Burmeister, Rauch y Eilks (2012)	Educación a partir de la QV y QS.	A partir de procedimientos químicos en el laboratorio (microescala); disciplinar; usa sustancias no peligrosas y catalizadores; genera mejores actitudes hacia el aprendizaje, valores, conocimientos; puede favorecer o no la reflexión sobre la química y la tecnología en la sociedad; favorece o no competencias para la toma de decisiones y compresión de la naturaleza de las interacciones CTS.
	Estrategias de la sustentabilidad como contenido.	Involucra principios de la QV y de sustentabilidad; es un aprendizaje de los principios químicos y de los procesos diarios e industriales: debate social de la tecnología; enfoque más contextual; establecimiento de las relaciones CTS y del DS; debates sociales de las CSC.
	Controversias del DS y CSC.	Interacción de las CSC con química; debate actual de las CSC; permite desarrollar competencias generales de la EDS (responsabilidad social); desarrollo de sus impactos sociales en el DS; competencias para debates multidimensionales y toma de decisiones fundamentadas; es una educación a partir de la química y no una química a partir de la educación.
	EQ como parte de la EDS.	La EQ es parte de la EDS de la institución; clases de química abiertas a lo institucional y local; se educa para una vida enfocada en la sustentabilidad; la EQ transforma la cultura de la enseñanza tradicional al ser pensada desde problemas de la sustentabilidad.
Sierra *et al*. (2014)	Enseñanza de la QV.	Enfoque holístico y multidisciplinar; es responsable de la "sustentabilidad del ambiente" a partir de lo molecular, analiza impactos benignos de las moléculas para el ser humano y el ambiente, la mayoría de las veces son los beneficios económicos y sociales.
	Educación de la QS.	El término "sustentable" es más amplio que el término "verde".
	Educación de la QA.	Sería la enseñanza de la química del ambiente natural y de los productos químicos contaminantes en la naturaleza.

Propuesta	Enfoque	Característica
Macdonald (2015)	Educación en C&T.	Es de base *disciplinar*; relaciona CTS, sin contexto; el contenido es limitado; evaluación tradicional; hay especialistas y principiantes; sustentabilidad táctica; ciencia para especialistas y como motor del cambio.
	Educación *sobre* o DS.	Trabajo temático, es *multidisciplinar*; habilidades desarrolladas; competencia de acción; relaciona aspectos históricos a la EA; evaluación alternativa; el profesor es mediador del conocimiento; sustentabilidad táctica; ciencia para todos y como motor del cambio.
	Educación en ciencias de la sustentabilidad.	Resolución de problemas, *interdisciplinar*; investigación aplicada; investigación empírica y crítica; relaciona resultados con la gobernanza; tarea, misión; sustentabilidad como principio; ciencia para especialistas; la ciencia como otras formas de conocimiento, es impulsora de cambios.
	Educación *para* la sustentabilidad.	Competencia de acción; convergencia, *transdisciplinar*; trabajo colaborativo; el activismo es indicador del aprendizaje; enfoque de sistemas; la sustentabilidad como principio; ciencia para todos, es como otras formas de conocimiento, es impulsora de cambios.
Parga (2015b)	Educación de la QV o QS.	Planeación de los productos y procesos químicos para reducir o eliminar el uso y generación de sustancias peligrosas. Esta fue la primera definición en la década de los noventa. Su enseñanza se compromete con cumplir esta idea y los doce principios o "reglas" que ayudan a los químicos a cumplir el objetivo intencional de la sustentabilidad a nivel molecular.
	Educación químico ambiental (QA).	Consiste en abordar la enseñanza de la química a partir de problemas químicos que afectan a la sociedad, la vida humana. Este enfoque trabaja más aspectos ecológicos o la relación sociedad-naturaleza como, por ejemplo, la contaminación del agua a nivel químico cuando es afectada la vida de los peces, la proporción de oxígeno, etc.
	Educación *para* la sustentabilidad ambiental.	Comprende la perspectiva de la química verde, la química ambiental y los principios de la ambientalización en el currículo: dimensiones científico-tecnológica, social, económica, política, cultural, ética, estética, espiritual.
Feldman y Nation (2015)	Enseñanza aprendizaje de contenido científico.	Los temas de sustentabilidad son adicionados demás en las disciplinas de las ciencias; son para motivar y contextualizar, para la aplicabilidad de los conceptos; para hacer interesante el contenido; además de eso son usados temas de justicia social para la sustentabilidad en las clases de ciencias y de química; son explorados los tres pilares del DS.
	Enfoque de la sustentabilidad.	El objetivo principal es la enseñanza y aprendizaje en sustentabilidad o educación para la sustentabilidad; tiene igual peso lo político, social, científico y económico de las cuestiones ambientales.

Propuesta	Enfoque	Característica
Mascarrel y Vilches (2016)	Química para la sustentabilidad a partir de QV.	La QV continúa investigando sobre prevención, economía atómica, reducción en el uso de sustancias auxiliares, diminución en el consumo energético, en el uso de materias primas renovables, evitar derivaciones, desarrollo de metodologías analíticas en el monitoreo en tiempo real; estos aspectos se deben incorporar en la formación de profesores y favorecer la educación para la ciudadanía y la construcción de un presente y un futuro sustentable.

Fuente: Parga (2019, p. 137).

En complemento de lo anterior, autores como Tilbury (2011) han contribuido en la comprensión de las formas de educación para el DS, al analizar más de 200 artículos en esta perspectiva, en tanto que la Unesco (2012), en el informe sobre EDS, describe cómo se está acometiendo esta educación y sus formas de aprendizaje (tabla 7.3), necesarias para interactuar con los enfoques curriculares de la química.

Tabla 7.3. *Perspectivas de aprendizaje a partir de la EDS*

Propuestas	Formas de comprensión	Características
Aprendizajes y procesos de la EDS (Tilbury, 2011)	Seis formas de aprender a partir de la EDS.	Aprender a: formular preguntas críticas; esclarecer los propios valores; plantearse futuros más positivos y sustentable; pensar de modo sistémico; responder por medio de aprendizajes aplicados; y estudiar la dialéctica entre tradición e innovación.
	Cuatro procesos centrales en las prácticas de la EDS.	Los de colaboración y diálogo (incluido lo intercultural y entre grupos interesados); los que implican al sistema en su conjunto; los que innovan en aspectos relacionados con planes de enseñanza, experiencias docentes y aprendizajes en procesos de aprendizaje activo y participativo.
Formas de aprendizajes en la DEDS y de entender la EDS (Unesco, 2012)	Nueve formas de aprender a partir de la EDS.	Aprendizaje por *descubrimiento,* al interactuar con aspectos desconocidos; por *transmisión,* dado por la enseñanza magistral; *participativo colaborativo,* colaboración y participación activa al resolver problemas; *basados en problemas*, reales o simulados; *disciplinar,* para entender sus principios; *interdisciplinar,* para entender problemas a partir de varias perspectivas; *social con diversos interlocutores,* en donde participan varios actores sociales, considerando el pensamiento crítico (presuposiciones y valores de la existencia), a partir del pensamiento sistémico (nexos, relaciones de interdependencia).

Propuestas	Formas de comprensión	Características
Formas de aprendizajes en la DEDS y de entender la EDS (Unesco, 2012)	Cuatro formas de entender la EDS en el mundo.	*Integrada*: al considerar lo ecológico, lo ambiental, económico y sociocultural; lo local, regional e mundial; en el pasado, presente y futuro; *crítica*: porque cuestiona los modelos hegemónicos insustentables, el consumo y los estilos de vida inadecuados; *transformadora*: que comienza con la toma de consciencia de los cambios y transformaciones para la responsabilidad y capacitación en los estilos de vida; *contextual*: al reconocer que no existe una forma única de vivir la diversidad de personas y tiempos.

Fuente: Parga (2019, p. 138).

De acuerdo con lo anterior, los modelos curriculares en general, para ambientalizar los contenidos, están siendo abordados desde una educación y *enseñanza tradicional, contextual y sociocientífica:*

- La *enseñanza tradicional* se enfoca en la estructura de la disciplina (química), la historia de la ciencia y la imitación del trabajo de los científicos, abordando temas ambientales con un enfoque ecológico.
- La *enseñanza contextual*, originada en la década de los ochenta, se centra en el aprendizaje de conceptos y procesos de la ciencia como objetivo principal, pero incorpora contextos disciplinarios, cotidianos y metadisciplinares: social, tecnológico, ecológico, etc. (Parga y Piñeros, 2018), para dar sentido y aplicación a los conceptos científicos.
- En la *enseñanza sociocientífica* se impulsa la EDS (en Europa y Estados Unidos), buscando educar en conceptos y principios de la ciencia para las competencias educativas en general, y se promueve la educación para la sustentabilidad ambiental (en América Latina) para transformar y emancipar. Con este fin, se enseña y se educa desde los denominados problemas perversos —en términos de Wals y Dillon (2015)—, cuestiones sociocientíficas (Bencze, 2017; Herman, *et al*. 2018; Parga, 2019; Bencze *et al*., 2020), y controversias socialmente vivas o agudas (CSV) de la vida cotidiana y de la sociedad, que son relevantes, auténticas y controvertidas (Levinson, 2017; Parga, 2019).

Estos tres grandes enfoques curriculares coinciden con lo señalado por Burmeister, Rauch y Eikls (2012), Burmeister y Eilks (2014), Goes *et al*. (2014) y Parga (2019), quienes los consideran como formas de abordar la EDS, la educación en QV y la educación para la sustentabilidad ambiental; por tanto, son mecanismos de ambientalización del contenido que pueden manifestarse en diferentes niveles de desarrollo de los docentes al momento de enseñar química y ciencias (Parga, 2015; 2019; 2021).

A manera de síntesis: una educación para la sustentabilidad ambiental

Para tener una educación química ambiental más allá de la educación sobre/para/en EDS, en QV, o una educación para el desarrollo humano sostenible, es necesario lograr una educación para vivir en armonía, o educación para la sustentabilidad ambiental, que se caracteriza por ser sistémica, compleja y constructivista, y que demanda un enfoque curricular crítico antes que un currículo transitorio o práctico (tabla 7.4).

Tabla 7.4. *Evolución de enfoques del currículo*

Enfoque	Técnico	Práctico	Transicional	Crítico	Decolonial
Algunos representantes	F. Bobbit, R. Tyler.	Schwab.	Lawrence Stenhouse.	W. Carr, S. Kemmis.	J. Torres B. de Sousa Santos, Barbosa de Oliveira, Paraskeva.
Finalidad educativa	Instruir, capacitar, informar, controlar.	Comprender la realidad del aula, mejorar la enseñanza; orientar para la acción.	Solucionar problemas y mejorar las interacciones educativas y sociales.	Transformación y emancipación.	Justicia de minorías, oprimidos, excluidos, reconstrucción social.
Enfoque teórico	Teoría educativa filosófica.	Positivismo.	Interpretativa.	Crítico, emancipador, social.	Diálogo de saberes (DS), transdisciplinar, epistemologías otras, educaciones emergentes.

Enfoque	Técnico	Práctico	Transicional	Crítico	Decolonial
Rol del estudiante	Pasivo, memoriza, acrítico, dependiente, no creativo.	Heterogéneo, sujeto activo del aprendizaje.	Curioso, crítico, reflexivo, inconformista, sensible al conocimiento.	Aprende de su realidad, delibera, es inconforme con la realidad social, comprometido con la transformación.	Se forma para resolver los problemas actuales del mundo, para la incertidumbre, para la ciudadanía asociada con la participación, el empoderamiento y complejidad del mundo.
Rol del profesor	Mecanicista, transmisor, repetido, acrítico, autoridad, controlador. Hace funcionar el currículo que otros proponen.	Activo, delibera, reflexiona, decide, se equivoca y mejora; busca el aprendizaje; hace investigación-acción (I-A).	Es reflexivo para concientizarse del proceso; efectúa e investiga el currículo; es idóneo, mantiene la unidad teoría-práctica.	Único investigador de su práctica a partir de la investigación acción (I-A); aprende de su realidad; acción, reflexión, teoría y práctica son unidad; crítico, analítico, transformador.	Es un resolutor de los problemas sociales que son problemas fundamentales.
Método/ procedimiento	Inductivo e deductivo.	Deliberativo, interdisciplinar.	Depende del contenido; investigativo cualitativo.	Crítica ideológica.	Participativo.
Fuente de los contenidos	Los propios objetivos.	Las propias disciplinas.	Núcleos temáticos y problemáticos.	Realidad social.	El mundo (local y global) y sus problemas.
¿Qué es la enseñanza/ aprendizaje?	Enfocado en objetivos comportamientos y contenidos predeterminados.	Es un proceso explicativo y de diálogo para construir significados.	Reconoce estructuras cognitivas antes que la verdad para construir conocimientos.	Son dualidad, es un proceso continuo para tomar decisiones entre profesor-alumno para emancipar.	Es la complejidad y sistemismo desde lo transdisciplinar y DS.
Papel del currículo	Desarrollar objetivos y planteamientos teóricos; interesado en el producto.	Es cualitativo, interés por enseñar-aprender construyendo significados conjuntos.	Facilita el conocimiento de las acciones educativas.	Emanciparse es lograr autonomía, responsabilidad, autorreflexión; es transformar.	Es de DS para problematizar y superar exclusiones, dominación vigentes en la sociedad, epistemicidios.

Enfoque	Técnico	Práctico	Transicional	Crítico	Decolonial
¿Qué es el currículo?	Plan de instrucción para el aprendizaje, su planificación es importante.	Espacio de interacción humana y ética.	Es un puente entre la teoría, la realidad y la práctica; es diseño y proceso en construcción e investigación.	Es una construcción conjunta entre docente y alumno a partir de la praxis; proceso de interacciones en el que se planifica, actúa y reflexiona desde la I-A.	Es una co-construcción comunal, válida, pertinente y estratégica, holística, sistémica, contextual, decolonial e incluyente.

Fuente: Adaptada de Parga (2019, p. 139).

Con el objetivo de lograr esta educación para la sustentabilidad ambiental, o ambientalización fuerte (figura 7.2), es necesario trabajar por una educación en ciencias emergente.

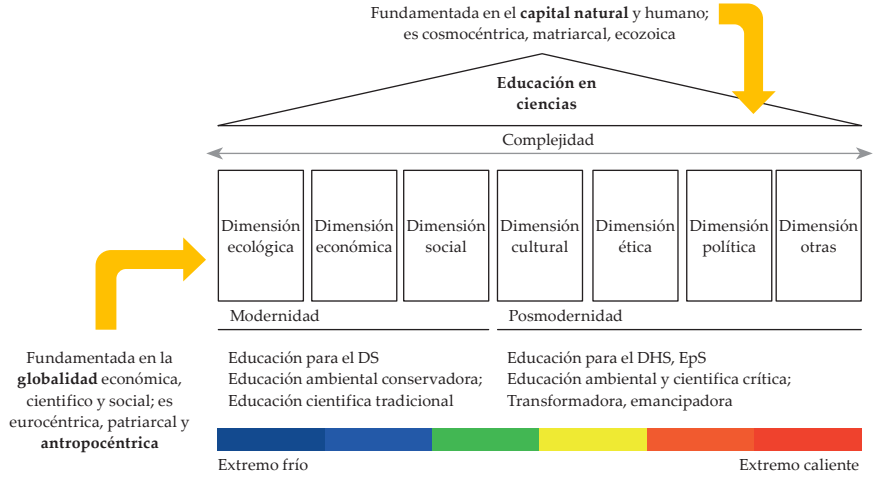


Figura 7.2. Principios de una educación en ciencias para la sustentabilidad ambiental
Fuente: Parga (2019, p. 81).

Con base en lo planteado y para lograr los objetivos de la educación en ciencias para la sustentabilidad ambiental, es necesario emprender acciones como las siguientes:

- Promover una educación holística e interdisciplinar que integre los problemas socioambientales en el currículo de formación de los profesores de ciencias y de química, y no desarrollarse simplemente como un tema de más. Si bien lo deseable sería una visión transdisciplinar y de diálogo de saberes, esto aplicaría

más para la educación ambiental antes para que la educación en ciencias ambientalizada. La educación holística es inclusiva y multifacética porque aborda interconexiones, se aleja de la visión occidentalizada para ir hacia una visión dialógica, que supera nuestras formas de enseñar reducidas, académicas, fragmentadas y librescas al optar por formas que interactúan con el mundo real y basarse en sus problemas-oportunidades. Lo holístico también significa caracterizar las concepciones alternativas y los errores conceptuales del profesorado sobre DS, sustentabilidad ambiental e incluso sobre el CDC del profesorado (cómo planifica, cómo enseña, qué reflexiona). Se trata de trabajar con otras epistemologías (ambiental, filosofía de la ecojusticia —fusión de la justifica social y ambiental—) y enfatizar en las conexiones físicas, espirituales y emocionales (Parga, 2019) entre el ambiente y el grupo social que reside.

- Impulsar valores y principios éticos, ya que estos deben ser aceptados como guías de la educación química y de la educación científica para vivir en armonía.
- Fomentar el pensamiento crítico y la resolución de problemas, porque para abordar y comprender los problemas, dilemas y desafíos actuales se requieren estas habilidades, que serían básicas. Aprender a conocer, aprender a ser, aprender a hacer, aprender a vivir juntos, como lo plantea la Unesco (1997), y aprender a transformar y transformar la sociedad, logran la *militancia*, que es parte fundamental del pensamiento crítico, el cual apuesta por actuar *en* y *sobre* el contexto; este tipo de pensamiento invita a superar la dicotomía sujeto-objeto y favorece la unión teórico-práctica.
- Permitir que la toma de decisiones sea democrática, deseando la democracia socio-ecológica, como sugiere Boff (2013), para que los estudiantes tengan la oportunidad de participar en las decisiones y aprender cómo deben ser hechas.
- Centrarse en la aplicabilidad y el aprendizaje situado; el aprendizaje debe integrarse al contexto cotidiano de la vida personal y profesional, ya que se aprende desde el lugar, e ir más allá para que sea transformador. Esto permite lograr relevancia local, porque la enseñanza abordaría cuestiones globales y locales. Lo situado y lo local permiten conocer la historia de la

comunidad, sus tradiciones, cultura, economía, idiomas, arte, creencias, por lo que el *lugar* es central para la sustentabilidad, al dar seguridad (por conocerlo), paz y alegría, por ser, más que un territorio físico, también psicológico y emocional. Lo situado y aplicable le permite a la tecnología ser una mediadora para conectarse con el mundo, trabajar desde la ciencia ciudadana para las ciudadanías científica-ambiental-tecnológica. Se trata de trabajar desde los desafíos locales en conexión con otros actores.

- Conformar comunidades de aprendizaje (docentes, estudiantes, comunidad extendida de pares) que identifiquen las diferentes opciones de acción, intervención, reflexión individual y colectiva para tomar decisiones en conjunto, y que favorecen la visión sistémica y sus conexiones, porque se identifican y analizan las dimensiones presentes en los problemas actuales y su complejidad para resolverlos. Esta visión lleva a comprender que la educación es un momento del cosmos, de la vida y de la conciencia, porque somos parte de un horizonte sistémico en el que todos y todo somos eco-dependientes, como diría Boff (2013).
- Superar la idea de la formación correctiva y preventiva para dar lugar a una educación que transforme y erradique el origen de la crisis.

Todos estos aspectos serían parte de los marcos conceptuales (epistémicos, filosóficos, didácticos y pedagógicos) necesarios para disminuir los analfabetismos actuales (ambiental, científico, tecnológico), si bien la educación científica se ha centrado en la alfabetización científica y hoy se le reclama centrarse en favorecer la alfabetización en sustentabilidad. Para educar en sustentabilidad ambiental no basta conocer sus principios (sustentabilidad compleja, sistémica, dialógica, constructivista, holística), ni sus definiciones, pues estas aún son vagas. Los docentes requerimos nuevas capacidades-competencias para analizar nuestro conocimiento didáctico del contenido ambientalizado (si lo está o no). Esto demanda conocer de forma profunda el contenido, conocer los mecanismos y enfoques de la EPSA, las concepciones propias y las de los estudiantes, reconocernos como ciudadanos y asumir nuestras responsabilidades. La ambientalización es una nueva realidad didáctica para abordar

asuntos sociocientíficos y socioambientales que nos lleven a nosotros, nuestros estudiantes y comunidad, a enfrentar los problemas inciertos y complejos, y este enfrentamiento no es solo para enseñar, es para educar, transformar la realidad y ayudar a resolver los problemas mismos. Así pues, en la formación de profesores dialogan nuevas didácticas: la de las ciencias para el siglo XXI y la de la sustentabilidad ambiental.

REFERENCIAS

Andraos, J. y Dicks, A. P. (2012). Green chemistry teaching in higher education: a review of effective practices. *Chemistry Education Research and Practice, 13*, 69-79. doi: 10.1039/c1rp90065j

Barth, M. (2016). Teaching and learning in sustainability science. En H. Heinrichs, P. Martens, G. Michelsen y A. Wiek (Eds.), *Sustainability science: an introduction* (pp. 325-333). Springer Dordrecht Heidelberg.

Bencze, L. (2017). *Science and technology education promoting wellbeing for individuals, societies and environments. STEPWISE*. Springer. doi: 10.1007/978-3-319-55505-8

Bencze, L., Pouliot, Ch., Pedretti, E., Simonneaux, L., Simonneaux, J. y Zeidler, D. (2020). SAQ, SSI and STSE education: defending and extending "science-in-context". *Cultural Studies of Science Education, 15,* 825-851. https://doi.org/10.1007/s11422-019-09962-7

Boff, L. (2013). *La sostenibilidad. Qué es y qué no es.* Editorial Sal Terrae, Grupo de Comunicación Loyola.

Böschen, S., Lenoir, D. y Scheringer, M. (2003). Sustainable chemistry: starting point and prospects. *The Science of Science-Naturwissenschaften, 90*(3), 93-102. doi: 10.1007/s00114-002-0397-9

Braun, B., Charney R., Clarens, A., Farrugia, J., Kitchens, Ch., Lisowski, C., Naistat, D. y O'Neil, A. (2006). Completing our education: green chemistry in the curriculum. *Journal of Chemical Education, 83*(8), 1126-1129. https://doi.org/10.1021/ed083p1126

Burmeister, M. y Eilks, I. (2014). Issues of sustainable development and green chemistry for innovating secondary chemistry teacher education. En C. Constantinou, N. Papadouris y A. Hadjigeorgiou (Eds.), *The ESERA 2013 Conference: strand 2. Learning science: cognitive, affective and social aspects. Nicosia, Chipre* (pp. 438-445). European Science Education Research Association (ESERA). https://www.esera.org/esera-2013/

Burmeister, M., Rauch, F. y Eilks, I. (2012). Education for sustainable development (ESD) and chemistry education. *Chemical Education Research and Practice, 13*, 59-68.

Feldman, A. y Nation, M. (2015). Theorizing sustainability: an introduction to science teacher education for sustainability. En S. K. Stratton, R. Hagevik, A. Feldman y M. Bloom (Eds.), *Educating science teachers for sustainability* (pp. 3-16). Springer International Publishing AG.

Funtowicz, S. y Ravetz, J. (2000). *La ciencia posnormal*. Icaria Editorial S. A.

Goes, L. F., Leal, S. E., Corio, P. y Fernandes, C. (2014). Pedagogical content knowledge aspects of green chemistry of organic chemistry university teachers. En C. Constantinou, N. Papadouris y A. Hadjigeorgiou (Eds.), *The ESERA 2013 Conference. Strand 14, In-service science teacher education, continued professional development. Nicosia, Chipre* (pp. 289-299). European Science Education Research Association - ESERA. https://www.esera.org/esera-2013/

González-Gaudiano, E. (2000). Discursos ambientalistas y discursos de la educación ambiental en América Latina. En Congreso Iberoamericano de Educación Ambiental, MARNR – PNUMA, *Memorias, 3* (pp. 1-6). MARNR – PNUMA.

Guerris, M., Cuadros, J., González-Sabaté, l. y Serrano, V. (2020). Describing the public perception of chemistry on twitter. *Chemistry Education Research and Practice, 2*, 1-12. doi: 10.1039/C9RP00282K

Hamidah, N., Prabawati, S. Y., Fajriati, I. y Eilks I. (2017). Incorporating sustainability in higher chemistry education in Indonesia through green chemistry: inspirations by inquiring the practice in a German university. *International Journal of Physics and Chemistry Education: IJPCE, 9*(1), 1-7. https://doi.org/10.12973/ijpce/79220.

Herman, B. C., Sadler, T. D., Zeidler, S. D. y Newton, M. H. (2018). A socioscientific issues approach to environmental education. En G. Reis y J. Scott (Eds.), *International perspectives on the theory and practice of environmental education: a reader* (pp. 145-162). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-319-67732-3

Instituto de Hidrología Meteorología y Estudios Ambientales (Ideam). (2010). *Estrategia nacional de educación, formación y sensibilización de públicos sobre cambio climático.* Andina de Impresos S. A.

Karpudewan, M., Ismail, Z. y Mohamed, N. (2009). The integration of green chemistry experiments with sustainable development concepts in pre-service teachers' curriculum: Experiences from Malaysia. *International Journal of Sustainability in Higher Education, 10*(2), 118-135.

Karpudewan, M., Ismail, Z. y Roth, W. M. (2012a). Ensuring sustainability of tomorrow through green chemistry integrated with sustainable development concepts (SDCs). *Chemistry Education Research Practice, 13*, 120-127. https://doi.org/10.1039/C1RP90066H

Karpudewan, M., Ismail, Z. y Roth, W. M. (2012b). The efficacy of a green chemistry laboratory-based pedagogy: changes in environmental values of Malaysia pre-service teachers. *International Journal of Science and Mathematics Education, 10*(3), 497-529.

Karpudewan, M., Roth, W. M. y Ismail, Z. (2015). Education in green chemistry: incorporating green chemistry into chemistry teaching methods courses at the Universiti Sains Malaysia. En V. Zuin y L. Mammino (Eds.), *Worldwide trends in green chemistry education* (pp. 248-265). Royal Society oh Chemistry. doi 10.1039/9781782621942-FP005

Klein, E. S. y Merritt, E. (1994). Environmental education as a model for constructivist teaching. *Journal of Environmental Education, 25*(3), 14-21. https://doi.org/10.1080/00958964.1994.9941953

Leal Filho, W. (2015). *Transformative approaches to sustainable development at universities. Working across disciplines*. Springer International Publishing. doi: 10.1007/978-3-319-08837-2

Leal Filho, W. Azeitero, U. M., Alves, F. y Molthan, P. (Eds.). (2017). *Handbook of theory and practice of sustainable development in higher education.* World Sustainability Series, 4. Springer International Publisher. doi 10.1007/978-3-319-47877-7_32

Levinson, R. (2017). SAQs as a socio-political programme: some challenges and opportunities. *Sisyphus-Journal of Education, 5*(2), 25-39.

Macdonald, A. (2015). Sustainability and science education: modes of pedagogic practice. En M. Achiam y G. Carvalho (Eds.), *The ESERA 2015 Conference. Part 9, Strand 9, environmental, health and outdoor science education. Helsinki, Finland* (pp. 1338-1349). European Science Education Research Association - *ESERA.* https://www.esera.org/esera-2015/

Mascarrel, L. y Vilches, A. (2016). Química para la sostenibilidad en la formación del profesorado. *Indagatio Didactica, 8*(1), 15-29. https://doi.org/10.34624/id.v8i1.3064

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS). (2012). *Agenda 21, Colombia 20 años siguiendo la Agenda 21.* MADS.

Ministerio de Medio Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (MAVDT) y Ministerio de Educación Nacional (MEN). (2003). *Educación ambiental. Política Nacional.* Fotofolio América Limitada.

Mora, P. W. y Guerrero, G. (2022). Las competencias ambientales clave en las actividades docentes del profesorado de ciencias. *Tecné, Episteme y Didaxis: TED, 51,* 299-316.

Mora, W. M. (2007). Respuesta de la universidad a los problemas socio ambientales: la ambientalización del currículo en la educación superior. *Investigación en la Escuela, 63*, 65-76.

Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (Unesco). (1997). *La educación encierra un tesoro: informe a la Unesco de la comisión internacional sobre la educación para el siglo XXI.* Unesco.

Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (Unesco). (2012). *Forjar la educación del mañana. Decenio de las naciones unidas de la educación para el desarrollo sostenible - Informe 2012*. Unesco.

Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (Unesco). (2017). *Informe de seguimiento de la educación en el mundo 2016. La educación al servicio de los pueblos y el planeta: creación de futuros sostenibles para todos.* Ediciones Unesco.

Paraskeva, J. M. (2021). *Conflicts in curriculum theory. Challenging hegemonic epistemologies.* Palgrave Macmillan. https://doi.org/10.1007/978-3-030-77420-2

Pardo, K. T. (2018). La química verde, la ciencia que busca que los productos sean seguros. *El Tiempo,* 21 de septiembre. https://www.eltiempo.com/vida/medio-ambiente/john-warner-habla-sobre-la-quimica-verde-y-el-rol-de-las-universidades-en-crear-mejores-productos-271702

Parga, D. L. (2015). Conhecimento didático do conteúdo sobre a química verde: o caso dos professores universitários de química. *Tecné, Episteme y Didaxis: TED, 38*, 167-182. https://doi.org/10.17227/01203916.3793

Parga, D. L. (2019). *Conhecimento didático do conteúdo ambientalizado na formação inicial do professor de química na Colômbia*. (Tesis de doctorado en Educação para a Ciência). Universidade Estadual Paulista (UNESP), Júlio de Mesquita Filho, Bauru/SP. http://hdl.handle.net/11449/190931

Parga, D. L. (2021). *Desafios atuais da educação química e da formação de professores: pesquisas sobre ambientalização do conteúdo.* Universidad Pedagógica Nacional. https://doi.org/10.17227/td.2021.8186

Parga, D. L. y Carvalho, W. L. P. (2017). Ambientalização curricular na formação de professores de química. *Enseñanza de las Ciencias, Número Extra, X Congreso Internacional sobre Investigación en Didáctica de las Ciencias. Sevilla, España,* 5631-5635. https://ddd.uab.cat/record/182701

Parga, D. L. y Mora, W. M. (2016). Didáctica ambiental y conocimiento didáctico del contenido en química. *Indagatio Didactica, Aveiro, 8*(1), 777-792. http://revistas.ua.pt/index.php/ID/issue/view/283

Parga, D. L. y Mora, W. M. (2020). Educación CTS en Colombia: un balance de 20 años. *Boletín de la AIA-CTS, edición especial, 12,* 120-125.

Parga, D. L. y Piñeros, G. Y. (2018). Enseñanza de la química desde contenidos contextualizados. *Educación Química, 29*(1), 55-64. http://dx.doi.org/10.22201/fq.18708404e.2018.1.63683

Rauch, F. (2015). Education for sustainable development and chemistry education. En V. Zuin y L. Mammino (Eds.), *Worldwide trends in green chemistry education* (pp.16-26). The Royal Society of Chemistry. doi: 10.1039/9781782621942-FP005.

Sacristán, J. G. (1998). *El curriculum: una reflexión sobre la práctica.* Ediciones Morata.

Sierra, A., Meléndez, L., Ramírez-Monroy, A. y Arroyo, M. (2014). La química verde y el desarrollo sustentable. *RIDE: Revista Iberoamericana para la Investigación y el Desarrollo Educativo, 5*(9), 1-16. https://www.redalyc.org/pdf/4981/498150317001.pdf

Sjöström, J. y Eilks, I. (2018). Reconsidering different visions of scientific literacy and science education based on the concept of Bildung. En Y. J. Dori, Z. R. Mevarech y D. R. Baker (Eds.), *Cognition, metacognition, and culture in STEM education* (pp. 65-88). Series Innovations in Science Education and Technology, 24. Springer International Publishing.

Sjöström, J. y Malmö, C. R. (2018). Towards transdisciplinary didaktik – Didactic modelling of complex controversial issues teaching for reflexive Bildung and sustainability. En I. Eilks, S. Markic y B. Ralle (Eds.), *Building bridges across disciplines* (pp. 3-16). Shaker.

Sjöström, J., Eilks, I. y Zuin, V. (2016). Towards eco-reflexive science education: a critical reflection about educational implications of green chemistry. *Science & Education, 25,* 321-341. doi 10.1007/s11191-016-9818-6

Stratton, S. K., Hagevik, R., Feldman, A. y Bloom, M. (Eds.). (2015). *Educating science teachers for sustainability*. Springer International Publishing AG.

Tilbury, D. (2011). *Assessing ESD experiences during the DESD: an expert review on processes and learning for ESD.* Unesco. http://unesdoc.unesco.org/images/0019/001914/191442e.pdf

Vare, P., Lausselet, N. y Rieckmann, M. (Eds.). (2022). *Competences in education for sustainable development. Critical Perspectives.* Springer.

Wals, A. y Dillon, J. (2015). Foreword. En S. K. Stratton, R. Hagevik, A. Feldman y M. Bloom (Eds.), *Educating science teachers for sustainability. Switzerland* (pp. v-vii). Springer International Publishing AG.

Zuin, V. G. (2010). *A inserção da dimensão ambiental na formação inicial de professoras/es de química: um estudo de caso.* (Tesis de doctorado). Universidade de São Paulo, São Paulo.

Zuin, V. y Mammino, L. (2015). Preface. En V. Zuin y L. Mammino, *Worldwide trends in green chemistry education* (pp. vii-viii). The Royal Society of Chemistry. doi 10.1039/9781782621942-FP005

Capítulo 8. La educación ambiental en la escuela. Aportes desde el conocimiento del profesor

Jenny Johanna Duarte Díaz
Secretaría de Educación Distrital de Bogotá

Édgar Orlay Valbuena Ussa
Universidad Pedagógica Nacional

INTRODUCCIÓN

En la actualidad, uno de los retos de la educación es integrar y fortalecer la educación ambiental (EA) en todos los niveles de formación, y para solventarlo han surgido diferentes políticas que incluyen la presencia de la dimensión ambiental y la formación en EA en la escuela. Aunque se han adelantado continuos procesos de investigación en este campo, y a pesar del importante rol que desempeñan los profesores de todas las disciplinas en los procesos de enseñanza en general, raras veces se tiene en cuenta su conocimiento en el ámbito de la EA, y en general las instituciones escolares han delegado su abordaje a los profesores con asignación académica en el área curricular de ciencias naturales.

Consideramos que una estrategia particular para el abordaje de la EA en la escuela es la caracterización del conocimiento didáctico del contenido (CDC), para lo que resulta clave hacer un proceso comprensivo del desarrollo conceptual e histórico de la EA. En este sentido, en Duarte (2020) se ha planteado la siguiente pregunta: ¿por qué es importante la educación ambiental? En su abordaje, se hizo necesario desarrollar un compilado de rasgos epistemológicos que transcienden de acepciones personales, permitiendo delimitar aspectos que estudian el conocimiento particular de la EA. Consideramos que la EA, desde el punto de vista epistemológico, corresponde a un campo emergente en construcción, resultado de transformaciones que han conducido a generar diversidad de pensamientos y acciones en distintos contextos (principalmente académicos y políticos), por lo que existe una heterogeneidad de concepciones propias de diferentes dimensiones: sociopolítica, ambiental, naturalista, humana, ética o pedagógica (Duarte y Valbuena, 2017). Para dar respuesta a la pregunta, también planteamos que en la enseñanza de la EA y la forma de producción de su conocimiento necesariamente tiene que considerarse el rol del profesor, por lo que se hace necesario entender ¿qué caracteriza la práctica de la educación ambiental desde el propio conocimiento del profesor? Así, es necesario retomar la teoría del conocimiento didáctico del contenido y su influencia en la EA, teoría que ha sido abordada en diferentes contextos, aportando al campo de la enseñanza en varias disciplinas, y que en lo que respecta a la EA ha resultado ser novedosa y pertinente.

En torno al conocimiento didáctico del contenido se han propuesto diversidad de trabajos. Algunos muy importantes, que vale la pena mencionar porque presentan desarrollos respecto a la estructura del conocimiento, son los de Shulman (1987), Grossman (1990), y Magnusson, Krajcik y Borko (1999), quienes se han enfocado en describir su composición. Pero también han surgido investigaciones dirigidas a la naturaleza del conocimiento, como las de Elbaz (1983), Connelly y Clandinin (1988), Schön (1983) y Tardif (2004), en las que se ha propuesto el conocimiento como práctico, teórico y reflexivo.

Es innegable reconocer que el principal representante de la investigación del conocimiento profesional del profesor, que antecede al conocimiento didáctico del contenido, fue Shulman (1986), quien desde la idea de la reivindicación del estatus de la profesión

docente planteó la necesidad de identificar los diferentes tipos de conocimientos, estableciendo categorías. Sin embargo, Shulman no fue el único autor que ha aportado a este campo; por la misma época, Bromme (1988) examinó "los procesos y estructuras del tratamiento de información por los profesores en relación con su trabajo de clase y preparación de la misma" (p. 22), deduciendo que los conocimientos de los docentes no están limitados a la disciplina de su formación. Por su parte, Grossman (1990), profundizó en el conocimiento pedagógico del contenido, reconociendo además la importancia de los conocimientos de la disciplina específica que se enseña, de la pedagogía y del contexto.

Cabe señalar que en el ámbito anglosajón no se hace referencia al CDC sino al conocimiento pedagógico del contenido (*pedagogical content knowledge*-PCK). Al respecto, en las modelizaciones desarrolladas por distintos investigadores se representa el conocimiento del profesor constituido por diversos componentes, principalmente conocimiento pedagógico general, contextual, de la disciplina que se enseña —*subject matter*— y PCK (Shulman, 1986, 1987; Grossman, 1990; Carlsen 1999; Magnusson, Krajcik y Borko, 1999; Abell, 2007; Park y Oliver, 2008; Berry, Friedrichesen y Loughran, 2015; entre otros). En dichos modelos se asigna una importancia preponderante al PCK, representándole como componente central con el cual se relacionan los otros constituyentes. Al respecto, Gess-Newsome y Lederman (1999), a partir de la revisión de diferentes modelos del conocimiento del profesor, propuso los enfoques integrador y transformador del PCK; en el integrador se entiende que los conocimientos de la materia que se enseña, pedagógico y contextual, son interdependientes y en la integración configuran el PCK; en contraste, en el otro enfoque se entiende que el profesor posee conocimientos contextuales y pedagógicos de la materia que se enseña, los cuales coexisten y en la práctica son transformados en un conocimiento particular: el PCK.

De forma más reciente, en la línea de los aportes al conocimiento pedagógico del contenido, en el año 2015 se publicó el resultado de discusiones realizadas en el 2012, en la denominada "Cumbre para la reflexión sobre las aportaciones y debilidades del conocimiento didáctico del contenido en los diferentes ámbitos", resaltando que esta propuesta se planteaba como una construcción útil para mejorar la preparación de los profesores. Sin embargo, las dificultades estaban

dadas en la poca homogenización de su aplicabilidad y la amplitud de concepciones frente a los distintos componentes propuestos. Como alternativa a esta discusión, Gess-Newsome (2015), expuso durante la cumbre un modelo que parte del conocimiento profesional docente y que involucra el conocimiento profesional específico del tema como una nueva categoría:

> Lo cual aporta, haciendo explícito que el contenido para la enseñanza ocurre a nivel de tema, además que este conocimiento combina materia, pedagogía y contexto y que es reconocido como público. También expone que en este modelo se reconoce que el efecto del docente contribuye al conocimiento, habilidad y práctica docente, y que las creencias y orientaciones actúan como amplificadores o filtros para el aprendizaje docente y mediación de las acciones docentes, lo que se encuentra en el contexto de aula. (Duarte, 2020, p. 80)

De esta forma, el PCK/CDC es definido como "una base de conocimiento utilizada en la planificación y la entrega de instrucción específica del tema en un contexto particular en el aula, y como la habilidad cuando se involucra en el acto de enseñar" (Duarte 2020, p. 80). En este sentido, Gess-Newsome (2015) planteó un modelo recursivo y dinámico en el que se propone que los resultados de los estudiantes son explícitos, identificando que el aprendizaje de los estudiantes no es un producto automático de la instrucción.

En el abordaje del PCK/CDC, la diversidad de modelos propuestos es una limitante para abordar nuevas investigaciones. Uno de los modelos más referenciados en los estudios del conocimiento del profesor es el de Magnusson, Krajcik y Borko (1999), el cual incluye cinco componentes: orientaciones hacia la enseñanza; conocimiento y creencias sobre el currículo; conocimientos de los estudiantes; conocimiento de la evaluación; y conocimiento de las estrategias de enseñanza. Pese a que dicho modelo es uno de los más citados y tomado como referente en investigaciones sobre la docencia, consideramos que en su descripción falta profundizar en la conceptualización de los componentes del conocimiento del profesor, especialmente en lo que atañe a las estrategias de enseñanza y la evaluación de los aprendizajes. Al respecto, en anteriores trabajos acogimos de manera crítica este modelo, complementándolo con la propuesta del CDC como elemento integrador del conocimiento del profesor (Valbuena, 2007).

En la presente investigación sobre el CDCEA no nos limitamos a identificar los componentes de dicho conocimiento, sino que trascendimos a la modelización de su estructura, para lo cual revisamos antecedentes sobre modelización del PCK/CDC, toda vez que nuestro interés se proyectó, además, a comprender cómo se configura el CDCEA, cuáles son las relaciones entre sus componentes, cómo se interrelacionan, cuáles son los más preponderantes, cuáles los menos frecuentes y cuál es el nivel de complejidad de los componentes y del CDC en su integralidad. Para tal fin, revisamos los antecedentes de investigación sobre la composición y estructura del PCK/CDC, encontrando que, mayoritariamente, las investigaciones acotan su objeto de análisis a la identificación y caracterización de los componentes de manera analítica. Los estudios que se ocupan de la estructura del PCK/CDC han formulado diferentes modelos, a manera de "mapas". Park y Oliver (2008) representan relaciones entre los componentes en un hexágono, en el que cada componente se relaciona solamente con los dos contiguos, relación que se cataloga como una "influencia" de un componente en otro; sin embargo, no se profundiza en qué consiste dicha influencia. Padilla y Van Driel (2011) representan las relaciones entre componentes a manera de vectores, siendo posible que un componente se interrelacione con más de dos componentes. Park y Chen (2012) modelizan el PCK estableciendo relaciones entre todos los componentes e identificando frecuencias para cada una, en tanto que Ravanal y López (2015) complejizan los mapas del CDC asignando direccionalidad a todas las relaciones entre componentes. Por su parte, Dueñas y Valbuena (2017) modelizan el CDC involucrando, además de la frecuencia de cada componente, la direccionalidad y frecuencia de cada relación entre componentes y la complejidad de las relaciones tomando como base la hipótesis de progresión; en la investigación de Duarte (2020) se modeliza el CDC representando, además de las relaciones entre componentes, la complejidad de cada uno de ellos como un elemento clave en la estructura del CDC, identificando tres niveles de complejidad para cada componente.

Los autores de este escrito comprendemos el CDC como un conocimiento idiosincrático del profesor, tópico específico, de naturaleza mixta en tanto práctico como formalizado (predominando la primera característica); con composición y estructura particulares, asociadas a la historia de vida del docente, a la naturaleza epistemológica del contenido, a las transformaciones e integraciones que hace el profesor

del contenido de enseñanza y a los contextos social, cultural y curricular. Pese a que el CDC no es el único componente del conocimiento del profesor, en la investigación optamos por enfatizar en este, en tanto coincidimos con otros investigadores (Grossman, 1990; Carlsen, 1999, Magnusson *et al*., 1999; Valbuena, 2007, entre otros) en que es un componente integrador de diversos saberes y conocimientos en la práctica pedagógica y didáctica. Explicitar y modelizar el CDC representa una oportunidad para interpretar y reflexionar la práctica del profesor, así como para producir conocimiento pedagógico y didáctico de la enseñanza de un contenido en particular.

En el ámbito escolar, desde el punto de vista curricular es difícil caracterizar la EA como un contenido de enseñanza. En muchos casos, para Colombia la EA se asocia con el área curricular de las ciencias naturales y en la práctica su abordaje se direcciona mediante los proyectos educativos ambientales (PRAE), por lo que resulta problemático describir y analizar los propósitos y contenidos de enseñanza de la EA (Duarte, 2020). Así, consideramos que cobra una gran relevancia identificar, describir, caracterizar y analizar el CDC de la EA (en adelante CDCEA), en aras de construir comprensiones sobre la enseñanza de la EA en la escuela. En este sentido, se pretende responder preguntas tales como: ¿la EA es enseñable en la escuela?, ¿cuáles son los contenidos de EA que se enseñan en la escuela?, ¿cómo y qué define la estructuración de dichos contenidos?, ¿cuáles son los principales referentes que orientan la enseñanza de la EA?, ¿cuáles son las finalidades de la enseñanza de la EA?, ¿qué implicaciones conlleva asumir la EA articulada solamente al área curricular de ciencias naturales?, siendo la EA un campo complejo, ¿cómo se estructura el currículo para su enseñanza?, ¿qué conocimientos demandan los profesores para su enseñanza?

Respecto al CDCEA, en la revisión bibliográfica encontramos que ha sido muy poco lo investigado, a pesar de lo importante que podría resultar esta caracterización a la hora de definir las prácticas en EA. Zhou (2015) introdujo el marco del conocimiento del contenido pedagógico ambiental describiendo el conocimiento que necesitan los maestros para reducir la brecha entre la política curricular y el aula en la práctica de la educación ambiental: "el marco que propone Zhou consta de tres dominios de conocimiento (contenido, pedagogía y contexto) los cuales, plantea, interactúan y generan diferentes formas de construcción de un conocimiento mixto" (Duarte, 2020, p. 90).

Dentro de este sucinto marco de descripciones que permite ubicar el contexto conceptual de este escrito, es necesario retomar elementos propios de la EA, identificando que las distintas formas de concebirla permiten que los maestros posean una manera particular de desarrollar su práctica. Con esta idea, retomamos las posturas de Sauvé (2010) González-Gaudiano (2001; 2003) y Leff (2004; 2009), quienes han planteado la necesidad de proponer formas colectivas para el abordaje de la educación ambiental que permitan transcender de acepciones naturalistas y formas tradicionales de practicarla.

En esta lógica, se ha identificado que el significado de *ambiente* ha surgido de diferentes connotaciones y ha sido construido a partir de referentes políticos, sociales y culturales, por lo que puede adquirir distintas acepciones en las personas de un mismo contexto. Desde la década de los noventa, Sauvé ha desarrollado una tipología de nociones de ambiente que resulta pertinente para entender las diversas aproximaciones para trabajar desde la EA; la autora ha propuesto, en diferentes investigaciones (1994 y 2010), una diversidad de significaciones, argumentando que la "diversidad de corrientes teóricas muestra un pluralismo de concepciones y enfoques coexistentes" (Sauvé, 2010, p. 10). Así, explica que cada una de esta diversidad de nociones presenta la manera de definir las prácticas específicas de grupos que integran una comunidad, lo que nos permite asumir una postura de ambiente desde una visión sistémica que implica las relaciones con el espacio natural y social, en momentos históricos particulares, reconociendo las características contextuales y valorando la pluralidad de pensamiento, con el fin de direccionar la construcción de ideas que partan del pensamiento colectivo (Duarte, 2020).

Bajo esta postura, en la actualidad podemos ver que la EA puede generar el cambio de comportamientos sociales que permitan mejorar las relaciones establecidas entre el ambiente con el ser humano y viceversa, ubicando al ser humano como parte del mismo ambiente, desde una visión que busca establecer formas culturales-ambientales distintas. Calixto (2012) plantea que "este tipo de educación integrada a los valores ambientales propicia una relación de compromiso con el medio ambiente, donde la diversidad e interculturalidad son componentes fundamentales" (p. 1021).

Pérez y Albujar (2005) exponen que la EA emergió en la segunda mitad del siglo pasado como una reacción a los impactos del progreso moderno, y siendo en sus principios reformista, ha conservado elementos epistemológicos en la forma de concebir la realidad y axiológicos, preservando rasgos propios de las ciencias naturales (Camacho, 2007). Prueba de ello, según los autores, es que la educación ambiental formal o escolarizada es concebida en muchos casos como una asignatura muy familiarizada con la ecología, en donde se explican de forma aislada los procesos y problemas ambientales y en donde no parece tener cabida lo social, lo cultural, lo axiológico y filosófico (Pérez y Albujar, 2014, en Duarte, 2020).

Esta problemática sigue sucediendo a pesar de que en el 2002 la Organización de las Naciones Unidas (ONU) proclamó, con la Resolución 57/254, la "Década para la educación por el desarrollo sustentable" entre el periodo del año 2005 y el 2014, estipulando, entre otras cuestiones, que los profesores atiendan la problemática ambiental fomentando en sus estudiantes actitudes y comportamientos favorables para el logro de un desarrollo sustentable. En consonancia, las instituciones educativas de diversos países han realizado la inclusión del concepto en los procesos educativos; "no obstante, al no presentarse claridad entre la divergencia que existe entre del desarrollo sostenible y el desarrollo sustentable en las instituciones educativas, se ha convertido en un enfoque que no se aborda en la práctica" (Duarte, 2020, p. 113).

Como investigadores, propendemos por la idea de entender el ambiente como un campo de conocimiento, si bien aún faltan algunas claridades en términos de independencia y autonomía que lo constituyan y lo reconozcan como tal. No obstante, al entender que el concepto de ambiente se ha construido desde luchas y tensiones externas que le otorgan estructura, asumimos que en la idea de utilizar diversas disciplinas para su desarrollo ha podido entenderse, por ejemplo, la importancia de la interdisciplinaridad,

> […] que le ha otorgado una visión amplia que va más allá de la simple utilización de otras disciplinas para su desarrollo, posibilitándole configurarse en un tejido de interacción de saberes, que se define como elemento importante en la configuración de establecerse como un campo de conocimiento. (Duarte, 2020, p. 28)

DESARROLLO DEL CAPÍTULO

Hasta el momento nos hemos referido al conocimiento del profesor, al CDC, al ambiente y a la EA. En el marco de nuestra lección de la cátedra doctoral, es nuestro interés abordar la situación de la EA en la escuela desde la perspectiva del conocimiento del profesor.

La incorporación de la EA en la escuela es resultado de la preocupación que surgió a nivel mundial, en los años sesenta, sobre la necesidad del cuidado del ambiente, que trascendió a reuniones internacionales en las que participaban líderes de cada nación para direccionar a los distintos países en el desarrollo de políticas que buscaran la mitigación rápida y efectiva de esta problemática. Algunas de las más sobresalientes fueron la Conferencia de Estocolmo en 1972, la Carta de Belgrado en 1975, la Declaración de Tbilisi en 1977, entre otras. Particularmente para Colombia, la Ley General de Educación de 1994 y las políticas distritales recientes han establecido el diseño e implementación de los proyectos ambientales escolares (PRAE), que en su lógica proponen aterrizar problemáticas ambientales asociadas a las instituciones educativas y generar acciones de solución a las mismas.

Ahora bien, en este escrito enfocamos esta problemática en el profesor, porque es a quien en la práctica se le delega la función de pensar esta realidad y proponer estrategias de enseñanza; no obstante, la situación de la enseñanza de la educación ambiental en la escuela deja ver que, generalmente, se ha convertido en el paso transitorio de algunos procesos que se olvidan porque no se establece un seguimiento. Es decir, para el caso colombiano se plantean políticas nacionales y distritales, pero no se realiza un acompañamiento a estos procesos, probablemente porque se proponen lineamientos en una política abierta que reconoce la práctica del maestro, pero no se evalúan los procesos de acuerdo a los objetivos de las políticas y no se plantea un seguimiento más allá de entregar evidencias (Duarte, 2020, p. 132). En esta lógica, muchas veces los procesos se convierten en ideas espontáneas que se plasman en actividades innovadoras pero que se pierden con el paso del tiempo.

Asumiendo a los profesores como sujetos que construyen conocimiento, encontramos la necesidad de ahondar en lo referente a su conocimiento de EA, lo que puede aportar no solo al campo del conocimiento del profesor sino también a convertirse en un referente

de las formas de proponer prácticas de EA en la escuela actual. Consideramos que caracterizar los conocimientos didácticos que tienen los profesores respecto a la EA, desde sus prácticas, permite sugerir, en la realidad, planteamientos a partir de un trabajo reflexivo que contribuya a la construcción de estrategias en las que se vinculen recomendaciones políticas y referentes históricos, aportando ideas alternativas a las comúnmente trabajadas y fortaleciendo así la generación de una nueva cultura ambiental en las comunidades escolares, con una mirada formativa de los sujetos, en la cual se reconozcan sus posicionamientos.

En este escrito pretendemos reflexionar sobre la importancia del CDCEA y de los diversos componentes que puede desarrollar un profesor en la práctica, y especialmente evidenciar cómo el mismo maestro puede reconocer la importancia de estos conocimientos en ejercicios de confrontación constantes que permitan reflexionar y proponer formas asertivas de concebir y practicar la EA.

A fin de dar evidencias reales de esta pretensión, retomamos elementos de la tesis doctoral de Duarte (2020), quien planteó una investigación sobre la caracterización del conocimiento didáctico del profesor que en su práctica aborda la educación ambiental en la escuela, a partir de diversos interrogantes:

> ¿Qué caracteriza el conocimiento didáctico del profesor sobre la educación ambiental en su enseñanza?, lo que implicó identificar ¿cuáles son las representaciones del conocimiento del profesor sobre ambiente y educación ambiental? ¿Cuáles son las relaciones de los componentes del conocimiento didáctico del contenido? ¿Qué compone el conocimiento didáctico del profesor? ¿Cuál es la estructura? ¿Cuál es su complejidad? ¿Cómo se construye? ¿Qué lo potencia? ¿Qué lo obstaculiza? Concluyendo en la pregunta problema bajo la que se soportó la investigación, que estuvo dada en: ¿Qué caracteriza el conocimiento didáctico del contenido sobre educación ambiental de profesores de colegios públicos de Bogotá, en el marco de su práctica en la enseñanza de la educación ambiental en la escuela? (Duarte, 2020, p. 37)

En esta lógica, se consideró importante caracterizar el CDCEA de los profesores para identificar los elementos que potencian y dinamizan la educación ambiental actual, con el fin de llegar a una

comprensión de cómo se construyen en la escuela estos componentes y reflexionar sobre lo que se sugiere dinamizar y potenciar en los maestros respecto a los procesos de enseñanza de la EA.

APORTES AL CDCEA DESDE UN ESTUDIO DE CASO MÚLTIPLE

Para realizar la caracterización del CDCEA de profesores de instituciones educativas oficiales de Bogotá, en una investigación anterior (Duarte, 2020) acogimos como metodología la perspectiva hermenéutica interpretativa. Se trata de un estudio de caso contrastante que profundiza en la caracterización de la práctica de enseñanza de dos profesores y de un estudio de caso múltiple que tiene como base las declaraciones de cuatro profesores. La sistematización de los datos obtenidos conllevó al análisis de las representaciones de ambiente y EA de los profesores, identificando que es un aspecto que incide en su conocimiento didáctico.

Se seleccionaron cuatro profesores como casos de estudio, con perfiles diversos: 1) la primera, nominada como Isabella, es licenciada en Biología, con maestría en Ciencias; su abordaje de la EA está dado desde un proyecto relacionado con el maltrato animal desarrollado durante las clases de ciencias naturales con estudiantes de sexto grado. 2) El segundo, nominado Samuel, es licenciado en Educación Física, con maestría en Ciencias del Deporte, y aborda la EA con el desarrollo de un proyecto vinculado a una huerta y la propuesta de un superhéroe ambiental, proyecto trabajado de forma extracurricular con estudiantes de secundaria que participan de forma voluntaria. 3) Al tercero lo identificamos como David, docente de básica primaria, licenciado en Biología, con maestría en Ciencias, quien aborda la EA desde un proyecto relacionado con el reconocimiento de un humedal cercano a la institución educativa, desarrollado durante las clases y espacios extracurriculares. 4) La cuarta docente, nominada como Mariana, es licenciada en Artes Plásticas con maestría en Artes, y realiza las prácticas pedagógicas en EA desde un proyecto de pintura de murales, de forma extracurricular con estudiantes de secundaria que participan de forma voluntaria (Duarte, 2020).

Para el análisis de la caracterización, un elemento que cobra importancia está relacionado con la identificación de la complejidad de los componentes del CDCEA, por lo que con relación al desarrollo

metodológico conviene mencionar que en cada componente fue necesario establecer tres niveles, los cuales se definieron a partir de la triangulación entre investigadores, según el análisis realizado desde los mismos casos.

En esta lógica, respecto a la descripción de la estructura y composición de los CDCEA de los profesores citados, el componente de los *contenidos de enseñanza* está relacionado con una fundamentación de lo que es ambiente y EA, evidente en los casos de Isabella y David, teniendo en cuenta que los referentes de ambiente de estos dos profesores son similares, pues tienen una fundamentación conceptual equivalente, dada su formación académica de pregrado y posgrado. Para el componente de *estrategia de enseñanza*, identificamos que la complejidad es alta para el profesor Samuel, quien desarrolla propuestas integradoras como la huerta, la recuperación del parque y un superhéroe ambiental, mientras que en Isabella el nivel de complejidad es intermedio, posiblemente por la limitación curricular que se establece al abordar el desarrollo de la educación ambiental en sus clases de Ciencias Naturales, lo que le dificulta abordar otras estrategias propias de la EA. En términos de las *finalidades de enseñanza* en EA, no se encontraron elementos comunes en los profesores, debido a la diversidad de los fines que exponen.

En relación con el *conocimiento de los estudiantes*, para los profesores es relevante saber de los intereses de los alumnos respecto a las temáticas que se proponen abordar en la EA, en clave con la formulación de estrategias vinculadas al desarrollo de contenidos de la EA, ya que esto motiva su participación y puede generar transformaciones efectivas en su pensamiento. Respecto al *contexto,* en uno de los casos el nivel de complejidad es alto, gracias al desarrollo de las estrategias en espacios directamente vinculados con el entorno del estudiante. No obstante, en la investigación se concluye que, aunque el componente de contexto juega un papel importante en el desarrollo de procesos en EA y se habla de él en diferentes ámbitos, en la práctica se reduce a la ejemplificación de situaciones propias al estudiante, en donde se implican elementos del ámbito familiar.

Finalmente, en el componente *de evaluación de los aprendizajes* de la EA, se identifica que en los profesores no hay claridad de cuáles serían los elementos con los que trabajarían la evaluación en su práctica específica de EA, porque se tiende a evaluar particularmente aspectos formativos de los estudiantes.

ANÁLISIS DEL CDCEA DESDE LA PERSPECTIVA DE LOS EJES DOCP

Para el proceso de interpretación de los resultados y el análisis de la descripción de los componentes del CDCEA de los casos de estudio, los datos se analizaron desde la perspectiva de los ejes DOC (dinamizadores, obstáculo y cuestionamiento), según Martínez (2000) y Ballenilla (2003). Retomamos la propuesta de Martínez (2000), quien plantea el eje obstaculizador, según el cual el hecho de identificar los obstáculos para el proceso de cambio contribuye a la definición de nuevas rutas para la formación de profesores. Por su parte, el eje dinamizador (D) se entiende como "aquel conocimiento que se aproxima a visiones alternativas que parecen impulsar un proceso de cambio" (Martínez, 2000, p. 92). También asumimos la postura de Ballenilla (2003), quien retoma a Martínez (2000) y plantea que el eje dinamizador estaría formado por las concepciones de los profesores, mediante las cuales se puede superar el eje obstáculo y facilitar el cambio. Como propuesta de análisis de los resultados de la investigación, adicionamos un cuarto eje denominado potenciador (P), que se presenta como el resultado de identificar lo que dinamiza y proponer cómo se podría superar lo que obstaculiza, potenciando la práctica del profesor. Definimos el eje potenciador desde la idea de Toulmin (1972), quien lo comprende como una proyección que busca identificar el nivel deseable, lo cual nos permite, en términos de la enseñanza de la EA en la escuela, identificar dónde está lo que potencia y establecer los elementos posibles para potenciar (Duarte, 2020, p. 167).

En la investigación realizada encontramos que los elementos que dificultan la configuración del CDCEA, desde el análisis de la práctica de los profesores, radican en primera instancia en la necesidad de una fundamentación teórica de la EA para profesores de diferentes áreas y que permita abordar con mayor profundidad la enseñanza de la EA en la escuela. Al respecto, el análisis de los casos nos muestra que profesores de otras áreas como la educación física y las artes logran incorporar y movilizar la enseñanza de la EA, incidiendo de forma significativa en la escuela, aunque manifiestan que se limitan en términos de poder enriquecer sus prácticas dada la ausencia de conocimiento particular de algunos aspectos propios de la EA (Duarte, 2020, p. 436). Un elemento obstaculizador identificado en las prácticas de los profesores tiene que ver con que la enseñanza de la educación ambiental se incluye exclusivamente en el currículo

propio de una asignatura, lo que genera limitaciones en términos de la complejidad del componente de estrategia de enseñanza porque no permite diversificar elementos prioritarios para la educación ambiental; la consecuencia es que, finalmente, se otorga mayor importancia a la disciplina en las que se intenta vincular, probablemente por la necesidad de avanzar en los contenidos allí establecidos.

Respecto a los elementos concluyentes que contribuyen a la configuración del CDCEA, identificamos en primera instancia que la fundamentación conceptual en ambiente y EA, potencia la complejidad de sus componentes, específicamente en la finalidad, estrategia de enseñanza y conocimiento del estudiante. Ese elemento fue evidente en dos profesores de los casos de estudio, para quienes los aspectos epistemológicos favorecieron la configuración del CDCEA, especialmente en la complejización de la estructura de los contenidos de enseñanza (involucrando elementos sociales, ideológicos, éticos y ecológicos), así como en la definición de finalidades y estrategias de enseñanza. Otro elemento que contribuye a la configuración del CDCEA es el trabajo por proyectos escolares, fomentado desde espacios que no corresponden al currículo de ninguna asignatura, el cual propicia la estructuración de los contenidos de enseñanza en EA que permiten la apropiación de los estudiantes, al punto de que ellos son copartícipes de la definición de propuestas. Además, otro elemento potenciador resulta ser la formulación de proyectos contextualizados que puedan ser acompañados y en el mediano plazo evaluados, no como proyecto institucional sino como aprendizaje de los estudiantes. Un aspecto importante de este elemento es que cuando dichos proyectos se desarrollan de manera institucional y continua a lo largo de varios años, se propicia el reconocimiento y la importancia de la educación ambiental.

El trabajo colaborativo con profesores de diferentes áreas curriculares también es un elemento que contribuye a la enseñanza de la educación ambiental, pues favorece el desarrollo de proyectos escolares en educación ambiental, la autoformación en educación ambiental y la configuración del conocimiento didáctico del contenido en relación con los contenidos y las estrategias de enseñanza.

Otro elemento de contribución está dado en el planteamiento de situaciones integradoras tales como el maltrato animal, la huerta escolar, la recuperación del espacio público o el reconocimiento del humedal, que fomentan la imbricación de saberes curriculares

en la EA. En este punto, el conocimiento del contexto por parte de los profesores favorece la configuración del CDCEA, en particular la definición de las estrategias de enseñanza (Duarte, 2020, p. 437).

Finalmente, la historia de vida es un elemento que dinamiza la configuración del CDCEA, lo que fue evidente en tres de los casos de estudio abordados en la investigación, en donde se identificó una relación directa con las representaciones de ambiente y EA que poseían los docentes, relación que aporta varios elementos a la hora de definir cuáles son las características propias del CDC en EA de cada profesor. Un ejemplo particular es el caso de Isabella, cuya perspectiva ética-humanista (Duarte, 2020) influye en su CDC, principalmente en los contenidos de enseñanza, las finalidades y las estrategias, porque desarrolla la temática del maltrato animal y la utiliza para relacionar estos componentes a través de su enfoque ético. "Así, las representaciones tienen relación en términos de la caracterización del CDC de EA, porque están incidiendo en el desarrollo de los componentes: contexto, contenidos, estrategias, finalidades de enseñanza" (Duarte, 2020, p. 428).

En términos de la propuesta de los elementos que se pueden potenciar en la enseñanza de la EA en la escuela, planteamos una forma de articular los ejes DOC en donde recogemos algunos elementos que dinamizan la práctica de los profesores e identificamos los aspectos que pueden ser potenciados. Estos aspectos pasan por cuestionamiento u obstáculos, para poder llegar a los elementos que se pueden potenciar. La matriz expuesta en la tabla 8.1 surge del análisis de dos de los casos contrastantes presentados en la investigación.

Tabla 8.1. *Matriz de articulación de los ejes DOC de los elementos potenciadores del CDCEA desde el caso de Samuel e Isabella*

¿Qué puede ser potenciado? (a la vez es dinamizador)	**¿Qué elementos pueden contribuir a la potenciación?** (deriva de elemento obstaculizador)	**¿Qué puede potenciar en el CDC de ambiente y EA?** (elemento potenciable)
El conocimiento que el profesor tiene de los saberes de los estudiantes cuando enseña educación ambiental.	Conceptualización (teórica) sobre ambiente y educación ambiental (deriva de un elemento-eje obstaculizador identificado en Samuel desde su formación).	Empoderamiento de los estudiantes respecto a su trabajo en EA, constituyendo líderes ambientales.

¿Qué puede ser potenciado? (a la vez es dinamizador)	**¿Qué elementos pueden contribuir a la potenciación?** (deriva de elemento obstaculizador)	**¿Qué puede potenciar en el CDC de ambiente y EA?** (elemento potenciable)
Desarrollo del componente educativo, en donde los estudiantes que pertenecen al proyecto enseñan a compañeros de diferentes grados. Participación de los estudiantes.	Desarrollo conceptual en los estudiantes, desde los contenidos contextuales que identifican.	
Trabajo extracurricular que permite participación voluntaria y continuidad.	Ausencia de una visión complejizadora de las problemáticas ambientales.	Trabajo colectivo en donde los actores problematicen desde elementos, por ejemplo de orden social, con las situaciones problemáticas que se abordan.
Factores institucionales y de equipo de profesores que permiten dinamizar.	Características administrativas institucionales que al inicio del año organizan los horarios y espacios de desarrollo de las actividades académicas, sin tener en cuenta los proyectos que desarrollan los maestros de manera individual.	Designar el trabajo del proyecto ambiental escolar a los profesores de manera voluntaria, de modo que deseen participar en su construcción y desarrollo.
El contexto es un elemento dinamizador, se propone llevar al estudiante a reconocer su entorno desde la estrategia de la huerta y la recuperación del parque.	¿Por qué problemáticas como la huerta escolar y la recuperación del parque no se abordan de manera interdisciplinar? ¿Estaría presente una visión multidisciplinar que obstaculizaría el trabajo interdisciplinar? ¿Hay ausencia en el desarrollo del concepto de territorio?	Podría enriquecerse con un trabajo interdisciplinar, orientado por profesores de diferentes áreas curriculares, potenciando la propuesta realizada de construcción de la huerta y la actividad de recuperación del parque sería potenciable; es necesario complejizar la problemática. Abordarlo desde el concepto de territorio.
Posee diferentes fuentes que le permiten desarrollar en la práctica el contenido propio de la educación ambiental, desde el vínculo con el aspecto biológico.	No es explícito su conocimiento o una formación ambiental.	Enriquecer una formación permanente y particular en contenidos de educación ambiental.

¿Qué puede ser potenciado? (a la vez es dinamizador)	**¿Qué elementos pueden contribuir a la potenciación?** (deriva de elemento obstaculizador)	**¿Qué puede potenciar en el CDC de ambiente y EA?** (elemento potenciable)
Claridad epistemológica en la educación ambiental desde lo declarativo, vinculando aspectos sociales.	Se dificulta el desarrollo de estrategias propias a la educación ambiental por la limitación del currículo.	Proponer un trabajo interdisciplinar en donde se aborde el maltrato animal como contenido integrador desde diferentes disciplinas.
Aborda contenidos bioéticos.	¿Por qué no se vincula el contexto específico de los estudiantes?	El contexto le daría más potencialidad.
La relación entre la estrategia y el conocimiento de los estudiantes dinamiza los procesos.	¿Por qué no hace explícita la finalidad de trabajo en educación ambiental direccionada al contenido de maltrato animal?	Explicitación de la finalidad y vinculación del contexto.

Fuente: adaptada de Duarte (2020).

En concordancia con lo expuesto, la investigación que precede el presente trabajo llegó a varias conclusiones:

> Desde la mirada del CDCEA derivada de la investigación, concluimos que las categorías que establecen los diversos autores en sus producciones académicas se encuentran en su gran mayoría presentes en los profesores, sin embargo el conocimiento que construye cada caso resulta personal, atendiendo a diferentes configuraciones de su saber, por lo que no es posible encasillarlo en categorías sin realizar especificaciones propias de los sujetos, así es necesario identificar particularidades y establecer sus propias categorizaciones. Por lo que, para los cuatro casos derivados de la investigación, en su individualidad determinamos la existencia de un conocimiento idiosincrático, que identifica al profesor, el cual es diverso, pero le ocupa un campo de conocimiento que en nuestro caso es la didáctica de la educación ambiental. (Duarte, 2020, p. 428)

En esta lógica, no pretendemos encasillar los procesos de enseñanza de EA en la escuela, ni diseñar una receta que resuelva las problemáticas; más bien, intentamos mostrar que hay particularidades que obedecen a la diversidad del conocimiento didáctico del contenido de los profesores de educación ambiental que los llevan a establecer diversidad de prácticas, por lo que es importante aclarar que no se trata de estandarizarlas.

Ahora bien, desde la problemática general descrita, identificamos que existen dificultades frente a las prácticas de EA en las que, como mencionamos, se generan lineamientos y normatividades que en la práctica, sin embargo, muchas veces se transforman en activismos con carga adicional a la labor docente. No obstante, si entendemos que el CDCEA tiene una diversidad que permite identificar elementos generales que podrían ser válidos para contribuir en las prácticas, y que adicionalmente permiten sugerir aspectos sobre los cuales reflexionar para dar movilidad a la educación ambiental en la escuela, se podría empezar a construir la solución a esta problemática.

Así, la descripción y caracterización del CDCEA conduce a la reflexión, permitiendo la complejización, la identificación, la comprensión y la posibilidad de superar obstáculos para llegar a encontrar los elementos dinamizadores y potenciadores.

CONCLUSIONES

Los resultados generales de esta investigación muestran la importancia de la formación inicial en las diferentes licenciaturas y de la formación continua en profesores de diversas áreas respecto al campo ambiental. Fue posible identificar, como elementos potenciadores más sobresalientes en su enseñanza, el trabajo por proyectos no vinculados al currículo de una asignatura en particular, la necesidad de la interdisciplinaridad y el vínculo entre la proposición de estrategias de enseñanza y el contexto social, cultural y político de los estudiantes. Asimismo, es evidente la incidencia de las representaciones de ambiente y EA de los diferentes profesores en su CDCEA, especialmente en los componentes de finalidades y contenidos de enseñanza de la EA.

Identificamos también que la naturaleza de la EA posibilita la flexibilidad curricular. Por ejemplo, lo curricular, lo extracurricular y la aportación desde otras disciplinas distintas a las ciencias.

Logramos evidenciar que los profesores tienen un dominio particular de alguno de los componentes, lo cual da muestra de lo idiosincrásico del CDCEA, situación que fue posible visibilizar y reflexionar en el grupo focal con los cuatro profesores, identificando las potencialidades de dichas predominancias, así como la necesidad

de interrelacionarlas y enriquecerlas con los saberes de profesores de otras áreas curriculares, lo cual es una oportunidad para abordar de una manera más integral los problemas ambientales de la escuela.

Consideramos relevante aportar, a partir del CDCEA de docentes en ejercicio, a la construcción de las políticas de formación de profesores en EA que se desarrollan en la Secretaría de Educación Distrital, las cuales se conciben de manera externa a las comunidades educativas. Se resalta que la primera autora de este capítulo y los cuatro docentes seleccionados para el desarrollo de la investigación en mención hacen parte de la comunidad educativa de los colegios públicos de Bogotá, por lo que toma importancia el aporte que cada uno de ellos realiza desde su propia práctica docente, ya que ponen de relieve cuáles son los aspectos que han obstaculizado su enseñanza, además de identificar los posibles elementos que dinamizan y potencian su abordaje en las distintas comunidades educativas.

REFERENCIAS

Abell, S. (2007). Research on science teacher knowledge. En S. Abell y N. Lederman (Comps.), *Handbook of research on science education* (pp. 1105-1149). Lawrence Erlbaum Associates.

Ballenilla, F. (2003). *El prácticum en la formación inicial del profesorado de ciencias de enseñanza secundaria. Estudio de caso.* (Tesis de doctorado). Universidad de Sevilla.

Berry, A., Friedrichsen, P. y Loughran, J. (Eds.). (2015). *Re-examining pedagogical content knowledge in science education*. Routledge.

Bromme, R. (1988). Conocimientos profesionales de los profesores, investigación y experiencias didácticas. *Enseñanza de las Ciencias, 6*(l), 19-29.

Calixto Flores, R. (2012). Investigación en educación ambiental. *Revista Mexicana de Investigación Educativa, 17*(55), 1019-1033.

Camacho, C. (2007). La educación ambiental entre la modernidad y la postmodernidad. *Boletín Multidisciplinario, 17,* 10-15.

Carlsen, W. (1999). Domains of teacher knowledge. En J. Gess-Newsome y N. Lederman (Eds.), *Examining pedagogical content knowledge. The construct and its implications for science education* (pp. 133-144). Kluwer Academic Publishers.

Connelly, F. M. y Clandinin, D. J. (1988). *Teachers as curriculum planners: Narratives of experience.* Carnegie Cooperation.

Duarte, J. (2020). *Caracterización del conocimiento didáctico del contenido sobre educación ambiental de profesores de Bogotá, Colombia.* (Tesis de doctorado). Doctorado Interinstitucional en Educación, Universidad Pedagógica Nacional.

Duarte, J. y Valbuena E. (2017). Rasgos epistemológicos de la educación ambiental que presentan implicaciones para su enseñanza. *Bio-grafía. Escritos sobre la Biología y su Enseñanza, número extraordinario,* 630-640.

Dueñas, A. (2019). *El conocimiento didáctico del contenido de la alimentación y la nutrición humana en profesores de Bogotá*. (Tesis de doctorado). Doctorado Interinstitucional en Educación. Universidad Pedagógica Nacional.

Elbaz, F. (1983). *Teacher thinking: a study of practical knowledge. The evolution of a discourse*. Nichols Publishing.

Gess-Newsome, J. (2015). A model of teacher professional knowledge and skill including PCK: Results of the thinking from the PCK summit. En A. Berry, P. Friedrichsen y J. Loughran (Eds.), *Re-examining pedagogical content knowledge in science education* (pp. 28-43). Routledge Taylor & Francis Group.

Gess-Newsome, J. y Lederman, N. (Eds.) (1999). *Examining pedagogical content knowledge. The construct and its implications for science education*. Kluwer Academic Publishers.

González-Gaudiano, E. (2001). La emergencia de la educación ambiental. En G. T. Bertussi y R. González (Comps.), *Anuario Educativo Mexicano: visión retrospectiva* (tomo I) (p. 171). Universidad Pedagógica Nacional de México (UPN), La Jornada Ediciones.

González-Gaudiano, E. (2003). Atisbando la construcción conceptual de la educación ambiental en México. En M. Bertely (Coord.), *Educación, derechos sociales y equidad* (pp. 243-276). Comie-SEP-CESU.

Grossman, P. (1990). *The making of a teacher. Theacher knowledge and teacher education*. Teachers College, Columbia University.

Leff, E. (2004). *Saber ambiental, sustentabilidad, racionalidad, complejidad y poder.* Siglo XXI Editores.

Leff, E. (2009). Pensamiento ambiental latinoamericano: patrimonio de un saber para la sustentabilidad. *Environmental Ethics 34*(9999), 97-112 https://www.researchgate.net/publication/289741693_Pensamiento_Ambiental_latinoamericano_Patrimonio_de_un_Saber_para_la_Sustentabilidad

Magnusson, S. Krajcik, J. y Borko, H. (1999). Nature, sources, and development of pedagogical content knowledge for science teaching. En J. Gess-Newsome y N. Lederman (Eds.), *Examining pedagogical content knowledge. The construct and its implications for science education* (pp. 95-132). Kluwer Academic Publishers.

Martínez, C. (2000). *Las propuestas curriculares sobre el conocimiento escolar en el área de conocimiento del medio: dos estudios de caso en profesores de primaria*. (Tesis de doctorado). Programa Didáctica de las Ciencias Experimentales y Sociales, Universidad de Sevilla.

Padilla, K. y Van Driel, J. (2011). The relationships between PCK components: the case of quantum chemistry professors. *Chemistry Education Research and Practice, 12*, 367-378.

Park S. y Oliver, S. (2008) Revisiting the conceptualization of pedagogical content knowledge (PCK): PCK as a conceptual tool to understand teachers as professionals. *Research in Science Education, 38*, 261-284.

Park, S., y Chen, Y. (2012). Mapping out the integration of the components of pedagogical content knowledge (PCK): examples from high school biology classrooms. *Journal of Research in Science Teaching, 49*(7), 922-941.

Pérez, F. y Albujar, J. (2005). Rasgos postmodernos de la educación ambiental. Una formación pertinente con las nuevas corrientes de pensamiento. *Gestión y Ambiente, 17*(2), 129-137.

Ravanal., E. y López, F. (2015). *Mapeando os professores de biologia do CDC para pensar em um desenvolvimento profissional do professor*. x Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências – x Enpec. Águas de Lindóia, SP. 24 a 27 de noviembre.

Sauvé, L. (2004). *Una cartografía de corrientes de educación ambiental.* Cátedra de investigación Canadá en Educación Ambiental. Université du Québec.

Sauvé, L. (2010). Educación científica y educación ambiental: un cruce fecundo. *Enseñanza de las Ciencias: Revista de Investigación y Experiencias Didácticas, 28*(1), 005-018.

Schön, D. A. (1983). *The reflective practitioner: How professionals think in action*. Ashgate.

Shulman, L. (1986). *Paradigms and research programs in the study of teaching: A contemporary perspective*. En M. Wittrock (Ed.), *Handbook of Research on Teaching* (pp. 3-36). Macmillam.

Shulman, L. S. (1987). Knowledge and teaching: Foundations of the new reform. *Harvard Educational Review, 57*(1), 1-22.

Tardif, M. (2004). Los saberes del docente y su desarrollo profesional (trad. P. Manzano). Narcea.

Toulmin, S. (1972). *La compresión humana. El uso colectivo y la evolución de los conceptos*. Alianza Editorial.

Valbuena, E. (2007). *El conocimiento didáctico del contenido biológico, estudio de las concepciones disciplinares y didácticas de futuros docentes de la universidad pedagógica nacional*. (Informe de tesis de doctorado). Departamento Didáctico de las Ciencias Experimentales, Universidad Complutense de Madrid.

Zhou, G. (2015). Environmental pedagogical content knowledge: a conceptual framework for teacher knowledge and development. En S. Stratton, R. Hagevik, A. Feldman y M. Bloom (Eds.), *Educating science teachers for sustainability* (pp. 185-203). Springer.

Capítulo 9. Perspectivas de identidad ambiental en los contextos educativos escolares. Aportes de profesores en servicio

María Rocío Pérez Mesa
Yair Alexander Porras Contreras
Universidad Pedagógica Nacional

INTRODUCCIÓN

Desde el punto de vista sociológico, la identidad es considerada como una construcción colectiva que se traduce en la manera en que las personas y los grupos sociales se definen a sí mismos, legitiman un espacio social y elaboran un autoconcepto. Algunos autores (Di Fabio y Rosen, 2018; Gallay, Pykett y Flanagan, 2021) consideran relevante examinar la perspectiva psicológica de la experiencia con el entorno natural, teniendo en cuenta que el contexto de la ecología urbana se convierte en un campo promisorio para incursionar en áreas de investigación como la misma identidad, aunado con los aportes de la psicología de la sostenibilidad y las ciencias de la sustentabilidad.

En esta perspectiva, resulta prioritario reconocer los procesos psicológicos involucrados en las decisiones y los comportamientos ambientales, con el fin de examinar los significados que construyen los individuos y las comunidades sobre su apego al lugar, sin dejar de lado aspectos espaciotemporales relacionados con el bienestar personal y colectivo propio de los entornos naturales, personales, sociales, organizacionales, comunitarios, globales y transculturales (Di Fabio, 2018).

Bajo esta mirada emergente de la realidad ambiental, es conveniente considerar los micromundos y las microidentidades que construyen las personas con base en sus ideas, creencias y representaciones sociales y que determinan sus comportamientos y conductas. Para Gallay, Pykett y Flanagan (2021), la representación del entorno natural dentro del entorno construido se convierte en la referencia más importante de la identidad que manifiestan los jóvenes estadounidenses cuando participan en proyectos ambientales. Sin embargo, para la mayoría de las personas encuestadas, la idea de naturaleza como lugar aislado, puro, salvaje e inmutable, refuerza la representación social de lo natural como respiro del entorno urbano. En consecuencia, el estudio de la identidad, de acuerdo con Berger y Luckmann (2012), contribuye a comprender aquellas estrategias que permiten a los seres humanos ubicarse en el mundo, desempeñar roles y crear expectativas individuales y colectivas:

> La identidad se define objetivamente como ubicación en un mundo determinado y puede asumírsela subjetivamente solo junto con ese mundo. Dicho de otra manera, todas las identificaciones se realizan dentro de horizontes que implican un mundo social específico. El niño aprende que él es lo que lo llaman. Cada nombre implica una nomenclatura, que a su vez implica una ubicación social determinada. Recibir una identidad comporta adjudicarnos un lugar específico en el mundo. (Berger y Luckmann, 2012, p. 166)

La necesidad de promover una identidad compartida en los procesos formativos (Domínguez, 2006) contribuye al reconocimiento de los contextos sociales y fomenta una actitud de apego por el lugar en que se convive, propiciando un diálogo con los otros. De esta manera, la construcción de un proyecto de vida compartido, dando la relevancia a la configuración de la identidad, requiere el desarrollo de condiciones de bienestar físico y social y el posicionamiento del ambiente como un sistema dinámico y complejo, que emerge de la

interacción entre los subsistemas biofísicos, sociales y culturales. Retomando las ideas de Abric (2001) en relación con reconocer las ideas de las personas frente a constructos tan complejos como la identidad de lugar o la identidad ambiental, es conveniente enfatizar la importancia del estudio de las representaciones sociales en aspectos que incluyen entender y explicar la realidad, definir la identidad, reivindicar la especificidad de los grupos e interpretar los comportamientos y las prácticas tanto de los individuos como de los colectivos.

IDENTIDAD AMBIENTAL

Tomando como referente la teoría del aprendizaje social de Wenger (2001), se puede afirmar que la identidad se construye con la participación de las personas en los grupos sociales, quienes dan sentido y significado a sus actuaciones, nutriendo una visión más amplia y compleja del mundo. Al respecto, Wenger (2001) hace énfasis en las trayectorias a través de las cuales las personas van reafirmando los procesos identitarios:

> Una identidad es una superposición de capas de eventos de participación y cosificación por las que nuestra experiencia y su interpretación social se conforman mutuamente. A medida que nos vamos encontrando con nuestros efectos en el mundo y desarrollamos nuestras relaciones con los demás, estas capas se van superponiendo para producir nuestra identidad en forma de un entramado complejo de experiencia de participación y de proyecciones cosificadoras. Uniendo las dos mediante la negociación de significados construimos quiénes somos. De la misma manera que el significado existe en su negociación, la identidad existe —no como un objeto en sí mismo— en el trabajo constante de negociar el yo. En esta interacción en cascada de la participación y la cosificación, nuestra experiencia de la vida se convierte en una experiencia de identidad y, en consecuencia, de la existencia y la conciencia humanas. (pp. 189-190)

Desde la perspectiva estructural de la representación social, la identidad se constituye en un tema central para la configuración de los procesos de construcción de significados en torno al ambiente. Este aspecto cobra una especial importancia a nivel de la formación docente, en cuanto a la legitimación de diversos marcos explicativos que ratifican la emergencia del discurso identitario

en las agendas de diferentes proyectos políticos y pedagógicos que surgen en las facultades de educación. Partiendo de algunos consensos sobre la conceptualización de la identidad ambiental, es claro que esa conexión que establecen las personas con el medio natural y los significados que elaboran de sí mismas con el entorno (Stets y Biga, 2003) son elementos indispensables en los procesos de formación docente. Así, la docencia aporta reflexiones profundas a los modos de comprender la realidad y el saber ambientales, que permiten reconocer las representaciones sociales y las concepciones frente a las prácticas ambientales e involucrar la afectividad, las actitudes, los comportamientos y la misma praxis educativa en el contexto ambiental.

Tomando como referencia a Clayton (2003), la identidad ambiental se relaciona con el sentido de conexión que se establece con el entorno natural no humano, "basado en la historia, el apego emocional, y/o similitud, que afecta las formas en que percibimos y actuamos hacia el mundo; una creencia de que el medio ambiente es importante para nosotros y una parte importante de quiénes somos" (pp. 45-46). Autores como Li *et al.* (2016) afirman que en la configuración de la identidad ambiental existen dos posturas:

- El *antropocentrismo*, que propugna la escisión entre la naturaleza y la sociedad, tomando como lema del progreso la utilización de una imagen del hombre como el centro del universo. En esta postura, el ser humano se concibe como sujeto y la naturaleza se categoriza como objeto, constituyéndose esta división en la génesis de la crisis ambiental de las sociedades modernas. En esta perspectiva, la naturaleza se asocia con un depósito de recursos que tiene como fin la satisfacción de las necesidades humanas.
- El *biocentrismo* coloca a la naturaleza como un sujeto de derechos, propugnando la conservación, la sustentabilidad y la ética ambiental. Asimismo, se reconoce la coevolución entre la naturaleza y la cultura, concediendo una importancia moral a todos los seres vivos del planeta (Burgui, 2011), lo cual contribuye a reconocer el valor intrínseco de los llamados seres de la naturaleza, más allá de cosificarlos o convertirlos en valores materiales.

IDENTIDAD AMBIENTAL EN PROFESORES DE CIENCIAS

Las posturas antropocéntricas y biocéntricas revelan la importancia de considerar la filosofía ambiental y la ética ambiental como punto de partida para revelar el estatus ontológico de los procesos y las relaciones que se establecen con la naturaleza. En este punto es pertinente mencionar que existen posiciones que manifiestan objeciones a estos planteamientos, debido al carácter determinista de los mismos y al denominado "emotivismo ecológico", que si bien muestra la empatía entre el hombre y la naturaleza, devela también que los juicios de valor se interpretan a partir de sentimientos y emociones, dejando de lado la razón (Cabrera, 2001). De esta manera, un campo de estudio promisorio en el estudio de la identidad ambiental tiene que ver con la representación de los profesores en formación y en ejercicio sobre sí mismos y la realidad ambiental que construyen en comunidad, particularmente la integración entre las representaciones sociales, las prácticas discursivas y los conocimientos que se construyen en torno al ambiente. Un acercamiento a esta mirada emergente de la identidad ambiental de los profesores invita a pensarla como "un concepto bisagra que articula la representación social de los individuos sobre el mundo natural, su conexión o apego emocional con la forma en que valoran e interactúan con ese mundo" (Porras y Pérez, 2022).

Algunos estudios relacionados con las ideas, las concepciones y las representaciones sociales que construyen profesores de ciencias en formación inicial y docentes en ejercicio, frente al ambiente (Tuay, Porras y Pérez, 2016), la crisis ambiental (Porras, 2016), la biodiversidad (Bermúdez, Pérez y Ottogalli, 2022; Pérez, 2019) y el cambio climático (Porras y Pérez, 2022), sugieren que los marcos interpretativos sobre los cuales se construye la realidad ambiental se enmarcan en un contexto de significación cercano a la perspectiva antrópica, en la cual se prioriza la escisión entre el hombre y la naturaleza, dejando en segundo plano las condiciones de bienestar y el mejoramiento de la calidad de vida de todos los otros seres de la naturaleza. Estas investigaciones corroboran la posición crítica de los docentes, al asociar aspectos culturales propios de la reconfiguración de los territorios con procesos educativos que surgen de los entornos naturales y construidos, promoviendo de esta manera un sentimiento de apego que constituye un elemento crucial para configurar la identidad ambiental.

REPRESENTACIONES SOCIALES

Diversas investigaciones sobre las representaciones sociales del ambiente vienen presentándose en el contexto latinoamericano (Flores, 2008; Flores y González-Gaudiano, 2008; Tuay, Porras y Pérez, 2016), posicionando este tema como eje de discusión en el ámbito educativo. La tipología de representaciones sociales que prevalece en las instituciones educativas, de corte naturalista-conservacionista, muestra la tendencia antropocéntrica y globalizante que han asumido ciertas iniciativas en educación ambiental, refrendando una mirada aislada de los sujetos frente a la naturaleza. En anteriores estudios se ha considerado que la representación social se convierte en un término polisémico, una categoría pluriparadigmática (Pérez y Porras, 2005), un concepto sinonímico que, como marco interpretativo de la realidad, permite a los sujetos evaluar y construir explicaciones a través de los procesos comunicativos y de interacción social (Pérez, Porras y Guzmán, 2013). Moscovici (1979) comprende la representación como un corpus organizado de conocimientos y como "una de las actividades psíquicas gracias a las cuales los hombres hacen inteligible la realidad física y social, se integran en un grupo o en una relación cotidiana de intercambios, liberan los poderes de su imaginación" (Moscovici, 1979, p. 18).

El carácter simbólico de la comunicación, el papel de los medios y las distintas fuentes de información, se consideran un factor clave que puede influir en la reafirmación o transformación de las representaciones sociales. De ahí que las representaciones sociales hagan referencia "a una serie de sistemas cognitivos que poseen una lógica y un lenguaje particulares […], destinad[o]s a descubrir la realidad y ordenarla" (Moscovici, 1986, p. 496). Una realidad construida por el individuo y su relación con los otros, por sus subjetividades y las interacciones cotidianas que se vivencian, permiten pensar en la representación social como

> […] sistemas cognitivos en los que es posible reconocer la presencia de estereotipos, opiniones, creencias, valores y normas que suelen tener una orientación actitudinal positiva o negativa. Se constituyen, a su vez, como sistemas de códigos, valores, lógicas clasificatorias, principios interpretativos y orientadores de las prácticas, que definen la llamada conciencia colectiva, la cual se rige con fuerza normativa en tanto instituye los límites y las posibilidades de la forma en que las mujeres y los hombres actúan en el mundo. (Araya, 2002, p. 11)

Las representaciones sociales, como sistemas de interpretación de la realidad que guían las relaciones de los individuos con su entorno físico y social, pueden analizarse apelando al enfoque estructuralista y particularmente a la propuesta de la *teoría del núcleo central de la representación* (Guimelli y Rouquette, 1992; Vergès, 1992; Abric, 1993; Guimelli, 2001). Esta teoría sostiene que las representaciones sociales están organizadas en un sistema doble, con un núcleo central y una periferia, lo cual asegura una cierta estabilidad del campo representacional. Uno de los investigadores líderes en este enfoque es el profesor Abric (2001), quien señala que entre las funciones de la representación social se encuentran el entender y explicar la realidad; definir la identidad de los grupos; orientar los comportamientos y las prácticas; y permitir justificar posturas y comportamientos. Según este autor, la hipótesis del núcleo central de la representación establece que "la organización de una representación presenta una modalidad particular, específica: no únicamente los elementos de la representación son jerarquizados sino además toda representación está organizada alrededor de un núcleo central, constituido por uno o varios elementos que dan su significación a la representación" (Abric, 2001, p. 18).

METODOLOGÍA

La estructura de la representación social (figura 9.1) consta de un núcleo central conformado por las palabras que tienen una alta frecuencia y un bajo rango de aparición, por lo que se consideran las más importantes; la zona de contraste involucra las palabras con baja frecuencia y alta importancia (rango bajo). Según Abric (2001; 2003), estas palabras de la zona de contraste "revelan la existencia de subgrupos portadores de una representación diferente, cuyo núcleo estaría compuesto por uno o más elementos aquí presentes" (Abric, 2003, p. 64). El sistema periférico está constituido por aquellos elementos que pueden modificarse en la representación, se caracterizan por tener un rango alto de evocación y por lo tanto una importancia baja en el esquema representacional de los sujetos. Para el tratamiento de los datos recolectados, se utilizó el *software* Open Evoc 0,92 (Sant'Anna, 2012), inspirado en el *software* Ensemble de Programmes Permettant l'Analyse des Évocations (EVOC), propuesto por Vergès (2001), el cual permite desarrollar una organización de las palabras evocadas en función de su jerarquía, particularmente la interacción entre la frecuencia media y el rango de aparición.

		RANGO	
		Bajo (Importancia alta)	Alto (Importancia Baja)
FRECUENCIA	Alta	Núcleo central (++)	Elementos de la 1.ª Periferia (+-)
	Baja	Zona de contraste (-+)	Elementos de la 2.ª Periferia (--)

Figura 9.1. Estructura de la representación social
Fuente: Porras (2016, p. 438).

Este estudio cualitativo, de corte descriptivo y exploratorio, se basa en el enfoque estructural de las representaciones sociales. La investigación se realizó con la participación de profesores en ejercicio que adelantan su labor en instituciones educativas de contextos urbanos y rurales de Colombia. En este sentido, se contó con un total de 20 maestros que se desempeñan en el área de Ciencias Naturales y Educación Ambiental y participan en proyectos y propuestas ambientales.

El 60 % de los maestros participantes laboran en la ciudad de Bogotá y sus instituciones se encuentran en el área urbana, mientras que en menor proporción se cuenta con profesores que trabajan en colegios de la zona rural de la capital. Por su parte, el 40 % de los docentes encuestados adelantan sus labores educativas en municipios de los departamentos de Tolima, Cundinamarca y Córdoba. El 35 % de los participantes cuentan con una experiencia entre 6 a 10 años; mientras que en los rangos de 16 a 20 años, 21 a 25 años y 26 a 30 años se registra el 45 %; por último, en los rangos de 1 a 5 años y de 11 a 15 años se encuentra el 20 % de los participantes. A este respecto, se encuentran en mayor proporción profesores con una importante experiencia de más de 6 años en los centros escolares donde adelantan su ejercicio docente.

En la primera parte de esta investigación, el método utilizado para identificar los elementos centrales y periféricos de la representación social fue el análisis prototípico y categorial, desarrollado por Vergès (1992) a partir de la técnica de asociación libre de palabras.

En este se solicita a los participantes que escriban cinco palabras que puedan ser equivalentes a "identidad ambiental", con lo cual se analizan tanto la frecuencia con la que se repite una palabra en la población como el orden de evocación, es decir si los participantes organizan las palabras en primer, segundo, tercero, cuarto o quinto lugar, lo cual es un indicador de su importancia en el esquema representacional que construyen las personas.

En la segunda parte del estudio se entregó a los participantes un cuestionario en el que se solicitaba responder preguntas relacionadas con las ideas sobre la identidad ambiental. Para efectos del presente capítulo, se hará énfasis en las respuestas aportadas a la pregunta: ¿Qué considera que es la identidad ambiental?

RESULTADOS Y ANÁLISIS

Los participantes del estudio produjeron 100 palabras, de las cuales 49 fueron distintas. En una primera etapa del análisis de prototipicidad, propio de la estructura representacional de la identidad ambiental, se determinó una frecuencia mínima de evocación de tres (3) y un rango mínimo de tres (3). Estas palabras se reseñan a continuación en orden de frecuencia:

Tabla 9.1. *Frecuencia de evocación de las palabras*

1	**Territorio**	**2**	**Cultura**	**3**	**Sustentabilidad**	**4**	**Problemática**
5	Conocimiento	6	Ambiente	7	Valores	8	Conciencia
9	Entorno	10	Prácticas	11	Relaciones	12	Ciudadanía
13	Apropiación	14	Biocultura	15	Educación	16	Contexto
17	Saberes	18	Reflexión	19	Cambio climático	20	Transformación

Fuente: elaboración propia.

Gracias al programa Open Evoc 0,92 (Sant'Anna, 2012), inspirado en el *software* Ensemble de Programmes Permettant l'Analyse des Évocations (EVOC) propuesto por Vergès (2001), se organizaron las palabras evocadas en función de su jerarquía, particularmente la interacción entre la frecuencia media y el rango de aparición, cuya sistematización se presenta en la tabla 14.

Tabla 9.2. *Organización de las palabras evocadas mediante software* EVOC/2005

++	**Frecuencia >= 7 / Orden de evocación < 3**	
22,44	Territorio	2, 36
10,20	Sustentabilidad	2.8
8,16	Pertenencia	2,5

+-	**Frecuencia >= 7 / Orden de evocación = > 3**	
14,28	Cultura	1,7
8,16	Valores	1,71
8,16	Ambiente	3,5
8,16	Conocimiento	3

-+	**Frecuencia >= 7 / Orden de evocación < 3**	
6,12	Entorno	2,66
4,18	Relaciones	2,5
4,18	Educación	2,5
4,18	Reflexión	2,5
4,18	Transformación	2,5
4,18	Apropiación	2
4,18	Biocultura	2
4,18	Ciudadanía	1,5
4,18	Contexto	1,5

--	**Frecuencia >= 7 / Orden de evocación < 3**	
6,12	Conciencia	4
6,12	Prácticas	3,5
4,18	Cambio climático	3,5
4,18	Saberes	3

Fuente: elaboración propia.

El núcleo central de la representación social de la identidad ambiental está formado por tres (3) palabras: territorio, sustentabilidad y pertenencia; todas ellas hacen referencia a un sentimiento de apego y reconocimiento del lugar y particularmente del entorno sobre el cual se construyen las relaciones sociales. En la zona de contraste se encuentran otras palabras que guardan relación directa con el núcleo central de la identidad ambiental: entorno, relaciones, educación, reflexión, transformación, apropiación, biocultura, ciudadanía y contexto. Estas denominaciones reflejan elementos constitutivos de la categoría axiológica, enfocada al estudio de juicios valorativos, la cual denota una actitud positiva de los docentes hacia su grado de conexión y conciencia en torno a los temas ambientales.

En las zonas periféricas se ubican dos (2) tipos de denominaciones de la identidad ambiental: aquellos elementos que realzan un acercamiento a la realidad en el contexto de significación en el cual

se desenvuelven los docentes, tales como cultura, valores, ambiente o conocimiento. Por otra parte, el reconocimiento de aspectos cognitivos, afectivos y actuacionales propios del campo ambiental se ratifica con la evocación de palabras como conciencia, prácticas, cambio climático y saberes.

Las ideas expresadas por los profesores en ejercicio frente a la identidad ambiental permiten reconocer la complejidad del término y las diferentes formas de significación que muestran las múltiples categorías que emergen en el estudio (figura 9.2). Destacan las dimensiones ética, epistémica, afectiva, educativa y política, las cuales ofrecen una mirada enriquecida frente a este término e invitan a seguir ampliando las discusiones a este respecto. En este sentido, las voces de los participantes muestran un interesante despliegue de las formas en que la identidad ambiental puede ser construida, experimentada, reflexionada y transformada desde una perspectiva plural, con intereses asociados al bienestar y al cuidado del ambiente.

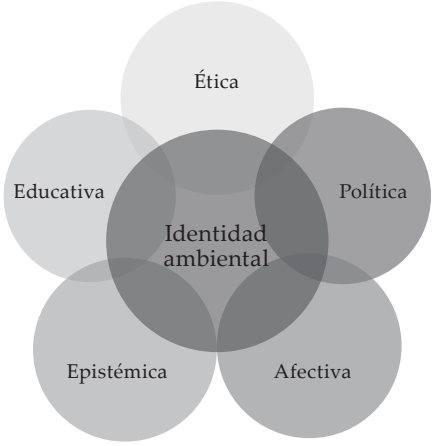


Figura 9.2. Dimensiones de la identidad ambiental
Fuente: Elaboración propia.

DIMENSIONES DE LA IDENTIDAD AMBIENTAL

A continuación se presentan los resultados que derivan de la indagación con profesores en ejercicio sobre cómo conciben la identidad ambiental. Para ello, se llevó a cabo un proceso de organización de las ideas aportadas por el grupo de participantes en cinco dimensiones, las cuales permiten reconocer la importancia de su abordaje dado el alcance que puede tener en los procesos de formación y el campo de acción educativa en el que se encuentran adelantando su labor.

Dimensión ética

Con referencia a las ideas aportadas por los maestros respecto a la identidad ambiental, se encuentra que para la mayoría "la consciencia de hacer parte de un todo-naturaleza" se erige como un eje fundamental que permite comprender el lugar del ser en el mundo, al formar parte de la existencia en cuanto a su ser. Tal como lo expresa Wenger (2001), la interacción de cada sujeto con el entorno se convierte en una experiencia de identidad, como parte de la existencia y la conciencia humana. Esto supone un desplazamiento del imperativo que por siglos situaba al ser humano por encima de las demás formas de existencia y de la naturaleza en general, para dar cabida a la coexistencia como potencia para reflexionar sobre el mundo viviente y la complejidad la vida.

Tabla 9.3. *Dimensión ética de la identidad ambiental*

Dimensión	Ideas
Ética	La identidad ambiental es ser consciente de que hacemos parte de un todo que es la naturaleza. E.7.
	Es el compromiso personal y colectivo frente a la preservación de los recursos renovables y no renovables. E.10.
	Es la forma en que nos hacemos parte de las interacciones que ocurren a nivel de la naturaleza. Además de la profunda responsabilidad y compromiso que ejercemos cuando entendemos que somos parte de las complejidades de la naturaleza. E.15.

Fuente: elaboración propia.

De acuerdo con las discusiones de la ética ambiental, es importante reconocer la necesidad de ampliar el horizonte de consideración moral más allá de los intereses humanos, para vincular los valores intrínsecos de la naturaleza y, a su vez, considerar las condiciones y posibilidades de las nuevas generaciones (Lecaros, 2013). En tal sentido, autores como Li *et al.* (2016) establecen que en la configuración de la identidad ambiental se pueden identificar dos posturas: la visión antropocéntrica, que objetiva la naturaleza como depositaria de recursos para satisfacción del ser humano, y la visión biocéntrica, que otorga una importancia moral a todos los seres vivos y sus valores intrínsecos y que busca contribuir a una comprensión del ser humano y su relación con el entorno. A este respecto, se destaca lo expresado por la mayoría de los participantes al vincular la responsabilidad, el

compromiso individual y colectivo con la naturaleza, es decir que, en estos términos, la identidad ambiental incorpora aquellos fundamentos de la ética ambiental basada en los deberes y responsabilidades del ser humano con las generaciones futuras y la naturaleza, extendidas en el espacio y el tiempo.

Dimensión epistémica

De acuerdo con lo expresado por algunos de los profesores participantes, la identidad ambiental se define como "la representación que se tiene de sí y de su relación con la naturaleza", elementos que permiten apreciar una doble condición en cuanto construcción del conocimiento, puesto que involucra la construcción de sí mismos y de las relaciones que elaboran con la naturaleza, las cuales hacen parte de su devenir, pues, como se enuncia, la construcción se plantea desde los saberes y las experiencias que hacen parte de la existencia del ser, y en su elaboración y enriquecimiento son susceptibles de cambio en el tiempo.

Tabla 9.4. *Dimensión epistémica de la identidad ambiental*

Dimensión	Ideas
Epistémica	Es la representación que el individuo tiene sobre sí mismo y su relación con la naturaleza. Se construye desde los saberes y las experiencias en las que el sujeto se ve inmerso y es susceptible de cambio. E.3.
	La identidad ambiental es referida a los significados que una comunidad tiene sobre el entorno y, por lo tanto, determina las actuaciones sobre el mismo. E.4.
	Concibo la identidad ambiental como un proceso de reconocimiento del territorio donde se establecen relaciones entre las personas que viven allí y con el medio. E.11.
	La manera en que significamos y por ende cómo nos relacionamos con el ambiente-territorio. E. 16.

Fuente: elaboración propia.

Otro aspecto importante que hace parte de las definiciones aportadas por los profesores corresponde a la "atribución de significados a un lugar" tanto a nivel individual como colectivo; estos significados forman parte de las construcciones que se tienen de los entornos en los que se habita y que permiten edificar una serie de conocimientos que hacen parte de las experiencias de los sujetos

y las comunidades. En este sentido, la identidad ambiental propone la movilización de conocimientos y experiencias de individuos y colectivos con las acciones que se llevan a cabo en el entorno. Por último, se muestra la identidad ambiental como simultaneidad de experimentar el ver, vivir y sentir el territorio por parte de los sujetos, aspectos que enriquecen y complejizan su significado.

Dimensión afectiva

Otra de las contribuciones de los profesores participantes sobre identidad ambiental corresponde a la importancia que le otorgan al establecimiento del vínculo con el lugar que se habita, aspecto que guarda estrecha relación con lo propuesto por Clayton (2003), quien sostiene que la identidad ambiental supone un sentido de conexión con alguna parte del entorno natural y que en la historicidad de cada sujeto se configura un apego emocional que incide en la capacidad de agencia. Estos elementos han sido materia de análisis en la literatura que aborda el apego al lugar, que hace especial referencia al vínculo emocional o afectivo que establecen las personas con los lugares (Lewicka, 2011) y que puede ser tanto en el plano de lo personal como de lo colectivo. Estos vínculos se enfocan en las maneras de ver, vivir y sentir el territorio y pueden aportar experiencias significativas que inciden en su grado de proximidad con el lugar, con un matiz que incorpora elementos de la identidad del lugar, especialmente por los componentes del entorno y por las relaciones que se tejen a través de lo vivido y su proyección a futuro.

Tabla 9.5. *Dimensión afectiva de la identidad ambiental*

Dimensión	Ideas
Afectiva	Es la forma como los individuos ven, *sienten y viven su territorio.* E.9.
	Todos los aspectos que llevan a identificar un territorio, con unas prácticas y unos saberes respecto al *manejo y el cuidado* de la naturaleza.
	El reconocimiento de los territorios ambientales, sus problemáticas, impacto y acciones de transformación. E.19.
	Es el vínculo que los individuos establecen con el lugar en que se habita y las prácticas que inciden en su protección ambiental. E.20.

Fuente: elaboración propia.

Asimismo, se introduce la relación entre el vínculo que establecen las personas con el lugar y las prácticas enfocadas en su protección ambiental. Estos aspectos reafirman una relación afectiva que incide no solo en conocer el lugar, dotar de significado esta relación, sino también en contribuir en su protección como una relación que favorece la coexistencia y la convivencia, que se traducen en bienestar o también como la oportunidad de identificar problemáticas para crear alternativas de solución que contribuyan a procesos de conservación y cuidado del ambiente.

Dimensión educativa

En las respuestas aportadas por los profesores participantes se puede apreciar la relevancia que otorgan a la identidad ambiental como posibilidad para vincular los conocimientos y experiencias de las relaciones que se tejen con la naturaleza, para educar a otros en su aspiración de propiciar cambios a favor de la vida en todas sus manifestaciones. Es por ello que se hace especial énfasis en promover capacidades que aluden al bienestar y prácticas de vida saludable, es decir, que se construya una visión de presente y de futuro mediante el fortalecimiento del ser y el hacer desde una ciudadanía libre y responsable con capacidades que contribuyan al bien-estar o el vivir-bien, a nivel individual y colectivo.

Tabla 9.6. *Dimensión educativa de la identidad ambiental*

Dimensión	Ideas
Educativa	Establecer y promover una serie de capacidades que beneficien prácticas de vida saludables a nivel individual y colectivo. E.6.
	Apropiación de un territorio para la protección y educación de lo ambiental. E.13.

Fuente: elaboración propia.

La educación puede proporcionar las bases para viabilizar alternativas en el desarrollo de capacidades en ámbitos de libertad, como lo expresa Nussbaum (2012), es decir, una visión del ser y del hacer que tenga en cuenta el valor de la vida, la posibilidad de construir relaciones de afiliación con otros, el respeto por las demás entidades del mundo viviente, el sentimiento de apego por otros y por la naturaleza, que permite reivindicar la dignidad humana con

un énfasis en las personas y los colectivos. Estos aspectos brindan un marco de reflexión que invita a considerar la identidad ambiental como posibilidad de construcción a nivel educativo desde una multidimensionalidad del ser en una lógica de valorar la vida que vincula a las demás formas de existencia y la naturaleza en su complejidad, para aportar e incidir en la generación de alternativas de solución que aporten al cuidado y protección del ambiente del que se es parte.

Dimensión política

Siguiendo los planteamientos de los profesores participantes, es importante reconocer que en la base de la identidad ambiental se encuentra una dimensión política que permite al individuo situarse en relación con el mundo e interpretar las realidades (Berger y Luckmann, 2012), además de responder a los cambios constantes de la sociedad, de los desarrollos de la ciencia y la tecnología y de los desafíos que demanda el balance de los impactos de actividades antrópicas frente a la biodiversidad (Bermúdez, Pérez, Ottogalli, 2022). Hay una especial referencia al cambio climático (Porras y Pérez, 2022), la contaminación de fuentes hídricas y del aire, entre otros. En esta vía, se aprecia que los profesores plantean la necesidad de tener una postura frente a las problemáticas ambientales, que pueden ser tanto en la escala local como global, con distinto nivel de repercusión e implicación.

Tabla 9.7. *Dimensión política de la identidad ambiental*

Dimensión	Ideas
Política	Es tener una postura propia sobre las situaciones y problemáticas ambientales que se presentan en nuestro planeta. E.12.
	Es el apersonamiento que tenemos por el conocimiento, cuidado del entorno y de los ecosistemas. E.5.

Fuente: elaboración propia.

Asimismo, se plantea, en una dirección propositiva, la apropiación frente al conocimiento del entorno, como espacio de interacción y de habitabilidad, lo cual también implica la idea de cuidado, que abre un espacio al compromiso y la responsabilidad en las acciones que se ejercen, teniendo en cuenta las formas de construcción del conocimiento del entorno y las prácticas de cuidado que se producen

tanto a nivel individual como colectivo. Prácticas sociales que articulan la sociedad, el entorno y la cultura en la lógica de un sentido de la vida sustentable (Leff, 2014).

CONSIDERACIONES FINALES

A partir de los resultados obtenidos, se puede reconocer la complejidad del término *identidad ambiental* para los profesores en ejercicio, en tanto es posible identificar la multidimensionalidad que subyace a las formas en que es representada. La emergencia de dimensiones como lo ético, lo afectivo, lo epistémico, lo educativo y lo político enriquecen las discusiones, a la par que dotan de significado al término y abren la reflexión frente a su relevancia en los procesos educativos, especialmente al mostrar que, a través de las diversas formas de conocer y de relacionarse con el mundo en su devenir, se elaboran significados que se comparten en lo colectivo. De acuerdo con lo expresado, las representaciones de estos significados hacen parte de las experiencias y el despliegue de lo cognitivo, lo sensitivo, lo afectivo y lo valorativo, que en su entramado operan en la construcción de conocimiento y en la apertura de nuevos aprendizajes que emergen en una constante interacción entre el ser con capacidad de agencia, la naturaleza y la cultura.

De acuerdo con las ideas aportadas por los profesores participantes, es importante destacar que la identidad ambiental se puede constituir en posibilidad para dinamizar procesos educativos, pues como se plantea en Porras y Pérez (2019), su estudio permite a las personas, además de elaborar significados y sentidos en torno al ambiente, promover iniciativas de interacción social que pueden servir de catalizadores para la comprensión y transformación de realidades ambientales. En este sentido, es importante tener en cuenta que desde los diferentes contextos en que se adelanta la labor docente se expresa un compromiso por interpretar las relaciones que se producen y las problemáticas que se presentan para buscar alternativas que permitan la construcción de mundos posibles, donde la vida en todas sus manifestaciones tenga especial relevancia.

REFERENCIAS

Abric, J.-C. (1993). Central system, peripheral system: their function and roles in the dynamic of social representations. *Papers on Social Representations, 2*(2), 75-78.

Abric, J.-C. (2001). *Prácticas sociales y representaciones*. Ediciones Coyoacán.

Abric, J.-C. (2003). La recherche du noyau central et de la zone muette des représentations sociales. En J.-C. Abric (Ed.), *Méthodes d'étude des représentations sociales* (pp. 59-80). Erès.

Araya, S. (2002). *Las representaciones sociales: ejes teóricos para su discusión.* Facultad Latinoamericana de Ciencias Sociales.

Berger, P. y Luckmann, T. (2012). *La construcción social de la realidad.* Editorial Amorrortu.

Bermúdez, G. M. A., Pérez-Mesa, R. y Ottogalli, M. E. (2022). Biodiversity knowledge and conceptions in Latin American: Towards an integrative new perspective for education research and practice. *International Journal of Education in Mathematics, Science, and Technology (IJEMST), 10*(1), 175-217. https://doi.org/10.46328/ijemst.2105

Burgui, M. (2011). *Ética medioambiental: responsabilidad y derechos*. Bubok Publishing.

Cabrera, C. A. (2001). Valores y sentimientos: un enfoque freudoemotivista. *Anuario de Filosofía del Derecho, 18*, 149-180.

Clayton, S. (2003). Environmental identity: a conceptual and an operational definition. En S. Clayton y S. Opotow (Eds.), *Identity and the natural environment. The psychological significance of nature* (pp. 45-65). MIT Press. https://doi.org/10.7551/mitpress/3644.003.0005

Di Fabio, A. (2018). *The psychology of sustainability and sustainable development for decent work, innovation and social inclusion: theory, research and practice*. Ponencia. The One-Day International Conference "Decent work and sustainable development: the perspective of existential psychology for innovation and social inclusion". Departmento de Educación y Psicología, Universidad de Florencia.

Di Fabio, A. y Rosen, M. A. (2018). Opening the black box of psychological processes in the science of sustainable development: a new frontier. *European Journal of Sustainable Development Research, 2*(4), 47. https://doi.org/10.20897/ejosdr/3933

Domínguez, M.C. (2006). *Investigación y formación del profesorado en una sociedad intercultural.* Universitas.

Flores, R. (2008). Representaciones sociales del medio ambiente. *Perfiles Educativos, 30*(120), 33-62.

Flores, R. y González-Gaudiano, E. (2008). Representaciones sociales del medio ambiente. Un problema central para el proceso educativo. *Trayectorias, 10*(26), 66-78.

Gallay, E. Pykett, A. y Flanagan, C. (2021). We make our community: youth forging environmental identities in urban landscapes. *Sustainability, 13,* 7736. https://doi.org/10.3390/su13147736

Guimelli, C (2001). La función de enfermera. Prácticas y representaciones sociales. En J.-C. Abric (Ed.), *Prácticas sociales y representaciones* (pp. 75-96). Ediciones Coyoacán.

Guimelli, C. y Rouquette, M. L. (1992). Analyse structurale des représentations sociales. *Bulletin de Psychologie, 405*(45), 196-202.

Lecaros, J. A. (2013) La ética medio ambiental: principios y valores para una ciudadanía responsable en la sociedad global. *Acta Bioética 19*(2), 177-188. https://scielo.conicyt.cl/pdf/abioeth/v19n2/art02.pdf

Leff, E. (2014). *La apuesta por la vida. Imaginación sociológica e imaginarios sociales en los territorios ambientales del sur.* Siglo XXI Editores.

Lewicka, M. (2011). Place attachment: How far have we come in the last 40 years? *Journal of Environmental Psychology, 31*(3), 207-230. https://doi.org/10.1016/j.jenvp.2010.10.001

Li, D., Kim, S., Lee, Y.-K. y Griffin, M. (2016). Sustainable environmental development: the moderating role of environmental identity. *Asian Journal of Social Psychology, 19*(4), 298-310. https://doi:10.1111/ajsp.12146

Moscovici, S. (1986). *Pensamiento y vida social psicología social* (vol. 2, *Pensamiento y vida social/Psicología social y problemas sociales*). Ediciones Paidós.

Moscovici, S. (1979). *El psicoanálisis: su imagen y su público.* Heumul.

Nussbaum, M. C. (2012). *Crear capacidades. Propuesta para el desarrollo humano* (trad. A. S. Mosquera). Paidós.

Pérez, M., Porras, Y. y Guzmán, H. (2013). Representaciones sociales de la educación ambiental y del campus universitario: una mirada de los docentes en formación de la UPN. *Tecné, Episteme y Didaxis: TED, 34,* 47-69. http://www.scielo.org.co/pdf/ted/n34/n34a04.pdf.

Pérez, R. (2019). Concepciones de biodiversidad y prácticas de cuidado de la vida desde una perspectiva cultural. Reflexiones a propósito de la formación de profesores de biología. *Tecné, Episteme y Didaxis: TED, 45,* 17-34. https://doi.org/10.17227/ted.num45-9830

Pérez, R. y Porras, Y. (2005). La complejidad en el marco de una propuesta pluriparadigmática. *Tecné, Episteme y Didaxis, 17,* 104-116.

Porras, Y. (2016). Representaciones sociales de la crisis ambiental en futuros profesores de química. *Ciência & Educação (Bauru), 22,* 431-449. https://www.researchgate.net/publication/303915141_representaciones_sociales_de_la_crisis_ambiental_en_futuros_profesores_de_quimica

Porras, Y. (2016). Representaciones sociales de la crisis ambiental en futuros profesores de química. *Ciência & Educação, 22*(2), 431-449.

Porras, Y. y Pérez, R. (2022). Representaciones sociales del cambio climático en futuros profesores de Ciencias: Una mirada desde la perspectiva freiriana. *Tecné, Episteme y Didaxis: TED, 52,* 1-17.

Porras-Contreras, Y. A. y Pérez-Mesa, M. R. (2019). Identidad ambiental: múltiples perspectivas. *Revista Científica, 34*(1), 123-138. https://doi.org/10.14483/23448350.14003

Sant'Anna, H. C. (2012). OpenEvoc: um programa de apoio à pesquisa em representações sociais. *Anais do VII Encontro Regional da Abrapso-ES,* 94-99. http://www.academia.edu/2226246/openEvoc_Um_programa_de_apoio_a_pesquisa_em_Representacoes_Sociais

Stets, J. E. y Biga, C. F. (2003). Bringing identity theory into environmental sociology. *Sociological Theory, 21,* 398-423. https://doi.org/10.1046/j.1467-9558.2003.00196.x

Tuay, N., Porras, Y. y Pérez, M. R. (2016). Representaciones de ambiente y sustentabilidad de docentes en formación inicial de la Universidad Pedagógica Nacional y en ejercicio de escuelas normales superiores. *Indagatio Didactica, 8*(1), 610-621.

Vergès, P. (1992). L'évocation de l'argent: une méthode pour la définition du noyau central de la représentation. *Bulletin de Psychologie, 45*(405), 203-209.

Vergés, P. (2001). L'analyse des représentations sociales par questionnaires. *Revue française de sociologie, 42*, 537-561.

Wenger, E. (2001). *Comunidades de práctica. Aprendizaje, significado e identidad.* Paidós.

Capítulo 10. Articulando la educación en ciencias y la formación ecociudadana desde el enfoque de las capacidades humanas

Isabel Garzón Barragán
Universidad Pedagógica Nacional

El derecho a la educación es inherente al derecho a vivir.

INTRODUCCIÓN

En diciembre del 2019, un brote de neumonía de origen desconocido se reportó en una provincia de China. La investigación científica mostró que la causa de esta letal neumonía se debía a un nuevo coronavirus, que todos conocemos hoy como COVID-19. Debido al contagio cada vez mayor, la Organización Mundial de la Salud declaró una pandemia el 12 de marzo del 2020. Hasta el día de hoy, los seres humanos hemos pagado un alto precio debido a esta

pandemia, en términos de las vidas humanas perdidas, los efectos económicos y el aumento de la pobreza. A esta situación ahora se le agrega el impacto de la invasión de Rusia a Ucrania, una guerra que está acentuando aún más los efectos económicos adversos.

En el caso de América Latina, la pandemia de la covid-19 ha tenido un grave impacto socioeconómico. La caída de la actividad económica y del empleo, tanto formal como informal, ha ocasionado que la pobreza y la desigualdad hayan aumentado a niveles alarmantes; en el caso de Colombia, la caída en los niveles de la actividad económica durante 2020 fue de – 6,8 %, en contraste con el 3,3 % de crecimiento que se tenía proyectado. Cabe señalar que la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (Cepal) ha planteado que la situación social en la región se venía deteriorando, incluso antes de enfrentar la pandemia, debido al aumento de los índices de pobreza y de pobreza extrema y la persistencia de las desigualdades (Comisión Económica para América Latina y el Caribe - Cepal y Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura - Unesco, 2020).

En el ámbito educativo, la pandemia dio lugar al cierre masivo de las actividades presenciales en todos los niveles de formación de instituciones educativas en más de 190 países. Nos vimos en la necesidad de mantener los procesos de enseñanza-aprendizaje mediante diferentes alternativas en las formas de implementar el currículo, por medios no presenciales, sin contar con estrategias nacionales o locales de educación por medios digitales (Álvarez Marinelli *et al*., 2020). Dado el acceso desigual a conexiones a internet, los sectores de nuestras poblaciones principalmente afectados han sido los de menores ingresos o mayor vulnerabilidad.

Como lo mencionan la Cepal y la Unesco (2020), la crisis generada por la covid-19 no afectó únicamente a América Latina, sino que surgió en un escenario de poco bienestar social o económico para todos los habitantes humanos de esta casa común, la Tierra; además, la pandemia se dio en medio de la crisis ambiental generada por la racionalidad humana que gobierna el mundo, que privilegia la producción y acumulación de capital con base en la sobreexplotación de los recursos y la degradación del ambiente, bajo el supuesto antropocéntrico. Esta crisis se manifiesta en la afectación de los

suelos, el agua, el aire y de todos los seres vivientes, incluidos nosotros. No olvidemos que somos tierra, agua y aire; solo basta observarnos desde nuestro nacimiento hasta la muerte, siempre alimentados de tierra, agua y aire, organizados de muy diversas formas, como frutas o verduras.

El cambio climático y la extinción de especies se están dando a un ritmo que es urgente frenar. Es necesario reconsiderar, entre otras, las formas de llevar a cabo los procesos educativos, y en nuestro caso particular la educación en ciencias, que pareciera seguir apostando principalmente por más de lo mismo, es decir, una educación en ciencias que habitualmente se había limitado, en gran medida, a propiciar en los niños, niñas y jóvenes habilidades, construcción de conocimiento científico escolar e información de la cultura científica para un momento determinado sin considerar el futuro de las nuevas generaciones, asumiendo que la naturaleza cambia poco o casi nada, aunque ha habido cambios en el campo de la educación en ciencias. Hoy en día nos vemos enfrentados a reconocer que la Tierra está cambiando rápidamente, por ejemplo, los bosques están desapareciendo; la deforestación de la Amazonia brasileña ha llevado a que entre agosto del 2018 y julio del 2019 se hayan perdido 10 129 km^2 de cobertura vegetal, según el Instituto Nacional de Pesquisas Espaciales (*El Ágora, Diario del Agua*, 2020), área similar al territorio del departamento de Sucre. En el caso de Colombia, la Amazonia perdió alrededor de 1400 kilómetros cuadrados en 2020, a pesar de la pandemia de la COVID-19 (*El Espectador*, 2021).

La deforestación, que no se detiene en el mundo, implica el deterioro y pérdida de hábitats de la biodiversidad, pues transforma las selvas y los manglares en campos agrícolas o ganaderos. Cada año vemos, en diversas regiones del mundo, que las tormentas son más grandes y las sequías más prolongadas y severas. Nuestro objetivo a través de la educación en ciencias ahora también debe acercarnos al conocimiento de la crisis ambiental y hacernos preguntar ¿qué vale la pena saber?, ¿qué es de valor perdurable?, ¿cómo ayudar a construir condiciones para un planeta habitable? Como docentes y educadores estamos enfrentados a desafíos abrumadores y, a la vez, a mayores oportunidades para lograr cambios sistemáticos y positivos.

¿CUÁL ES EL PROPÓSITO DE LA EDUCACIÓN EN CIENCIAS?

Una pregunta que se hace necesario formular es ¿cuál es el propósito de la educación en ciencias?, particularmente si se tiene en consideración que la política educativa y la práctica son orientadas por un instrumentalismo conducido primordialmente por criterios económicos. Es necesario revisar esta tendencia para poder fundamentar formas de repensar un propósito de la educación en ciencias que sea apropiado y se adecúe a las circunstancias actuales y al futuro colectivo.

Cabe preguntarnos si de lo que se trata es de preparar a las personas para acceder a puestos de trabajo y apoyar la competitividad económica. Parece que hay consenso en que la economía es impulsada por el conocimiento y las ideas y, en este sentido, la educación en los diferentes niveles debe potenciar la generación de conocimiento y las habilidades que impulsen el crecimiento económico en cada nación. Sin embargo, una mirada crítica a esta visión instrumental de la educación, inspirada en el cambio económico y las demandas de la economía y la cultura cada vez más globalizada, lleva a preguntarnos por cómo construir conocimiento crítico, esencial para el fomento de una sociedad democrática sana, pacífica y equitativa, que preserve la riqueza de la biodiversidad cultural y ecológica. Tejer una respuesta crítica empieza por reconocer que a través de la educación en ciencias se puede propiciar el desarrollo de la racionalidad científica ligada a la evolución del pensamiento crítico, tan esencial y saludable para profundizar en la construcción de formas de vida dignas.

Como especie, los humanos enfrentamos problemas globales sistémicos que están definiendo el futuro tanto de los humanos como de gran parte de la vida existente hoy; aun así, llama la atención que persiste una ceguera colectiva al respecto, en la sociedad en general y en los sistemas educativos, que se podría considerar como un desconocimiento de la realidad. Se requiere propiciar una respuesta desde lo educativo en general, y desde la educación en ciencias en particular, que propicie una transformación del pensamiento educativo, la formulación de políticas educativas y la práctica educativa basadas en una cosmovisión relacional y ecológica que ha venido emergiendo en diversos movimientos sociales. Esto permitiría generar propósitos educativos que apoyen formas de vida más creativas, colaborativas y solidarias.

El cómo se concibe la educación en ciencias está determinado por la visión particular del mundo y de los seres humanos que lo integran. El pensamiento neoliberal, desde los años ochenta, ha producido una reorganización de la racionalidad política, económica y social, para crear la autonomía del mercado (Castro-Gómez, 2015), que ha ganado hegemonía, internacionalmente, en las últimas tres décadas, promoviendo una sola forma de organizar las sociedades en general y la educación en particular. Este predominio del pensamiento neoliberal ha desplazado, sutil pero poderosamente, perspectivas liberales, holísticas y humanistas con respecto a la naturaleza y el propósito de la educación (Sterling, 2017), en la medida en que todos los actores de las instituciones educativas han internalizado los supuestos y los valores que le subyacen, sin ser cuestionados. De acuerdo con Smith (2016), una forma de llevar a cabo esto es la aplicación de pruebas con carácter global en las que estudiantes y profesores deben alcanzar los mismos estándares de la misma forma; así, un efecto del pensamiento neoliberal es negar la posibilidad de formas alternativas de organizar la educación. La mayoría de los que hacemos parte del sistema educativo hemos ido internalizando los modelos culturales que subyacen a estas pruebas, y no cuestionamos ni sus supuestos ni sus valores implícitos. Cabe mencionar que en el 2021 México suspendió la preparación de las pruebas PISA, que se aplican en 87 países (García Palafox, 2021), si bien en el 2022 se decidió volverla a aplicar.

Algunos de los supuestos del pensamiento neoliberal asociados a la educación incluyen suponer que la educación es clave para el éxito económico, que el propósito principal de la educación es posibilitar que los estudiantes tengan un perfil apropiado para ser empleados y que la economía sea más competitiva; en este sentido, la principal motivación de la mayoría de los estudiantes, adolescentes o jóvenes, es tener mejores perspectivas de empleo. Además, la perspectiva neoliberal supone que la calidad educativa se evalúa por las competencias alcanzadas y por los resultados, primordialmente cuantitativos, de las variables definidas para ello. Debido a la tendencia a privatizar la educación en todos los niveles, como el caso de Colombia, los estudiantes y sus padres son considerados consumidores. La ética, los valores o las emociones tienen poco o ningún lugar en la educación, pues se privilegia el conocimiento de contenidos, muchas veces en función del mercado; algunos investigadores hablan de una

mercantilización del saber (Lyotard, 1984). Otro supuesto es que el desempeño de las instituciones educativas mejora al ser más competitivas. En la medida en que estos supuestos son ampliamente compartidos, se excluyen posibles alternativas, que incluyan por ejemplo el trabajo solidario, y se marginan los discursos críticos y exploratorios, así como las prácticas no conformistas. De este modo, el paradigma neoliberal de educación se asume como lo normal, lo más obvio.

Una paradoja es que la educación prepara para el futuro, pero surge del pasado. El futuro que viene no puede ser una extensión lineal del pasado, ya que este configura barreras y fronteras para la innovación, la creatividad y la experimentación. Además, es paradójico que la preparación para el empleo no reconozca el "desempleo tecnológico" generado por la automatización de muchos puestos de trabajo y las implicaciones que esto puede tener para las sociedades. Dado que enfrentamos muchos desafíos ahora y en el futuro, es mejor no ignorarlos. Así, una educación en ciencias centrada en preparar a los estudiantes para el empleo es insuficiente para responder a los profundos cambios socioeconómicos y ecológicos que caracterizan el sistema global en el que se encuentran.

Muchas de las reformas de la educación que se han propuesto sugieren que el único propósito real de la educación es preparar para el trabajo; si una persona se educa, se vuelve útil para sus posibles empleadores futuros. Acorde con esto, cabe citar las palabras del presidente de Colombia en 2010, Juan Manuel Santos: "Nuestros centros educativos deben crear no solo empleados, sino fomentar 'empresarios'" (Departamento Nacional de Planeación - DNP, 2011, p. 12). Es decir, el propósito principal de la educación es preparar la fuerza laboral, lograr competitividad en la economía global y adquirir habilidades prácticas a través de sistemas educativos independientes del contexto de vida de sus estudiantes; lo que se debe enseñar está determinado por lo que puede ayudar al estudiante a conseguir trabajo. Muchas reformas de la educación se caracterizan por la estandarización, un estrechamiento de lo que cuenta como currículo, homogenización de pruebas con el ánimo de rendir cuentas y comparar procesos educativos, en los que se asume que solo hay una medida legítima de la calidad. De acuerdo con esto, parece que se ha venido dando un estrechamiento, e incluso una degradación

del significado y propósito de la educación y, más grave aún, de lo que significa un ser humano, de lo que significa una vida digna, ya que las personas son tratadas como instrumentos del mercado.

A pesar de la gran cantidad de informes de los últimos años sobre los desafíos globales, llama la atención que se siga desconociendo el contexto de los estudiantes al pensar los propósitos de la educación en ciencias; persiste el desconocimiento de la situación de crisis ambiental y riesgo global sistemático. El ser humano es el principal agente de cambio planetario, y por lo tanto tiene una profunda responsabilidad moral con la Tierra, con las generaciones futuras, así como con los demás seres vivos. Esto supone un desafío para la humanidad (de la que somos parte) que incluye adoptar soluciones que modifiquen estructuralmente el sistema de producción y consumo, para generar condiciones de vida sustentables. Necesitamos construir las senderos para transitar hacia un mundo de solidaridad humana, de bienestar, de respeto por los otros seres vivos y los ecosistemas en los que habitamos.

Para atender esta realidad profundamente cambiante en nuestro planeta, debida a la crisis ambiental actual, es necesario desaprender, reaprender y generar nuevos aprendizajes. Aun así, es curioso que la tarea requerida de reflexión crítica y reevaluación radical difícilmente figura en el discurso educativo dominante, permeado por el pensamiento neoliberal. Sin embargo, las voces a favor del cambio son cada vez más insistentes. Como docentes y maestros de cualquier nivel de educación, debemos analizar nuestros modos de leer la realidad, comprender los impactos de nuestras acciones, tanto en lo local, nacional y mundial, en un momento actual que reclama transiciones sociales urgentes. Las soluciones requeridas no están predeterminadas, sino que las debemos generar entre todos, a partir de nuestra capacidad de comportarnos inteligentemente y aprender (Bentley, 2012). Dicho aprendizaje pasa por cuestionar suposiciones y valores disfuncionales para desarrollar valores y formas apropiadas, que permitan abordar las condiciones de complejidad e incertidumbre cada vez más reales.

Afortunadamente crecen los cuestionamientos al paradigma neoliberal de la educación. Uno de ellos viene de la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (Unesco, 2015) en su informe *Replantear la educación*, en el cual aboga

por una renovación integral y humanista de la educación a nivel mundial, reconociéndola como un bien común; contrarresta así, con su crítica, la mercantilización predominante de la educación como un bien privado, aunque cabe anotar que sus planteamientos se quedan cortos en lo que se refiere al análisis sobre la cosmovisión cultural dominante, al no promover la búsqueda de alternativas que reconozcan los contextos particulares de cada nación.

Requerimos de perspectivas de la educación en ciencias que generen prácticas a la vez humanistas y ecológicas como alternativas a la visión neoliberal de la educación, y que sean acordes a los riesgos socioecológicos que debemos atender. Tales alternativas implican que miremos el mundo como un todo, como un sistema total de partes que interactúan. El ambiente es un todo, con toda la vida que lo habita; en este sentido, la idea de ambiente como una especie de realidad separada no es apropiada. Somos partícipes del todo, uno más en esta casa común, la Tierra, lo que requiere de una cosmovisión y una episteme esencialmente relacionales; esto implica que la dimensión ambiental de la educación debe hacer parte del cambio necesario de la cultura educativa para avanzar hacia un paradigma educativo ecológico apropiado al mundo que habitamos y atender las condiciones críticas que hemos creado (Sterling, 2017).

EDUCAR DESDE EL ENFOQUE DE COMPETENCIAS PARA CREAR CAPITAL HUMANO

En Colombia, la visión neoliberal predominante de la educación, el desarrollo y la formación de las personas, se plantea a través de la teoría de formación de capital humano. Este discurso se ha promovido de tal manera que, a través de la educación, se busca configurar un capital humano que propicie el crecimiento económico de las inversiones generadas, tanto en el plano individual como en el social, privilegiándose los esfuerzos productivos del sector privado, tal como figura en la política nacional de productividad y competitividad (DNP, 2008). Además, allí se afirma que para incrementar la competitividad es necesario desvincular al Estado del compromiso con la protección social; es decir, por medio de la teoría del capital humano se legitima la definición y cuantificación del impacto de la educación en el crecimiento y la productividad económica. Asimismo, se considera medular que, a través de la educación, se promueva la creatividad, ampliando las aptitudes humanas por medio del desarrollo de

competencias (Díaz, 2018); en tal sentido, las competencias permiten el desarrollo de la creatividad para que aumente la competitividad. Así, desde esta perspectiva, la educación para el desarrollo humano, en todos los niveles, está orientada a la formación de competencias laborales (Arias *et al*., 2018).

Bajo esta racionalidad, el enfoque de competencias pone en diálogo el sector productivo con el sector educativo; de este modo, la formación en competencias adquiere un carácter central en el proceso de acumulación de capital humano, y por ende en los procesos de evaluación. Esto implica que para determinar si una persona es competente laboralmente se deben evaluar sus conocimientos, habilidades y aptitudes en relación con una norma o estándar, que permite establecer criterios para definir la culminación de un proceso educativo (DNP, 2010).

Para configurar un recurso humano apropiado para las necesidades de una nación, en el marco del pensamiento neoliberal, la relevancia de las competencias laborales lleva a que se fundamente su imperiosa necesidad de promoverlas, junto con otro tipo de competencias, consideradas igualmente importantes, como son las competencias básicas en aritmética, comunicación y tecnología, entre otras, así como las competencias ciudadanas y científicas. Acorde a esto, la educación tiene un valor económico fundamental para el desarrollo y, en consecuencia, cualquier modelo educativo debe articular las demandas económicas, culturales y políticas. A su vez, el aporte de cada persona a los procesos de productividad supone seleccionar el tipo de formación que le permitirá producir, aplicar la información y los conocimientos que demanda el competitivo mundo laboral.

De este modo, se privilegia la formación de la racionalidad de los seres humanos, para tomar decisiones siempre en función de su utilidad económica. El saber se convierte en una fuerza importante de producción y acumulación, lo que necesariamente lleva a que lo que se considera pertinente en la investigación científica y en la educación se define por su nivel de eficiencia y no por criterios de justicia o belleza. En consecuencia, los campos de producción de conocimiento no se dan en función del saber en sí mismo, sino en función de lo que se consideran áreas estratégicas para cada país o región del mundo, y por ende la formación de competencias debe ser acorde a tales áreas.

Aunque hay una gran multiplicidad y heterogeneidad de definiciones para dar cuenta de la noción de competencia, en cualquier caso se orientan según las finalidades atribuidas a las competencias; y también los intereses bajo los cuales se elabora una u otra definición. Por ejemplo, la competencia (saber y saber hacer) se define como una habilidad, las características de un oficio, los rasgos de un desempeño, una acción, entre otros (Díaz, 2018).

La política educativa, con el ánimo de que se mejoren los desempeños de las personas, impele a formar y desarrollar sus competencias, y ha ido estableciendo mecanismos de estandarización y medición de estas. A través de tales mecanismos, también se busca fijar los niveles de calidad, estimular la competitividad, ya sea entre personas, programas, instituciones o sistemas educativos (Arias *et al*., 2018). Así, la política educativa en Colombia, a través del enfoque de competencias, orienta lo que debe lograr una educación de calidad, conforme a la Ley General de Educación de 1994. El Plan Sectorial de Educación (2010-2014) enuncia las competencias científicas como parte de las competencias básicas que los estudiantes deben desarrollar en su trayecto educativo. Los maestros planean, gestionan y desarrollan sus prácticas educativas en el marco de las competencias científicas. La ciencia escolar es entendida como la transposición didáctica de los saberes propios de las ciencias, por lo que se espera o sustituir el conocimiento cotidiano o enriquecerlo e integrarlo con el conocimiento científico (Vallejo, 2016).

El papel de la enseñanza, por tanto, es asegurar la reproducción y la cualificación de las competencias, para que los estudiantes amplíen su capital cultural y en un futuro puedan disponer de él en el mundo laboral. Esta perspectiva, se ignora si las personas se encuentran o no en igualdad de condiciones; en el caso de América Latina, la desigualdad alcanza niveles bastante altos si se compara con los de América del Norte o Europa. Además, en un mundo ideal, todos tendrían empleo, pero la realidad es que esto no depende solo de los esfuerzos individuales, sino de la estructura de la sociedad y del mercado de trabajo. No obstante, al joven se le hace responsable de sus éxitos o fracasos, pues se le hace creer que de lo que se trata es que todos seamos emprendedores o empresarios de nosotros mismos (Grinberg, 2008).

El desarrollo de competencias abarca desde los niveles más básicos hasta los más complejos, es decir, evoluciona a lo largo de la vida desde la etapa de formación más temprana. Tales competencias se refieren a las laborales, profesionales, científicas —ciencias naturales y sociales—, ciudadanas y las competencias básicas, que incluyen las comunicativas y matemáticas, de acuerdo con el Ministerio de Educación Nacional - MEN (2005). La formación continua en competencias va acompañada de la evaluación, buscando la ampliación de la complejidad y la especialización de las mismas, a medida que se alcanzan mayores niveles de educación (ver figura 10.1).

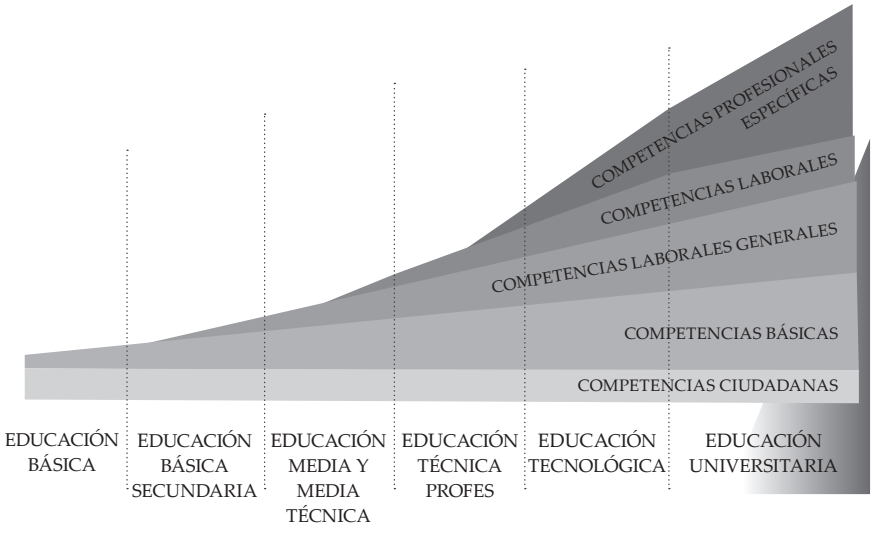


Figura 10.1. Desarrollo de competencias a lo largo de los niveles educativos
Fuente: MEN (2008, p. 30).

UNA ALTERNATIVA: EDUCAR DESDE EL ENFOQUE DE CAPACIDADES HUMANAS

Como hemos visto, para definir el propósito de la educación, el pensamiento neoliberal prioriza el crecimiento económico nacional o mundial; acorde con esto, sus modelos para medir el desarrollo y la calidad de vida de un país han estado relacionados con el aumento del producto interno bruto (PIB). Este indicador puede ser alto en países con desigualdades sociales alarmantes; es decir, un porcentaje considerable de la población no goza de las ganancias económicas de la nación, las cuales se quedan en unas élites. Se propende por el crecimiento económico sin prestar atención al nivel

de vida de los habitantes más pobres, cuyo número ha aumentado enormemente en Colombia y en todo el mundo como consecuencia de la pandemia de la COVID-19 y el efecto económico de la invasión de Rusia a Ucrania.

La concepción del desarrollo como crecimiento del PIB, industrialización, avances tecnológicos o aumento de la renta personal, sugiere que está concentrado en la riqueza económica. Otra manera de concebir el desarrollo (Sen, 2000) es como un proceso de expansión de las libertades reales que disfrutan las personas; es decir, el desarrollo se centra, en este caso, en el modo de vida que podemos llevar. Aunque es posible que el PIB sea un medio importante para expandir las libertades que disfrutan los miembros de una sociedad, estas libertades también dependen de la educación, los servicios de salud y los derechos políticos y humanos. Por lo tanto, el desarrollo es promovido por la libertad, lo que implica que el desarrollo, de una nación o del mundo, supone eliminar las principales fuentes de privación de libertad: la pobreza económica, la pobreza en educación, los gobiernos autoritarios o represivos, la falta de oportunidades económicas, la falta de espacios y tiempo para el disfrute del ocio, la falta de servicios públicos como el agua o el internet. La pobreza económica priva a las personas de la libertad para satisfacer el hambre, para alcanzar un nivel de nutrición adecuado, para atender las enfermedades, para tener una vivienda aceptable o para acceder a la educación básica y superior.

Así pues, la posibilidad de que las personas puedan llevar a cabo acciones libres y viables constituye un importante motor del desarrollo, por lo cual se puede afirmar que la libertad es fundamental para los procesos de desarrollo de una nación o del mundo. En otras palabras, la principal forma de evaluar el progreso es en función del aumento de las libertades de las personas. De este modo, la relación entre la libertad individual y el desarrollo social se puede expresar en dos sentidos: el primero, lo positivo que una persona puede conseguir depende, entre otras, de las oportunidades económicas, las libertades políticas, las posibilidades que brinda la educación y el fomento y cultivo de las iniciativas. En el segundo sentido, el desarrollo social de las diferentes instituciones, como por ejemplo la educación, depende de los mecanismos para aprovechar

el ejercicio de las libertades de las personas, como la libertad de participar en las decisiones sociales que impulsan el progreso de las oportunidades (Sen, 2000; Nussbaum, 2012).

Esta forma de concebir el desarrollo como un proceso integrado de expansión de libertades fundamentales relacionadas entre sí permite apreciar el papel vital de los procesos educativos, y por ende de la educación en ciencias. Así, las libertades no solo constituyen el fin principal del desarrollo, sino que también hacen parte de sus principales medios. Con suficientes oportunidades sociales, las personas pueden configurar su propio destino y ayudarse mutuamente. La riqueza es un medio para tener más libertad y poder llevar el tipo de vida que tenemos razones para valorar; esto es, la riqueza es útil porque nos ayuda a conseguir las libertades fundamentales para ser personas más plenas, ejercer nuestra propia voluntad e interactuar con el mundo en que vivimos.

En concordancia con la concepción del desarrollo como el alcance de las libertades fundamentales, se hace necesario poner fin a la hegemonía de la cultura neoliberal, para atender a las demandas reales de cambio que muchos ciudadanos comprometidos reclaman, incluyendo su participación democrática y activa en la gobernabilidad y en las decisiones que les conciernen; por ejemplo, la generación de energía, la calidad de los alimentos, el acceso a vivienda digna y otras dimensiones de nuestra vida individual y comunitaria. Se hace necesario construir una inteligencia colectiva y una inteligencia ciudadana para recuperar y celebrar la dignidad de la vida de todos los que habitamos este planeta, situación que nos desafía como docentes y educadores del campo de la educación en ciencias.

En palabras del economista paquistaní Mahbub ul Haq en 1990 (en Nussbaum, 2012), quien inauguró los informes sobre desarrollo humano del Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, requerimos pensar el desarrollo económico, social y político, desde un paradigma que reconozca que:

> La verdadera riqueza de una nación está en su gente. El objetivo básico del desarrollo es crear un ambiente propicio para que los seres humanos disfruten de una vida prolongada, saludable y creativa. Esto puede parecer una verdad obvia, aunque con frecuencia se olvida debido a la preocupación inmediata de acumular bienes de consumo y riqueza financiera. (p. 19)

Necesitamos un enfoque que defina el rendimiento y el éxito en función de las oportunidades que le abren a cada persona, tomando como referencia los relatos de las vidas de personas reales, para atender los diversos factores que afectan su calidad de vida. En este sentido, conviene preguntarse ¿ qué es realmente capaz de hacer y de ser cada persona?, ¿cuáles son las oportunidades y libertades que tiene cada persona? Se requiere, entonces, garantizar la dignidad y oportunidades para cada persona, perspectiva en la que se ubica el enfoque del desarrollo humano planteado por Amartya Sen (1996; 2000), también conocido como "enfoque de las capacidades" de acuerdo con Nussbaum (2012). Este enfoque nació como alternativa del enfoque del PIB, enfatiza los elementos más importantes de la calidad de vida y teoriza sobre la justicia social básica, desde el punto de vista de las libertades individuales y de las variables sociales correlacionadas con ella.

Desde el enfoque de las capacidades (ver figura 10.2), preguntarse por la dignidad de las personas y la justicia social en una sociedad particular implica formular un interrogante clave: ¿qué es realmente capaz de hacer y de ser cada persona?, lo que supone concebir a cada persona como un fin en sí misma. Así, las capacidades son un conjunto de oportunidades interrelacionadas para elegir y actuar: "no son simples habilidades residentes en el interior de cada persona (capacidades internas), sino que incluyen también las libertades o las oportunidades creadas por la combinación entre las facultades personales y el entorno político, social y económico" (Nussbaum, 2012, p. 40). Estas capacidades, equivalentes a libertades fundamentales, son denominadas por Nussbaum (2012) como "capacidades combinadas". El mismo autor llama la atención sobre el hecho de que una sociedad puede estar desarrollando las capacidades internas de sus ciudadanos, como son las capacidades intelectuales, emocionales, su estado de salud o su forma física, pero por otros canales puede estar coartando o impidiendo la oportunidad de funcionar con esas capacidades; es decir, no propicia el desarrollo de las capacidades combinadas.

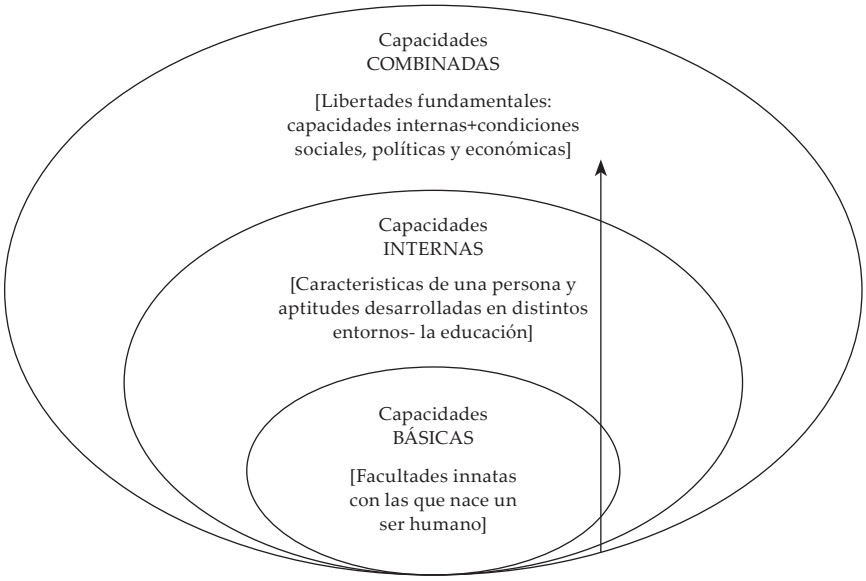


Figura 10.2. Diagrama de las capacidades humanas de acuerdo al enfoque de las capacidades
Fuente: elaboración propia.

Ahora bien, para que una sociedad pueda producir capacidades combinadas, previamente debe producir capacidades internas. Sin embargo, una sociedad puede generar contextos que les permitan a las personas elegir en muchas esferas, pero no educar a sus ciudadanos ni nutrir el desarrollo de sus capacidades de pensamiento; entonces, están ausentes tanto las capacidades internas como las combinadas. En este tipo de sociedades (como la colombiana) son las personas que hacen parte de las élites quienes primordialmente disponen de capacidades combinadas; los pobres y marginados no. Un dato de Colombia puede ilustrar este fenómeno: el 21,2 % de la población, de acuerdo con el Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE), no logra cubrir sus necesidades nutricionales básicas diarias (*El Espectador,* 2022).

Cabe señalar que las capacidades internas de las personas no son lo mismo que las facultades innatas con las que nacen, a las cuales se les denomina capacidades básicas. Estas características innatas con las que llega una persona al mundo se empiezan a nutrir o desarrollar desde el nacimiento, dando surgimiento a las capacidades internas, que, combinadas con las condiciones sociales, políticas y económicas, dan surgimiento a las capacidades combinadas.

Si una sociedad frustra el desarrollo de las capacidades humanas de sus ciudadanos, por ejemplo, al privarlos de educación, cercena una parte esencial de su ser y de lo que pueden hacer. Entonces, un objetivo como nación debería ser que todos sus miembros superen un cierto nivel umbral de capacidades combinadas, entendido este umbral como unas libertades fundamentales para elegir y actuar, y no como funcionamientos obligados (Nussbaum, 2005; 2012).

Un aspecto esencial de cualquier capacidad es que se pueda ejercer y poner en funcionamiento; por lo general, para que una persona adquiera una capacidad interna, pongamos el caso de razonar probabilísticamente, es gracias a cierta forma de funcionamiento, oportunidad sin la cual puede perder esa capacidad. En este sentido, la materialización de las capacidades internas son los funcionamientos, entendidos como la realización activa de una o más capacidades internas. Para ilustrar, una persona que pasa hambre y otra que ayuna tienen el mismo tipo de funcionamiento, respecto de su nutrición: no comen; sin embargo, no disponen de la misma capacidad, pues la persona que ayuna eligió hacerlo, es capaz de no ayunar, mientras que la persona que sufre hambre no tiene elección (Nussbaum, 2012). Ejemplos adicionales de funcionamiento son: disfrutar de buena salud o estar tendido en el pasto leyendo un libro. Entonces, el punto de destino de las capacidades son los funcionamientos.

Ahora bien, promover las capacidades es promover áreas de libertad, lo que no es lo mismo que hacer que las personas funcionen en un determinado sentido. En contraste, desde el enfoque de competencias se persigue que las personas funcionen de determinadas maneras para acceder al mundo laboral, que por cierto no les garantiza la entrada a todos los que alcancen cierto nivel de competencias laborales, lo cual se refleja en las altas tasas de desempleo que, en particular en Colombia, entre noviembre del 2021 y enero del 2022, estaban alrededor del 15,35 % según el DANE (ver figura 10.3), alcanzando el 21,3 % en Quibdó (Chocó).

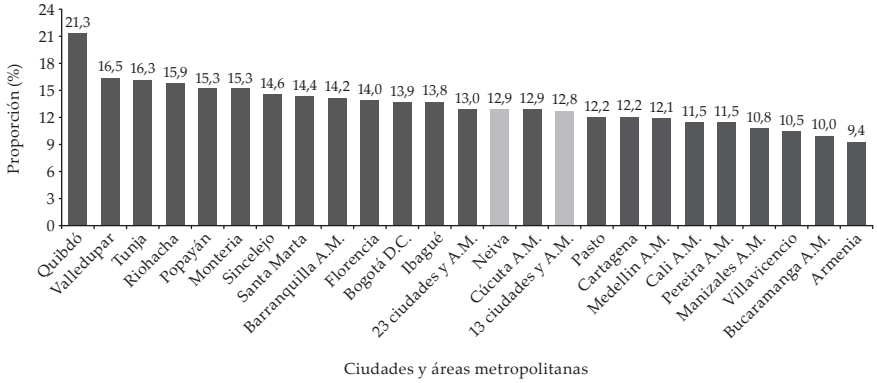


Figura 10.3. Tasa de desempleo en 23 ciudades y áreas metropolitanas (noviembre 2021-noviembre 2022)
Fuente: DANE (2023).

En consecuencia, si se busca una sociedad con un mínimo aceptable de justicia, se debe formular la pregunta crucial: ¿cuáles son las capacidades más importantes que se deben nutrir y apoyar en las personas, entre las muchas capacidades de desempeño que los seres humanos pueden desarrollar? La respuesta a esta pregunta depende del fin que se pretenda alcanzar, y para ello Nussbaum (2012) invoca la noción de vida humana digna vinculada a la de respeto; aunque hay que dotar de significado a estos conceptos, situándolos en una red de nociones relacionadas, por ahora tendremos en cuenta la intuición que tenemos de ellos.

La idea básica es que ciertas condiciones de vida facilitan a las personas vivir dignamente, mientras que otras no lo hacen. Es necesario, en primer lugar, diferenciar dignidad de satisfacción; el énfasis en la dignidad implica considerar la necesidad de políticas, como las educativas, que apoyen y protejan la capacidad de acción de cada persona; en contraste, muchas políticas enmarcadas en la visión neoliberal tienden a infantilizar a las personas al tratarlas como receptoras pasivas de prestación de servicios. Aquí cabría preguntarse ¿qué tanto la educación en ciencias que se practica en las escuelas y colegios de Colombia apoya y protege la capacidad de acción de cada uno de sus estudiantes basada en el desarrollo de capacidades combinadas?

Aunque la dignidad humana básica pervive siempre, es decir, cada persona es merecedora de respeto en todo momento, las aspiraciones de dignidad humana se pueden negar de diversas formas, resumibles en dos, según Nussbaum (2012): la primera está ligada a los ámbitos asociados a las capacidades internas de la persona, "las condiciones sociales, políticas, familiares y económicas pueden impedir que las personas opten por funcionar conforme a una capacidad interna ya desarrollada: este es un tipo de frustración comparable al encarcelamiento" (p. 50). La segunda se vincula con los ámbitos asociados a las capacidades combinadas; si las condiciones de vida negativas son profundas (se vulnera la dignidad profundamente), pueden penetrar a fondo en las personas, atrofiando o deformando el desarrollo de sus capacidades internas. Por ejemplo, un simple robo o una violación implican un daño a una persona; ni lo uno ni lo otro eliminan su dignidad humana, o la de los demás individuos, incluido el agresor. Pero la violación vulnera la dignidad de una mujer a fondo, mientras que el robo la vulnera, pero no con la misma profundidad; en el caso de la violación, se invade la vida interior (pensamientos y emociones) de la mujer, cambiando su relación consigo misma. Así, el enfoque de capacidades, al centrarse en la protección de ámbitos de libertad cruciales, comprende que la supresión de tales libertades hace que la vida no sea humanamente digna.

A este respecto, si se consideran las diversas áreas en las que las personas se mueven y actúan, desde el enfoque de capacidades estrechamente ligado a una visión de justicia social, es necesario preguntar ¿qué se necesita para que la vida de cada persona esté a la altura de la dignidad humana? La respuesta de Nussbaum (2012) es que lo mínimo esencial que se exige para tener una vida digna es superar un nivel de umbral de diez capacidades centrales (ver tabla 10.1), que deben ser procuradas a todos los ciudadanos y ciudadanas por cualquier nación que se asuma democrática. Todo este conjunto de capacidades se debe garantizar de manera diferenciada, esto es, no se deben satisfacer unas pocas si se pretende que las personas vivan vidas dignas. Esta lista es una propuesta que se puede discutir y se debe fundamentar.

Tabla 10.1. *Diez capacidades centrales que definen el nivel de umbral que se debe procurar a todos los ciudadanos de una nación con justicia social aceptable*

	Capacidades centrales	Definición
1	Vida	Poder vivir hasta el término de una vida humana de duración normal; no morir prematuramente o antes de que la propia vida se reduzca.
2	Salud física	Poder mantener una buena salud; recibir una alimentación adecuada; disponer de un lugar apropiado para vivir.
3	Integridad física	Poder desplazarse libremente de un lugar a otro; estar protegidos de los ataques violentos, incluidas las agresiones sexuales y la violencia doméstica; disponer de oportunidades para la satisfacción sexual y para la elección en cuestiones reproductivas.
4	Sentidos, imaginación y pensamiento	Poder utilizar los sentidos, la imaginación, el pensamiento y el razonamiento, y hacerlo de un modo "verdaderamente humano", un modo formado y cultivado por una educación adecuada que incluya (aunque no esté limitado) a la alfabetización y la formación matemática y científica básica. Poder usar la imaginación y el pensamiento para la experimentación y la producción de obras y actos religiosos, literarios, musicales o de índole parecida, según la propia elección. Poder usar la propia mente en condiciones protegidas por las garantías de la libertad de expresión política y artística, y por la libertad de práctica religiosa. Poder disfrutar de experiencias placenteras y evitar el dolor no beneficioso.
5	Emociones	Poder sentir apego por cosas y personas externas a nosotros mismos; poder amar a quienes nos aman y se preocupan por nosotros y sentir duelo por su ausencia; en general, poder amar, apenarse, sentir añoranza, gratitud e indignación justificada. Que no se malogre nuestro desarrollo emocional por culpa del miedo y la ansiedad.
6	Razón práctica	Poder formarse una concepción del bien y reflexionar críticamente acerca de la planificación de la propia vida.
7	Afiliación	a) Poder vivir con y para los demás, reconocer y mostrar interés por otros seres humanos, participar en formas diversas de interacción social; ser capaces de imaginar la situación de otro. b) Disponer de las bases sociales necesarias para que no sintamos humillación y sí respeto por nosotros mismos; que se nos trate como seres dignos de igual valía que los demás. Esto supone introducir disposiciones de combatan la discriminación por razón de raza, sexo, orientación sexual, etnia, casta, religión u origen nacional.
8	Otras especies	Poder vivir una relación próxima y respetuosa con los animales, las plantas y el mundo natural.
9	Juego	Poder reír, jugar y disfrutar de actividades recreativas.

	Capacidades centrales	Definición
10	Control sobre el propio entorno: Político Material	a. Política. Poder participar de forma efectiva en las decisiones políticas que gobiernan nuestra vida; tener derecho a la participación política y a la protección de la libertad de expresión y de asociación. b. Material. Poder poseer propiedades (muebles como inmuebles) y ostentar derechos de propiedad en igualdad de condiciones con las demás personas; tener derecho a buscar trabajo en un plano de igualdad con los demás; estar protegido legalmente frente a registros y detenciones que no cuenten con la debida autorización judicial. En el entorno laboral, ser capaces de trabajar como seres humanos, ejerciendo la razón práctica y manteniendo relaciones valiosas y positivas de reconocimiento mutuo con otros trabajadores y trabajadoras.

Fuente: elaboración propia a partir de Nussbaum (2012, p. 53-55).

Es importante enfatizar que el desarrollo de las capacidades compete primordialmente a cada persona, lo cual está en consonancia con una de las principales premisas del enfoque de las capacidades, esto es, "cada persona es un fin en sí misma" (Nussbaum, 2012, p. 38). En la medida en que cada persona alcanza tales capacidades centrales, influye en los colectivos humanos de los que hace parte. También es importante notar que las capacidades centrales son irreductibles entre sí, es decir, el fomento de una capacidad en particular no cubre la necesidad de las otras. Todas se deben promover, garantizar y proteger de manera diferenciada, aunque están interrelacionadas, ya que las oportunidades de elegir y actuar que encarnan este conjunto de diez capacidades son constitutivas de una vida humana digna en el marco de una nación con un mínimo de justicia social.

Según Nussbaum (2012), la capacidad central *razón práctica* cumple un papel relevante entre las diez capacidades centrales, dado que permite que cada persona planifique su propia vida a partir de elegir qué poner en funcionamiento de cada una de las capacidades. Esto contrasta con la formación en competencias que planifica la vida de todas las personas hacia el mundo laboral, sin considerar la libre autodeterminación y la naturaleza multidimensional de cada persona, que no se agota en lo laboral.

Cabe preguntarnos, ¿cómo a través de la educación en ciencias se pueden satisfacer las exigencias de todas las capacidades centrales?, o ¿de qué modo la educación en ciencias puede acercar a cada

estudiante al umbral de las capacidades, aun cuando no podamos hacer que lo superen del todo?, ¿a qué nos obliga, como profesores de ciencias, el respeto a la igualdad de dignidad humana de todos nuestros estudiantes? Son muchas las preguntas que pueden emerger al plantearse cómo educar en ciencias, no desde el enfoque de competencias, sino desde el enfoque de las capacidades.

De manera específica, actualmente las disposiciones en enseñanza y aprendizaje de las ciencias están enfocadas en el desarrollo del capital humano para el mundo laboral. En el caso de la educación básica y media, tales disposiciones están articuladas a los Estándares Básicos de Competencias en Ciencias Naturales (MEN, 2006) y los Derechos Básicos de Aprendizaje en Ciencias Naturales (2016). Debido a su gran potencial para evaluar los logros y el aprendizaje de los estudiantes en el proceso de enseñanza-aprendizaje de las ciencias, tanto en la educación básica y media como a nivel universitario, el enfoque de las capacidades desafía las disposiciones actuales y ofrece a los estudiantes y profesores un recurso conceptual adecuado para pensar y valorar el ser y el hacer aprendidos en los distintos procesos educativos. La educación en ciencias debe expandir las opciones para las acciones individuales y sociales; el desarrollo de las "capacidades centrales" es más prometedor, pues incluye conocimientos y cualidades que preparan a los estudiantes para llevar a cabo acciones para el bien social. La calidad de lo que los estudiantes aprenden y lo que ellos consideran como valioso a través del aprendizaje debe contribuir sustancialmente a mejorar sus vidas durante y después del periodo de estudios.

Si bien hablar de *capacidades* puede parecer similar, en la superficie, a los atributos de los estudiantes y las habilidades o competencias para la empleabilidad, el lenguaje de las capacidades humanas es muy diferente. Una evaluación basada en capacidades debe enfocarse como fin último en la expansión de las libertades fundamentales de cada uno de los estudiantes, dado que tales libertades son fundamentales para su calidad de vida y su bienestar. Debe enfocarse en qué son realmente capaces de ser y hacer los estudiantes, individualmente y en comparación con otros, y por lo tanto debe propiciar la autodeterminación de los fines y valoraciones en sus vidas, generando reflexiones, escogencias informadas de los modos de vivir que cada uno considere importantes y valiosos para su bienestar. La educación

en ciencias debería ampliar el conjunto de capacidades de cada estudiante para ser capaz de escoger, entre un rango de opciones significativas, aquellas que le permitan una vida valiosa, lo cual no debe depender de las condiciones socioeconómicas, del capital cultural o de la familia de la que hace parte el estudiante. Al encaminarse en el propósito de la educación en ciencias como el desarrollo de las capacidades centrales de los estudiantes, es necesario cambiar el punto de atención en los exámenes, las pruebas y los modos de cuantificarlos; ya no solo se trata de qué sabe y sabe hacer el estudiante, sino que es necesario preguntarse qué es capaz de ser en el marco de las libertades fundamentales (Walker, 2008).

Cabe mencionar, para finalizar este apartado, que en el Doctorado Interinstitucional en Educación se están desarrollando dos tesis cuyos problemas de investigación vinculan el enfoque de las capacidades para el desarrollo humano con la educación en ciencias, así:

- ¿Cómo articular las capacidades de los estudiantes en un contexto rural con el área de ciencias naturales y educación ambiental de básica secundaria, para fomentar una educación para la ciudadanía ambiental desde la escuela?, de la estudiante Mónica Ofelia García Calvo (García-Calvo, Garzón Barragán y Reis, 2022).
- ¿De qué manera el modelo didáctico de investigación dirigida, en el marco del enfoque de capacidades, posibilita la formación para la eco-ciudadanía, en estudiantes de grado quinto de primaria entre 9 y 12 años?, de la estudiante Yaquelin Nayibe Bonilla Mendoza (Bonilla y Garzón, 2021; 2022).

PROTEGER LA VIDA DESDE LA EDUCACIÓN EN CIENCIAS: CULTIVANDO LAS CAPACIDADES ECO-CIUDADANAS DEMOCRÁTICAS

Los ambientes electorales en Colombia, y en otros países, suelen mostrar que es demasiado fácil olvidarnos de las personas cuando nos enfrascamos en un debate político. Es necesario humanizar las ideas políticas y politizar la humanidad (Nussbaum, 2005); esto supone construir la posibilidad de ver al que piensa diferente, o milita

en un partido político que se cuestiona, con flexibilidad y empatía, en vez de prejuzgar. Quiérase o no, los profesores de hoy día estamos formando a los ciudadanos de hoy y del futuro, quienes ejercen y ejercerán esa ciudadanía.

Además, considerar la dimensión política de nuestra relación con el ambiente implica hablar de eco-ciudadanía. El lugar que habitamos: el barrio, la vereda, la ciudad, el país y el planeta, el lugar de vida que compartimos todos los seres humanos y también con todas las otras formas de vida, implica que debemos aprender a vivir juntos; es decir, crear las mejores condiciones para una buena convivencia. Como seres humanos, somos parte de los sistemas de vida, por lo cual la ciudadanía no se restringe a nuestra comunidad humana, sino que incluye toda la comunidad de vida; es por esto por lo que hablamos de eco-ciudadanía (Hayward, 2012).

Desde el enfoque de competencias, también se plantea la formación ciudadana como una de las tareas inherentes a la educación en ciencias; en este sentido, los Estándares Básicos de Competencias en Ciencias Sociales y Ciencias Naturales (MEN, 2006), al formular el porqué de la formación en ciencias, exponen:

> Ámbitos tan cruciales de nuestra existencia como […] la democracia […] la toma de decisiones […] entre muchos más, están signados por los avances científicos y tecnológicos […]. Formar en ciencias sociales y naturales en la educación básica y media significa contribuir a la consolidación de ciudadanos y ciudadanas capaces de asombrarse, observar y analizar lo que acontece a su alrededor y en su propio ser; formularse preguntas, buscar explicaciones y recoger información; detenerse en sus hallazgos, analizarlos, establecer relaciones, hacerse nuevas preguntas y aventurar nuevas comprensiones; compartir y debatir con otros sus inquietudes, sus maneras de proceder, sus nuevas visiones del mundo; buscar soluciones a problemas determinados y hacer uso ético de los conocimientos científicos, todo lo cual aplica por igual para fenómenos tanto naturales como sociales. Tenemos la responsabilidad de ofrecer a los niños, niñas y jóvenes una formación en ciencias que les permita asumirse como ciudadanos y ciudadanas responsables, en un mundo interdependiente y globalizado, conscientes de su compromiso tanto con ellos mismos como con las comunidades a las que pertenecen. (pp. 96-97)

Así pues, resulta claro que esta perspectiva de la formación ciudadana es diferente al planteamiento de Nussbaum (2005; 2006), quien propone que esta formación implica el cultivo de la humanidad o, en otros términos, el desarrollo de las capacidades para el desarrollo humano y la búsqueda del bien común de toda la comunidad de vida; por su parte, desde el enfoque de competencias tal formación se centra en el saber ciencias y saber hacer con el conocimiento de las ciencias en la sociedad.

La exclusión económica y social en Colombia parece lo natural, y la demanda de que se acabe tal exclusión hace parte de una agenda política en cuanto dimensión de cualquier colectivo humano. Hay muchas personas y muchas vidas en condición de exclusión, que no es posible ver desde nuestros espacios de comodidad; aun así, es necesario que la educación básica, media y universitaria, vean y escuchen, con respeto y dignidad, la diversidad de personas que habitan este país, al igual que el planeta. Es necesario repensar los currículos en todos los niveles educativos, de modo que asuman los nuevos desafíos y necesidades de la condición de ser eco-ciudadano, de los deberes y derechos que le son propios en un mundo complejo e interconectado.

Las niñas, niños y jóvenes eco-ciudadanos, a través de la educación en ciencias en primaria, secundaria y media, pueden construir modos de pensar que les acompañarán durante toda su vida. Pueden aprender a hacer preguntas o a no hacerlas; a considerar lo que escuchan al pie de la letra o a investigar más profundamente; a imaginar la situación de una persona diferente a ellos mismos o ver a una persona como una amenaza para lograr el éxito de sus propios proyectos; a pensarse a sí mismos como miembros de un grupo homogéneo o como personas únicas e importantes, miembros de una nación y del planeta, con una gran diversidad de personas y grupos, todos merecedores de respeto y comprensión (Nussbaum, 2006). Es necesario que las políticas educativas se enfoquen tanto en los contenidos científicos como en la pedagogía con propósitos democráticos-humanistas, equidad socio-ecológica y justicia ecológica, ya que la niñez y los jóvenes son actores sociales en su comunidad, por lo cual es necesario que la educación en ciencias los ayude a tomar consciencia de su lugar y papel en la vida colectiva y a experimentar procesos democráticos activos (Sauvé, 2017).

Tradicionalmente, la educación en ciencias en los diferentes niveles de formación, desde la escuela hasta la universidad, tiende a encauzarse en la internalización de la información, más que en la formación de las capacidades de la imaginación y del pensamiento crítico de un modo verdaderamente humano. Tal estrechez de enfoque es peligrosa para la construcción de democracia, ya que no abre espacios para dilucidar diferentes estructuras de poder arraigadas, cuestionarlas a partir del estudio de las ciencias (por ejemplo, las relacionadas con la producción de alimentos o construcción de viviendas de interés social) y preguntarse cuáles aspectos son posibles de intervenir desde el rol de estudiantes y de eco-ciudadanos niños o jóvenes. Es necesario entonces que los profesores creemos propuestas de microcurrículos, que inventemos y tomemos la iniciativa, a pesar de las limitaciones que se puedan encontrar en las instituciones donde laboramos; que cultivemos la pasión por lo que hacemos hasta sentir alegría por los pequeños o grandes progresos que se puedan alcanzar, tanto a nivel grupal como en el desarrollo individual de cada estudiante, pues cada uno de ellos es un fin en sí mismo. Es necesario también crear estrechos vínculos entre la educación en ciencias y la creación de pensamiento crítico acerca del ambiente social que habitamos, y entender la naturaleza como parte integral de las deliberaciones acerca de cómo organizarnos en los espacios que habitamos, ya que las realidades sociales están íntimamente ligadas a las realidades ecológicas.

Para el cultivo de la eco-ciudadanía democrática, siguiendo a Nussbaum (2005; 2006; 2012), la educación en ciencias debería, de manera primordial, cultivar tres capacidades, la primera de las cuales es *la capacidad de hacer autoanálisis críticos de uno mismo y de las propias tradiciones*. Esta se refiere a la necesidad de propiciar que cada estudiante cuestione las creencias, afirmaciones y argumentos, y que no acepte ninguna creencia simplemente porque ha sido transmitida por tradición o es familiar a través del hábito, de tal modo que solo acepte aquello que logra superar el análisis de su consistencia y justificación razonada. Propiciar esta capacidad requiere desarrollar la capacidad de razonar lógicamente, a través del conocimiento científico, para así analizar la consistencia de los razonamientos que se leen o enuncian, las peculiaridades de los hechos en general, a partir de hechos científicos y la precisión de los juicios que se elaboran. La construcción de una sociedad democrática hoy en día

requiere eco-ciudadanos que puedan pensar por sí mismos, en lugar de aceptar sobre la base de la autoridad de quien lo dice, ya sean personas o instituciones; eco-ciudadanos que puedan razonar entre ellos sobre sus elecciones, en lugar de reducir la comunicación a reclamos y contraargumentos. Dados los modos de vida contemporáneos, todos tendemos al razonamiento apresurado y descuidado y a sustituir la deliberación asertiva por la sátira o las diatribas; por lo tanto, necesitamos propiciar el desarrollo del autoanálisis crítico de las tradiciones asumidas y de nosotros mismos para apoyar la construcción de una eco-ciudadanía democrática.

Enseñar a pensar críticamente permite que los estudiantes desarrollen actitudes hacia aquellos con quienes están en desacuerdo, por ejemplo el respeto hacia las posiciones opuestas, de tal manera que puedan intercambiar ideas con otros en una atmósfera de respeto mutuo a los razonamientos ofrecidos, esencial para la resolución pacífica de las diferencias. Es posible y primordial alentar el pensamiento crítico desde edades muy tempranas, y la educación en ciencias es un muy buen sendero para ello.

La segunda capacidad que es necesario cultivar desde la educación en ciencias para promover la eco-ciudadanía democrática es *la habilidad de cada estudiante de verse a sí mismo como ser humano vinculado a los demás seres humanos por lazos de reconocimiento y mutua preocupación* (Nussbaum, 2006), *así como el reconocimiento de que es parte de la comunidad de vida del planeta y responsable de su cuidado,* y no solamente un ciudadano que hace parte de alguna nación, región o grupo. Los problemas ambientales nos impelen a ir más allá de las estrechas lealtades de grupo y considerar la realidad de las personas distantes tanto a nivel nacional como global; así es posible reconocer las diferencias, las posibilidades de comunicación y las responsabilidades que podemos tener con el contexto particular y con todos los que habitamos este planeta, con el fin de resolver los problemas comunes.

La tercera capacidad para cultivar la eco-ciudadanía democrática desde la educación en ciencias, estrechamente ligada a las dos anteriores, es *la imaginación narrativa* (Nussbaum, 2006). Es la habilidad de pensar cómo sería estar en el lugar de otra persona, "ponerse en sus zapatos", ser capaz de leer su historia y comprender las emociones, deseos y anhelos que experimenta. Si bien el conocimiento científico

es fundamental en la educación de cualquier ser humano, el cultivo de la humanidad nos implica acompañarlo de la educación de la empatía, que es habitualmente relegada en los distintos niveles de educación, a tal punto que se suele suponer que la educación en ciencias no debe ir más allá de las cuestiones intelectuales.

Aquí cabe preguntarnos cómo desde la educación en ciencias se puede cultivar la libertad de extender la imaginación, permitiendo que la experiencia de otra persona entre en uno mismo, en el sentido de "ponerse en los zapatos" del otro. Para apoyar la reflexión en torno a esta cuestión, cabe parafrasear el cuento: "El entrenamiento del pájaro" de Rabindranath Tagore (citado por Nussbaum, 2006):

> Un rey tenía un pájaro a quien amaba. Quería educarlo, porque pensaba que la ignorancia era algo malo. Sus expertos lo convencieron de que el pájaro debía ir a la escuela. Lo primero que había que hacer era darle al pájaro un edificio adecuado para su educación: así construyen una magnífica jaula de oro. Lo siguiente era conseguir buenos libros de texto. Los expertos dijeron: "Los libros de texto nunca pueden ser demasiados para nuestro propósito". Los escribas trabajaron día y noche para producir los manuscritos necesarios. Entonces, los maestros fueron contratados […] Cuando el rey visitó la escuela, los maestros le mostraron los métodos que se usaban para instruir al pájaro […] El rey estaba satisfecho [… no sabía que] la garganta del pájaro estaba tan obstruida con las hojas de los libros que no podía ni silbar ni susurrar […] Un día los encargados de la educación del pájaro le dijeron al rey "Señor, la educación del pájaro se ha completado". "¿Salta?" preguntó el rey. "¡Nunca!", dijeron los encargados. "¿Vuela?", "No". "Tráeme el pájaro", dijo el rey. Le llevaron el pájaro, y el rey tocó su cuerpo con el dedo. Solo el relleno interior de las hojas de los libros crujió. (pp. 9-11)

Si bien memorizar desempeña un papel valioso e incluso necesario en el aprendizaje de las ciencias, no se puede perder de vista que la educación en ciencias, además de fomentar el razonamiento científico, debe propiciar la profundización de la libertad de pensamiento, ligada al contexto local y ambiental. Los niños pequeños, por ejemplo, aprenden haciendo en lugar de aprender de memoria; la tarea como profesores de ciencias no es llenar a los estudiantes de información sobre una variedad de fenómenos naturales, sino propiciar que piensen por sí mismos y busquen aprender por su cuenta.

En la tabla 10.2 se presentan, de manera sintética, estas tres capacidades eco-ciudadanas, relacionadas con las capacidades centrales que pueden ayudar a crear.

Tabla 10.2. *Tres capacidades propuestas por Nussbaum (2006) para una eco-ciudadanía democrática*

Capacidades para una eco-ciudadanía democrática que debe fomentar la educación en ciencias		
	Capacidades eco-ciudadanas	Capacidades centrales
Eco-ciudadanía democrática	Análisis crítico de uno mismo y de las propias tradiciones.	4. Sentidos, imaginación y pensamiento. 5. Emociones. 6. Razón práctica. 7. Afiliación. 8. Otras especies. 10. Control sobre el propio entorno político y material.
	Verse a sí mismo como ser humano vinculado a los demás seres humanos por lazos de reconocimiento y mutua preocupación, así como el reconocimiento de que se es parte de la comunidad de vida del planeta y responsable de su cuidado.	
	Imaginación narrativa.	

Nota. la segunda capacidad eco-ciudadana ha sido ampliada para incluir las otras formas de vida.
Fuente: elaboración propia.

La educación en la escuela, la educación en ciencias en la escuela, y nosotros como docentes y educadores, tenemos el desafío de recuperar y preservar la dignidad de la vida en un sentido amplio, es decir, no solo la humana. Esto nos lleva a tener que atender la brecha que hay entre la escolarización formal y los diferentes contextos sociales en los que nos encontramos estudiantes y docentes, para así propiciar aprendizajes significativos en la vida de cada uno de los estudiantes, estimulando la formación de capacidades para la participación eco-social. Lo que se tiene actualmente, en general, desde el diseño curricular hasta la formación del profesorado y el entorno del aula, hace que la escuela se erija como una isla, donde los niños, niñas y jóvenes permanecen esperando el futuro, "la vida real", aprendiendo cosas que "serán útiles más adelante" (Sauvé, 2017, p. 113).

Tenemos garantizado el presente, el ahora; no sabemos si estaremos en el futuro, ya sea cercano o no. En Colombia, por ejemplo, se está construyendo un colosal megaproyecto hidroeléctrico,

Hidroituango, desde hace diez años, haciendo uso del caudal del segundo río más importante del país; a pesar de que el estudio del impacto ambiental del proyecto (Insuasty Rodríguez *et al*., 2020) afirma que son más los impactos negativos que positivos, se sostiene por las alianzas políticas y económicas, respaldadas por un sistema legislativo complaciente. Debido al efecto que tienen este tipo de proyectos en la vida de todos los ciudadanos y de los territorios que habitan, le corresponde a la sociedad civil asumir el papel difícil, y muy exigente, de hacer una vigilancia crítica sobre ellos, fundamentada en el argumento ecológico de preservar la integridad de los ecosistemas y en la prioridad de los bienes comunes (ambiente sano, salud, alimentación sana, derechos humanos, etc.), que se pueden leer en términos de las capacidades centrales. Esto requiere que los eco-ciudadanos, incluidos los niños, niñas y jóvenes, se informen, comprendan, construyan argumentos, comuniquen, debatan, protesten, actúen y propongan alternativas (para abordar el problema de generación de energía eléctrica en Colombia, por ejemplo). Estas tareas eco-ciudadanas exigen a la educación escolar y a la educación en ciencias, de manera urgente y necesaria, estimular el desarrollo de las inteligencias ciudadana y ecológica, no solo individual, sino como capacidad intelectual colectiva para actuar. Como docentes y educadores, debemos ayudar a construir democracias renovadas, basadas en la transparencia, la deliberación, la colaboración en lugar de la competitividad, la cooperación, la participación y la cción directa.

La idea no es el formar futuros eco-ciudadanos, sino eco-ciudadanos para el hoy. Se trata de que la niñez y los jóvenes tengan la posibilidad de reconocer que los problemas ecológicos están estrechamente relacionados con los problemas de violencia, pobreza, injusticia e inequidad (Hayward, 2012). Nuestro papel como educadores es abordar las ciencias vinculadas con la vida diaria de nuestros estudiantes, y que comprendan cómo la gente común (sus padres, sus maestros, sus vecinos y ellos mismos) pueden actuar juntos en colaboración para lograr los cambios profundos que se requieren. De esta forma, se reconoce cada vez más la importancia del papel de la educación en ciencias, en la escuela y en la universidad, como motor social para realizar el potencial transformador del aprendizaje (Sauvé, 2017).

Para construir nuestro ser en el mundo, la dimensión ecológica de nuestra identidad humana es fundamental, y si la educación se preocupa por ayudarnos a hacerlo, podemos involucrar completamente en ella nuestra interacción con el entorno. Así, la educación en ciencias relacionada con el ambiente juega un rol importante para poner en práctica procesos de vida en vez de estar a la espera de la "vida real", involucrando a los estudiantes en la formación de las capacidades centrales enunciadas previamente y vinculándolos a procesos de formación eco-ciudadana que conectan la relación con uno mismo (aprender a aprender y conectar con el mundo, mientras se construyen los múltiples aspectos de nuestra identidad), con los demás humanos (desarrollando la alteridad humana a través de la democracia, la interculturalidad, la paz, la justicia o la cooperación) y con nuestra planeta, que es el entorno de vida donde estamos enlazados con el mundo más que humano.

CONSIDERACIONES FINALES

El enfoque de las capacidades humanas sugiere métodos diferenciados para abordar, desde la educación en ciencias, una serie de problemas a los que nos enfrentamos actualmente como especie en ámbitos como el político, social y económico y, en particular, en lo referente a la crisis ambiental. Este enfoque abre perspectivas nuevas y posiblemente unificadas desde las que se pueden abordar problemas que suelen tratarse de manera aislada entre sí, para llevar a cabo la formación eco-ciudadana.

Aunque el perfil de empleabilidad de los estudiantes, las habilidades relacionadas con el trabajo de mercadeo y el reclutamiento del empleador son importantes, no necesariamente se orientan hacia la igualdad, pues no tienen en cuenta la diferencia y la diversidad que hay entre las personas al adquirir y utilizar estas habilidades y atributos. El peligro está en que al privilegiar la empleabilidad por encima de otros bienes de la educación se reduce a las personas a partes de la estructura económica, y se iguala propiedad material con bienestar y tener una buena vida. Hasta cierto punto es necesaria la satisfacción material (para vivir sabroso), pero esta no lo es todo y en demasía es contraproducente.

El enfoque de las capacidades ofrece una perspectiva más integral, holística y transformadora para el diseño de currículos de ciencias, al no estar limitado por las demandas económicas y de producción como lo está el enfoque de competencias. En muchos documentos de política educativa en Colombia pareciera que las competencias son consideradas en un sentido amplio, pero se restringen por la forma en que se conciben siguiendo las demandas impuestas por el mercado.

Una de las principales contribuciones del enfoque de las capacidades es su énfasis en el desarrollo de las capacidades críticas y reflexivas de los estudiantes. Desde este punto de vista, el proceso educativo debe concebirse como un proceso que permita a los estudiantes comprender, interpretar y dar sentido críticamente a los temas clave de su vida y de la sociedad. El desarrollo de la autonomía —o libertad, según Sen— se convierte así en el centro del proceso educativo, entendido no solo como la capacidad de desenvolverse en la vida económica y profesional, sino también en la vida social, política, cultural y simbólica.

REFERENCIAS

Álvarez Marinelli, H., Arias Ortiz, E., Bergamaschi, A., López, Á., Noli, A., Ortiz Guerrero, M. y Viteri, A. (2020). *La educación en tiempos del coronavirus: Los sistemas educativos de América Latina y el Caribe ante COVID-19*. Banco Interamericano de Desarrollo.

Arias Gómez, D. H., Díaz Flórez, O. C., Garzón Barragán, I., León Palencia, A. C., Rodríguez Ávila, S. P. y Valbuena Ussa, É. O. (2018). *Entre las exigencias de calidad y las condiciones de desigualdad: formación inicial de profesores en Colombia.* Universidad Pedagógica Nacional.

Bentley, T. (2012). *Learning beyond the classroom: education for a changing world*. Routledge.

Bonilla Mendoza, Y. N. y Garzón Barragán, I. (2021). El abordaje de cuestiones socioambientales para la formación eco-ciudadana en la educación básica primaria. *Revista Educación y Ciudad, 40,* 199-214.

Bonilla-Mendoza, Y. N. y Garzón-Barragán, I. (2022). Algunas características del contexto ambiental del colegio Tabora para proyectar la formación ecociudadana de estudiantes de grado quinto. *Tecné, Episteme y Didaxis: TED, 51,* 57-76.

Castro Gómez, S. (2015). *Historia de la gubernamentalidad I: razón de Estado, liberalismo y neoliberalismo en Michel Foucault*. Siglo del Hombre Editores.

Comisión Económica para América Latina y el Caribe (Cepal) y Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (Unesco). (2020). *La educación en tiempos de la pandemia de COVID-19.* Editorial Cepal, Unesco. https://www.cepal.org/es/publicaciones/45904-la-educacion-tiempos-la-pandemia-covid-19

Congreso de la República. (1994). Ley 115 de 1994, por la cual se expide la Ley General de Educación. 8 de febrero de 1994. *Diario Oficial* 41214. https://www.mineducacion.gov.co/portal/normativa/Leyes/85906:Ley-0115-de-Febrero-8-de-1994

Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE). (2023, 31 de marzo). *Boletín Técnico. Gran Encuesta Integrada de Hogares (GEIH). Febrero 2023*. DANE. https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/boletines/ech/ech/bol_empleo_feb_23.pdf

Departamento Nacional de Planeación (DNP). (2008). *Documento Conpes 3527. Política Nacional de Competitividad y Productividad*. https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Conpes/Económicos/3527.pdf

Departamento Nacional de Planeación (DNP). (2010). *Documento Conpes 3674. Lineamientos de política para el fortalecimiento del Sistema de Formación de Capital Humano*. http://www.oas.org/juridico/pdfs/mesicic4_col_con3674.pdf

Departamento Nacional de Planeación (DNP). (2011). *Plan Nacional de Desarrollo. 2010-2014. Prosperidad para todos*. Tomos I y II. https://www.dnp.gov.co/Plan-Nacional-de-Desarrollo/PND-2010-2014

Díaz Flórez, O. C. (2018). *Las competencias en la educación superior: debates contemporáneos.* Universidad Pedagógica Nacional.

El Ágora, Diario del Agua. (2020, 15 de junio). La deforestación de la Amazonía se acelera a pesar del coronavirus. https://www.elagoradiario.com/desarrollo-sostenible/biodiversidad/deforestacion-amazonia-acelera-coronavirus/

El Espectador. (2021, 14 de abril). La Amazonía perdió 2,3 millones de hectáreas en 2020, su tercer peor registro. https://www.elespectador.com/ambiente/la-amazonia-perdio-2-3-millones-de-hectareas-en-2020-su-tercer-peor-registro-article/

El Espectador. (2022, 16 de febrero). La pobreza en Colombia en medio de la pandemia. https://www.elespectador.com/economia/macroeconomia/la-pobreza-en-colombia-en-medio-de-la-pandemia/

García Palafox, G. (2021, 30 de abril). México suspende prueba de preparación de PISA. *Mexicanos contra la corrupción y la impunidad.* https://contralacorrupcion.mx/mexico-suspende-prueba-de-preparacion-de-pisa/

García-Calvo, M. O., Garzón-Barragán, I. y Reis, P. (2022). Competences and capabilities: a relevant resignification in education for environmental citizenship. *Environmental Sciences Proceedings, 14*(1), 8.

Grinberg, S. (2008). *Educación y poder en el siglo XXI. Gubernamentalidad y pedagogía en las sociedades de gerenciamiento.* Editorial Miño y Dávila.

Hayward, B. (2012). *Children, citizenship and environment: nurturing a democratic imagination in a changing world.* Routledge.

Insuasty Rodríguez, A., Román, M. H., Valencia Grajales, J. F. y Zuluaga Cometa, H. A. (2020). *Proyecto Hidroituango: historia de una tragedia.* Editorial Kavilando.

Lyotard, J. F. (1984). *La condición posmoderna. Informe sobre el saber.* Cátedra.

Ministerio de Educación Nacional (MEN). (2005). Educación Superior. Competencias y evaluación. *Boletín Informativo, 5*. https://educacional/1759/w3-article-92779.html

Ministerio de Educación Nacional (MEN). (2006). *Estándares básicos de competencias en lenguaje, matemáticas, ciencias y ciudadanas: guía sobre lo que los estudiantes deben saber y saber hacer con lo que aprenden*. Ministerio de Educación Nacional.

Ministerio de Educación Nacional (MEN). (2008). *Plan Sectorial de Educación, Revolución Educativa. 2006-2010.* Ministerio de Educación Nacional. https://www.mineducacion.gov.co/1621/articles230696_archivo_pdf_revedu_plan_sectorial.pdf

Ministerio de Educación Nacional (MEN). (2011). *Plan Sectorial de Educación, Revolución Educativa. 2010-2014.* https://www.mineducacion.gov.co/1621/articles-293647_archivo_pdf_plansectorial.pdf

Miranda, B. (2019, 8 de febrero). Hidroituango seca el río Cauca: cómo la controversial represa redujo en 80 % el caudal del segundo río de Colombia. *BBC News Mundo*. https://www.bbc.com/mundo/noticias-america-latina-47169139

Nussbaum, M. (2005). *El cultivo de la humanidad: una defensa clásica de la reforma.* Editorial Paidós.

Nussbaum, M. C. (2006). Education and democratic citizenship: Capabilities and quality education. *Journal of Human Development, 7*(3), 385-395.

Nussbaum, M. C. (2012). *Crear capacidades: propuesta para el desarrollo humano.* Editorial Paidós.

Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (Unesco). (2015). *Replantear la educación: ¿hacia un bien común mundial?.* Ediciones Unesco.

Sauvé, L. (2017). Education as life. En B. Jickling y S. Sterling (Eds.), *Post-sustainability and environmental education* (pp. 111-124). Palgrave Macmillan, Cham.

Sen, A. (1996). Well-being, agency and freedom: the Dewey lectures 1984. *The Journal of Philosophy, 82*(4), 169-221.

Sen, A. (2000). *Desarrollo como libertad.* Editorial Planeta.

Smith, W. (2016). *The global testing culture—Shaping education policy, perceptions, and practice*. Symposium Books.

Sterling, S. (2017). Assuming the future: repurposing education in a volatile age. En B. Jickling y S. Sterling (Eds.), *Post-sustainability and environmental education* (pp. 31-45). Palgrave Macmillan, Cham.

Vallejo Rodríguez, S. (2016). *Las competencias científicas en la política educativa colombiana: privilegio de la perspectiva parcial al estudiar su ensamblaje desde los estudios sociales de la ciencia.* (Tesis de maestría). Departamento de Sociología, Universidad Nacional de Colombia. https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/48551

Walker, M. (2008). A human capabilities framework for evaluating student learning. *Teaching in Higher Education, 13*(4), 477-487.

Capítulo 11. Abordaje de cuestiones sociocientíficas para la sustentabilidad ambiental

Leonardo Fabio Martínez Pérez
Universidad Pedagógica Nacional

INTRODUCCIÓN

El origen del abordaje de las cuestiones sociocientíficas (CSC) en la enseñanza de las ciencias puede ser explicado de acuerdo con dos puntos de vista; el primero de ellos es el propuesto por el grupo de investigación liderado por Dana Zeidler, del Departamento de Formación de Profesores de la Universidad del Sur de Florida, en los Estados Unidos de América. Para estos autores, la enseñanza de CSC constituye un nuevo movimiento de renovación curricular que respondió a críticas sobre el movimiento ciencia, tecnología, sociedad y ambiente (CTSA), en la medida en que no contribuyó de forma concreta al razonamiento formal, informal y moral de los estudiantes, es decir, que faltaron propuestas concretas de enseñanza que potencializaran el desarrollo cognitivo de los estudiantes. Frente a

estas limitaciones, los estudios sobre el abordaje de CSC vienen demostrando que es posible promover el desarrollo cognitivo a través de la argumentación, la promoción del razonamiento informal de los estudiantes y especialmente la formación moral (Zeidler, Sadler, Simmons y Howes, 2005).

El segundo punto de vista, que asumen varios investigadores como Santos y Mortimer (2009), Hodson (2009), Martínez y Parga (2013a), entre otros, hace alusión al origen del abordaje de CSC en el marco de la evolución y ampliación del movimiento CTSA, puesto que sus objetivos se han orientado a mejorar la comprensión de la naturaleza de la ciencia, la alfabetización científica y la formación ciudadana para promover la participación crítica y responsable de los estudiantes en las múltiples controversias del emprendimiento científico y tecnológico en la sociedad. Por lo tanto, los objetivos de las CSC son prácticamente los mismos que ha impulsado el movimiento CTSA a lo largo de su desarrollo, desde su origen en la década de los sesenta.

Aunque los autores mencionados discrepan en torno a la explicación sobre el origen de las CSC en la enseñanza, todos coinciden en la importancia que tienen para mejorar la enseñanza y, por lo tanto, la formación de los estudiantes en la comprensión actual de la ciencia y la tecnología, que implica una importante contextualización social y el tratamiento de polémicas en las que participan varios actores sociales.

Recientemente, Zeidler, Herman y Sadler (2019), en el ámbito anglosajón, documentaron el impacto positivo y relevante del abordaje de CSC en dos décadas de trabajos desarrollados para favorecer la alfabetización científica de los estudiantes, y destacan los factores motivacionales para el aprendizaje de contenidos científicos y sus aportes para la toma de decisiones de los estudiantes al tratar CSC. Los aportes en la formación ética y moral de los estudiantes también constituyen un valioso aporte, tanto en ámbitos formales como informales, en la medida en que gracias a ellos se pueden analizar múltiples fuentes y puntos de vista frente a la controversia, construyendo puentes entre conocimientos científicos y demás áreas para tratar los debates en el aula y proyectarlos a otros escenarios sociales, ambientales y culturales.

Por su parte, Casallas y Martínez (2021) analizaron el abordaje de CSC en América Latina, identificando cinco tendencias. La primera hace alusión a los aportes del abordaje de CSC en la formación de profesores,

tanto inicial como continuada; se resaltan los estudios sobre argumentación, pensamiento crítico, creación de grupos de investigación en la interfaz universidad-escuela, inclusión de las TIC, fortalecimiento de la interdisciplinariedad y conocimiento profesional del profesor.

La segunda tendencia resalta los aportes del abordaje de CSC a la formación ciudadana de estudiantes, especialmente de educación básica secundaria y educación media, y sus propuestas apuntan a favorecer la formación en valores y actitudes positivas, críticas y propositivas hacia la ciencia, el razonamiento ético y moral. Está fundamentada principalmente en la perspectiva teórica de Lawrence Kohlberg (1927-1987) y el desarrollo de acciones sociopolíticas responsables frente a problemas de orden ambiental y social que involucran proyectos tecnocientíficos.

La tercera tendencia centra su atención en la alfabetización científica de estudiantes de educación secundaria y media para mejorar la comprensión de la naturaleza de la ciencia y establecer mejores vínculos entre el emprendimiento científico y la vida.

La cuarta tendencia se enfoca en el análisis de procesos de argumentación y pensamiento crítico, pero en estudiantes entre los 12 y 17 años, aproximadamente; se destacan las experiencias didácticas basadas en juegos de roles, debates, proyectos de aula, unidades y secuencias de enseñanza orientadas a caracterizar y mejorar la argumentación en clases de ciencias y a fomentar el trabajo colaborativo.

La última tendencia hace alusión a trabajos sobre diseño, análisis e implementación de propuestas de enseñanza en los niveles meso- y microcurricular, y enfatiza en los trabajos orientados a la educación ambiental y la enseñanza de la biología.

Los referentes y tendencias anteriormente descritos sobre el abordaje de CSC en la enseñanza de las ciencias evidencian la importancia del tema para el mejoramiento de los procesos formativos de los estudiantes y los desafíos que los profesores tienen para trabajar las controversias en sus clases, pues hacen parte de la vida de sus estudiantes. Especialmente, se priorizan las CSC que tienen una implicación relevante en los problemas ambientales tratados desde el punto de vista de la sustentabilidad.

En este capítulo se propone un análisis del abordaje de las CSC enfocadas en la sustentabilidad ambiental; para ello se realiza una sintética descripción de investigaciones llevadas a cabo desde

el año 2003 hasta el 2021 por parte del grupo Alternativas para la Enseñanza de las Ciencias (Alternaciencias), destacando los aportes a la formación de los estudiantes como ciudadanos críticos y proactivos con respecto a problemáticas ambientales. Posteriormente, se realiza una discusión sobre el origen y desarrollo histórico de la enseñanza CTSA en contraste con la educación ambiental, con el fin de establecer algunas conexiones que posibiliten trabajar CSC enfocadas en la sustentabilidad ambiental; para esto se retoman, entre otros trabajos, los aportes de J. Simonneaux y L. Simonneaux (2012) y de L. Simonneaux (2014), quienes proponen el concepto de cuestiones socialmente vivas para referirse a CSC que abarcan alta complejidad y conflictividad social en el ámbito de problemáticas ambientales que requieren un tratamiento interdisciplinario y político. Finalmente, se presentan algunas consideraciones sobre el abordaje de la COVID-19 como CSC para ejemplificar la complejidad ambiental latente en esta cuestión desde el punto de vista científico, social y político.

CUESTIONES SOCIOCIENTÍFICAS CENTRADAS EN PROBLEMÁTICAS AMBIENTALES

Desde el año 2003, el grupo Alternaciencias ha realizado investigaciones sobre la enseñanza CTSA, haciendo énfasis en los impactos de la ciencia en el ambiente. Ya en los primeros estudios se trataron CSC de gran importancia en Colombia, por ejemplo, Martínez y Rojas (2006) publicaron el primer trabajo de investigación del grupo, desarrollado entre el 2003 y el 2005, sobre el establecimiento de relaciones CTSA por parte de futuros profesores de química, en el que indagaron sobre el aprendizaje de conceptos básicos de bioquímica asociados a la ruta metabólica del ácido siquímico en las plantas. El estudio fue hecho a través de un juego de roles sobre la CSC de las fumigaciones de glifosato en Colombia, que desde la década de los setenta ha sido objeto de grandes controversias centradas en la prohibición o intensificación de estas fumigaciones para controlar cultivos ilícitos. El abordaje de dicha controversia propició un aprendizaje contextualizado de conceptos bioquímicos y generó una relación directa entre la base científica de la controversia, las implicaciones ambientales y los riesgos para la salud humana.

Por su parte Martínez, Peña y Villamil (2007) analizaron el desarrollo de actitudes favorables hacia la química a partir del análisis de CSC asociadas con eventuales sanciones a empresas de la zona

industrial de Puente Aranda, en Bogotá, y de Yumbo, en Cali, por la generación de lluvia ácida debido a los altos grados de polución. La cuestión evidenció los conflictos de interés entre empresarios y gobierno, en términos de la necesaria aplicación de normas y acuerdos firmados en el ámbito internacional en las distintas cumbres sobre el ambiente. El estudio evidenció que, al abordar la CSC a través de juegos de roles, se logró favorecer una mejor actitud hacia el estudio de la química. Dicho mejoramiento actitudinal se dio en términos cognitivos, en la medida en que el estudio de las reacciones químicas se fortaleció al tratarlas en el contexto de la problemática socioambiental; asimismo, en términos afectivos se apreció que, dadas las polémicas suscitadas por la polución atmosférica, los estudiantes de educación secundaria se motivaron por el estudio de conceptos químicos tales como reacción química, leyes ponderales y estequiometría.

Moreno y Martínez (2009) abordaron, con estudiantes brasileños de educación media, la controversia sobre la conveniencia de la producción de biocombustibles como energía alternativa. El objetivo del trabajo se orientó al análisis de los niveles de argumentación de los estudiantes y la habilidad del profesor para su desarrollo. Los resultados mostraron que las discusiones realizadas por los mismos estudiantes favorecieron un buen nivel de argumentación, caracterizado por el uso de justificaciones respaldadas con garantías y cualificadores. Los procesos argumentativos hicieron énfasis en la comprensión de los beneficios de producir biocombustibles para disminuir el impacto del uso de combustibles fósiles en la generación de gases efecto invernadero, pues al producir la energía a partir de un proceso renovable que implica el cultivo, procesamiento de la caña de azúcar y obtención del etanol para su uso en motores de vehículos, se logra un balance de carbono cero que contribuye al planeta. Sin embargo, el cultivo de caña de azúcar a gran escala con el uso de fertilizantes nitrogenados puede tener implicaciones ambientales, como la alteración del ciclo biogeoquímico del nitrógeno y con ello, por ejemplo, la aceleración de procesos de eutroficación en cuerpos de agua.

En Martínez y Parga (2013b) se publicaron los resultados de un proyecto de investigación orientado a caracterizar los discursos movilizados por los profesores de ciencias al diseñar unidades didácticas centradas en cuestiones sociocientíficas (CSC), el cual fue desarrollado entre el segundo semestre del 2012 y el primer semestre del 2013 y fue

financiado por el Centro de Investigaciones de la Universidad Pedagógica Nacional (CIUP). El estudio analiza el discurso ético y ambiental en la formación y construcción de estrategias para mejorar la enseñanza de las ciencias; el primero se caracteriza por manejar un discurso relativista, deontológico y utilitarista, mientras que en el discurso ambiental se contemplan aspectos propios como la ética de lo ambiental, las visiones antropocéntricas, ecocéntricas y biocéntricas.

En el marco del proyecto internacional de investigación Programa Colombo-Brasileño de Formación de Profesores de Ciencias en la Interfaz Universidad-Escuela (U-E) adelantado interinstitucionalmente por la Universidad de Estadual Paulista de Brasil (UNESP) y la Universidad Pedagógica Nacional (UPN) de Colombia, y financiado parcialmente por Capes y Colciencias a partir del contrato 531-2012, se construyó y publicó el trabajo de Escobar, Morales y Ruiz (2015), que abordó la CSC sobre la privatización del agua en Colombia, centrando la atención en el cuidado de las fuentes hídricas de los cerros orientales de Bogotá y las amenazas consecuentes a la construcción de edificaciones legales e ilegales, así como la destrucción de los ecosistemas en el subpáramo y páramo.

Por su parte, Bonilla y Garzón (2021) proponen, implementan y analizan los resultados de una unidad didáctica para estudiantes entre nueve (9) y doce (12) años sobre las controversias en torno a la destrucción del hábitat de la rana dorada, una especie en peligro de extinción que se encuentra en las selvas colombianas; los autores hacen énfasis en los conflictos sociales y ambientales que acarrea el tráfico ilegal de esta especie.

Giraldo (2021) propone un análisis de la explotación minera en Colombia como una CSC, enfatizando en aspectos históricos, políticos y sociales que delinean la compleja problemática ambiental que vive el país en diferentes regiones por la explotación indiscriminada de minerales y las paradojas entre desarrollo social y destrucción de la naturaleza.

Los trabajos descritos anteriormente evidencian que el abordaje de CSC en la enseñanza de las ciencias puede orientarse a tratar problemáticas ambientales de gran impacto y ampliarse con la fundamentación teórica con el fin de contribuir a la comprensión de la sustentabilidad ambiental y el desarrollo de acciones sociales de los estudiantes que apunten a su materialización.

CONTRASTES ENTRE LA EMERGENCIA DE LAS CUESTIONES SOCIOCIENTÍFICAS Y LA EDUCACIÓN AMBIENTAL

Con el objetivo de construir una fundamentación más amplia para el abordaje de CSC orientadas a la sustentabilidad ambiental, es necesario establecer relaciones entre la enseñanza de las ciencias y la educación ambiental, ya que la categoría CSC es propia del primer campo de conocimiento y la sustentabilidad ambiental es propia del segundo. Para atender este objetivo, a continuación se realiza un contraste entre el desarrollo histórico de la enseñanza de las ciencias con enfoque CTSA y los marcos políticos y normativos de la educación ambiental. En este sentido, en la figura 11.1 se representan los cuatro momentos de evolución de la enseñanza CTSA conforme a los trabajos de Martínez (2012) y Martínez y Parga (2013a); por su parte, para abordar la educación ambiental se retoma el trabajo de Moreno (2009).

En la figura 11.1 puede observarse que el movimiento CTSA en la enseñanza de las ciencias surgió en las décadas de los sesenta y setenta, y se constituyó a partir de postulados epistemológicos y sociológicos, entre los que destacan los trabajos de Fleck (1986) y Kuhn (2001). Otra fuente importante de este movimiento lo constituye el legendario trabajo de Carson (1969), *Primavera silenciosa*, en donde se denuncian los graves efectos de los pesticidas en los ecosistemas. Esta obra es un referente común para el enfoque CTSA y para la educación ambiental, pues sustenta que la preocupación por orientar la enseñanza y la formación hacia la comprensión de problemáticas ambientales es de larga data, a la vez que señala los límites e impactos del desarrollo científico. El origen de CTSA también coincide con la primera conferencia en educación ambiental, desarrollada en la Universidad de Keele en 1965 y con la Declaración de Estocolmo de 1972, que estableció 109 recomendaciones, entre ellas la necesidad de adelantar procesos educativos que, aunque pensados desde una visión técnica orientada a la realización de inventarios de riquezas naturales, constituyeron un primer paso en la materia. Poco después, con la Carta de Belgrado de 1975, se creó el Programa Internacional de Educación Ambiental, un antecedente de la Declaración de Tbilisi de 1997, la primera conferencia internacional de educación ambiental, que fijó un derrotero importante en materia de política pública orientada a la adopción de valores éticos y estéticos por parte de todas las personas para el cuidado y mejoramiento del medio ambiente.

En la década de los ochenta se consolidó la construcción e implementación de currículos CTSA en todo el mundo, muchos de ellos construidos con una racionalidad reflexiva y práctica por parte de profesores de ciencias de universidades y escuelas que lograron un trabajo articulado para producir materiales con buenos fundamentos pedagógicos y didácticos, como es el caso del currículo SISCON (Science in a Social Context) en Inglaterra, Science: a Way of Knowing en Canadá, el proyecto Synthesis en USA, el Project Leerpakket Ontwikkeling Natuurkunde (PLON) en Holanda y Química ciudadana en Brasil. Otros currículos se basaron en una racionalidad técnica promovida por profesionales y especialistas de disciplinas científicas que producían materiales para que los profesores los implementaran en sus aulas, análisis sobre los currículos CTSA pueden profundizarse en Martínez (2012).

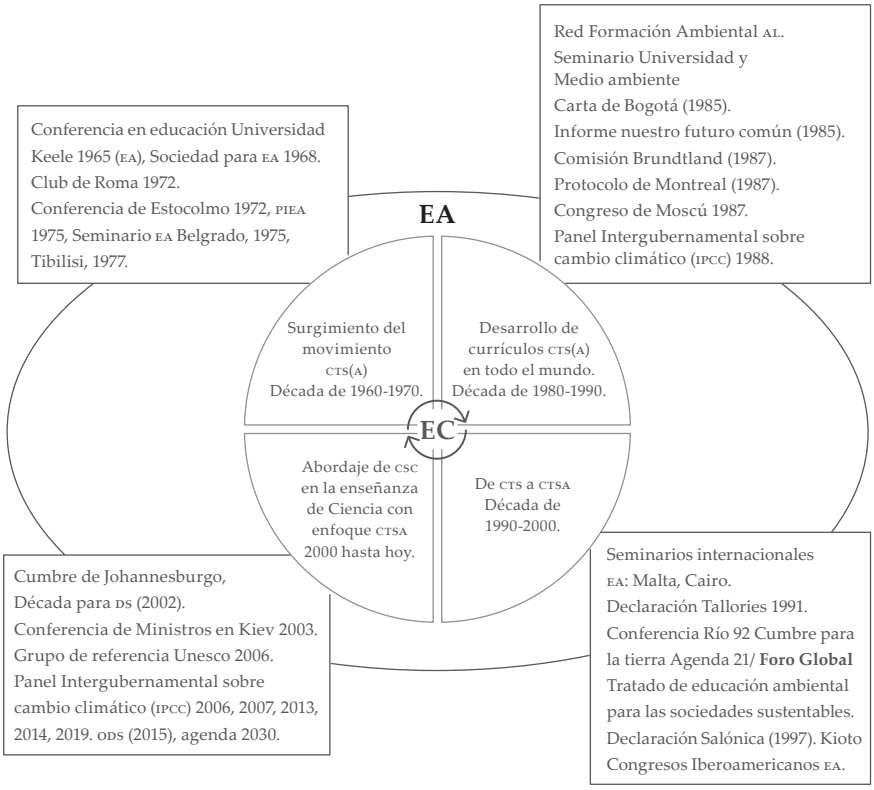


Figura 11.1. Etapas de evolución histórica enseñanza de las ciencias (EC) con enfoque CTSA en contraste con el marco político y normativo del desarrollo histórico de la educación ambiental (EA)
Fuente: elaboración propia.

Al mismo tiempo que se consolidaban los currículos CTSA, la educación ambiental avanzaba en el marco de las políticas públicas y especialmente en el fomento de redes de formación, seminarios, grupos de trabajo y varias estrategias para su implementación. Por ejemplo, se destaca la Red de Formación Ambiental y el seminario Universidad y Medio Ambiente, que dieron paso a la Carta de Bogotá de 1985; en el mismo año se publicó el informe *Nuestro futuro común y* se expidió el Protocolo de Montreal. Tres años después, en 1988, fue creado el Panel Intergubernamental del Cambio Climático, una organización esencial para comprender las graves consecuencias de la actividad antrópica, especialmente asociada a la emisión de gases invernadero, que alteran dramáticamente los equilibrios climáticos del planeta.

En la década de los noventa, la enseñanza CTSA centró su atención en las problemáticas ambientales, desarrollando importantes propuestas para trabajar, en los contextos escolares, los fundamentos del modelo de desarrollo sostenible como una alternativa para mantener el modelo de producción económica, pero buscando resguardar el futuro de las generaciones venideras. En esta década se destacan los seminarios internacionales de educación ambiental en Malta, El Cairo, la Declaración de Talloires en 1991, la Cumbre de Río de 1992, Cumbre de la Tierra, que estableció la Agenda 21 y el foro global que, de forma paralela, se realizó por parte de organizaciones sociales en el mismo Río de Janeiro y que dio paso a un derrotero inicial para pensar la construcción de sociedades sustentables que va más allá del desarrollo económico y que necesariamente requiere su reorientación.

En las últimas décadas del siglo XXI se aprecia la emergencia del abordaje de CSC en la enseñanza de las ciencias como una estrategia teórica y metodológicamente fundamentada para mejorar el establecimiento de relaciones CTSA en la práctica del profesor, fomentar la formación ciudadana de los estudiantes, favorecer sus procesos de argumentación y de toma de decisiones responsable y democrática. El abordaje de CSC presta especial interés a las problemáticas ambientales porque algunas de sus causas, además de las políticas, tienen que ver con los productos de la ciencia que impactan el ambiente, como los pesticidas, agroquímicos, energías fósiles, entre otros. En las dos últimas décadas (2000-2020), la educación ambiental no tiene un lugar fuerte o predominante en la agenda política internacional, si

bien la Cumbre de Johannesburgo, en 2002, centró la atención en los objetivos del desarrollo sostenible, que son revisados e impulsados con mayor fuerza y urgencia en la Agenda 2030 propuesta en el 2015. El Panel Intergubernamental del Cambio Climático publicó informes relevantes en 2006, 2007, 2013, 2014 y 2019, consolidando datos contundentes que alertan sobre la alteración dramática de la temperatura del planeta, la cual puede traer consecuencias devastadoras e irreversibles en la viabilidad misma de la especie humana. En este sentido, el cambio climático, por ejemplo, constituye una CSC que se articula muy bien con los propósitos de la educación ambiental orientados hacia la comprensión de la crisis civilizatoria que vivimos como humanidad y que debe posibilitarnos el reencuentro con la naturaleza para frenar su devastación.

La idea de sustentabilidad o sostenibilidad que surgió en la década de los setenta pretendía responder a la crisis civilizatoria que caracteriza la problemática ambiental, exacerbada por el modelo depredador, hiperconsumista de la sociedad de mercado que institucionalizó la ciencia y la tecnología como una nueva fuerza productiva que genera mercancías a partir de la transformación de la naturaleza, haciéndola un objeto de explotación. Desafortunadamente, el concepto progresista y ético de la sustentabilidad fue sustituido rápidamente, a lo largo de las últimas cinco décadas, por la concepción de desarrollo sostenible que busca mantener los mismos patrones de producción y consumo de la sociedad de mercado, enmascarando esta pretensión con la ficción de asegurar los recursos necesarios para las futuras generaciones; así, el significado etimológico de la sustentabilidad, asociado a sostener o buscar que algo sea sostenido a lo largo de tiempo, se tornó insustentable.

Leff (2019) realiza una reconstrucción crítica del concepto de sustentabilidad criticando el reduccionismo de la economía de mercado a la construcción de una economía verde promovido por el desarrollo sostenible. Este autor busca construir una nueva posibilidad para la sustentabilidad ambiental basada en el propio funcionamiento ecológico de la vida en la naturaleza y en los saberes culturales de las comunidades indígenas y campesinas que configuran los territorios en donde la vida se sostiene de manera importante porque se respetan las propias dinámicas de lo que el autor denomina el "metabolismo de la naturaleza" para producir materia y energía sin romper los propios equilibrios gobernados por la ley de la entropía.

La perspectiva de sustentabilidad defendida por Leff (2019) contribuye a fortalecer la educación ambiental, olvidada en el concierto de las políticas internacionales, para colocar de presente su carácter formativo con el fin de pensar y buscar nuevas alternativas ante la crisis ambiental que se agudiza. Asimismo, la idea de diálogo de saberes que subyace a esta concepción es relevante, sin embargo, a diferencia de Leff, que no rescata con claridad las posibilidades de la interdisciplinariedad para contribuir en este proceso por las limitaciones que ha tenido, en el caso de la enseñanza de las ciencias resulta importante que el diálogo de saberes promovido por la perspectiva ambiental también articule el diálogo entre disciplinas y otros saberes, ya que la ciencia, como construcción sociocultural, también constituye un saber importante de la humanidad que puede aportar a la búsqueda de las soluciones que demanda el planeta. Claramente, los estudios del Panel Intergubernamental del Cambio Climático son una muestra de que la ciencia, orientada hacia el bienestar de la humanidad, puede ofrecer importantes evidencias para impulsar los cambios de paradigmas necesarios para iniciar un proceso de superación de las lógicas impuestas por la sociedad de mercado.

Con base en la concepción de sustentabilidad para potencializar la vida expuesta anteriormente, y rescatando las posibilidades de la interdisciplinariedad construida por las propias ciencias, es posible tratar CSC en el aula para que los estudiantes analicen la complejidad existente en controversias de notable impacto social.

El análisis realizado por Simonneaux y Simonneaux (2012) sobre diferentes principios atribuidos a las distintas concepciones de conocimiento universal, plural y contextualizado, contribuye a la configuración de un referente importante para tratar las CSC hacia la sustentabilidad, ya que la ciencia estaría comprendida desde la incertidumbre y el riesgo, a diferencia de la concepción universalista y absolutista orientada por la certeza. De la misma forma, los actores sociales involucrados no se reducen solamente a científicos, sino que abarcan indígenas, campesinos, filósofos, políticos, abogados, ciudadanos, ambientalistas, entre otros actores. No existe un único método "científico" para construir la verdad, sino la construcción de diferentes modelos, y es posible dar paso a la investigación socio-epistemológica y a la participación activa de actores en los procesos construcción de evidencias empíricas.

Para los autores citados anteriormente, es posible establecer tres configuraciones dinámicas entre posturas epistemológicas, concepciones del conocimiento y estrategias didácticas que dinamizan la enseñanza de las ciencias. La primera configuración, basada en una postura epistemológica utilitarista, puede ofrecer una visión contextualizada del conocimiento y a su vez emprender estrategias didácticas problematizadoras. La segunda configuración se orienta hacia la acción e implica una epistemología utilitarista, una concepción contextualizada y estrategias didácticas pragmáticas. La tercera configuración busca el pensamiento crítico, basándose en una epistemología escéptica, una concepción con compromiso social y estrategia didáctica-crítica. Estas configuraciones ofrecen un espectro amplio de trabajo para el abordaje de CSC y posibilitan que estas se piensen orientadas hacia la acción socioambiental, que implica pensamiento crítico y una postura epistemológica escéptica de la visión salvacionista de la ciencia, tal como es discutido por Auler y Bazzo (2001).

Simonneaux (2014), basado en las anteriores configuraciones, amplía su concepción sobre las CSC, denominadas por este autor como "cuestiones socialmente vivas", ofreciendo una visión sólida para trabajar las controversias desde una zona fría hasta una zona caliente; en la primera predomina la enseñanza de las ciencias centrada en el aprendizaje de conceptos, el papel central de las disciplinas científicas y bajos niveles de deliberación entre los estudiantes. Antes de la zona caliente se puede estructurar una enseñanza intermedia, con la cual se busca analizar el riesgo del progreso científico, se identifican valores involucrados, se favorecen procesos de argumentación y se promueven la evaluación y el análisis de evidencias con base en metodologías de investigación. En esta zona es necesaria la interdisciplinariedad científica y se promueve una amplia deliberación entre los estudiantes como parte de su formación ciudadana; la zona intermedia comprende la mayoría de los trabajos que se han publicado en la literatura existente sobre CSC, conforme a las revisiones hechas en Casallas y Martínez (2021). La zona caliente, por su parte, comprende el abordaje de CSC orientadas a la sustentabilidad ambiental, pues las problemáticas trabajadas en la enseñanza requieren no solo la interdisciplinariedad entre las propias disciplinas científicas sino una interdisciplinariedad con las ciencias sociales y las humanidades; además, conforme a la perspectiva que se sustenta

en este escrito, la sustentabilidad para la vida requiere el diálogo de saberes con las comunidades cuya cultura va más allá de una mirada académica, pues en la mayoría de los casos estos actores ejercen la acción sociopolítica (activismo) para exigir reivindicaciones justas ante gobernantes o empresas. A manera de ejemplo, podemos tratar la CSC sobre la COVID-19 como controversias ubicadas en la zona caliente y, en este sentido, es posible trabajar con claridad la perspectiva de la sustentabilidad ambiental.

La COVID-19 es una CSC porque ha suscitado una gran controversia social sobre los límites del ser humano para sobrevivir en un mundo cada vez más complejo por la propia actividad antrópica. Para agosto del 2022 se registraba, desde el inicio de la pandemia, 6,44 millones de muertes por causa de esta enfermedad. Claramente, al inicio de la emergencia sanitaria, proclamada en marzo del 2020, la situación era dramática, y fue necesaria la autorización de proyectos científicos de producción de vacunas de emergencia, pasando por alto tiempos exigidos en protocolos rigurosos para su obtención y aplicación. Esta CSC no solo permaneció en la esfera científica y sanitaria, sino que trascendió todas las esferas sociales, desde los grandes impactos económicos como consecuencia del cese de actividades, el recrudecimiento del hambre, especialmente en los países pobres, pasando por las afectaciones en la prestación del servicio educativo en todos los niveles, y con ello la alteración de procesos de socialización, formación, desarrollo cognitivo y emocional de millones de niños, jóvenes y adultos, hasta las consecuencias políticas evidenciadas en disputas de orden global por responsabilizar a uno u otros país del origen de la pandemia y el despliegue de grandes capitales públicos para desarrollar vacunas, salvar empresas y atender sanitariamente la emergencia.

Todos los anteriores aspectos evidencian la complejidad de la CSC, que claramente implica una problemática ambiental porque tiene que ver con las esferas políticas, sociales, económicas, éticas y culturales, es decir, es una cuestión compleja que debe tratarse como tal en los procesos de enseñanza de las ciencias.

Como CSC, la COVID-19 tiene una base en la ciencia de frontera e implicó un desarrollo de punta para caracterizar la secuencia genética del virus Sars-CoV-2 que la generó; asimismo, fue necesario estudiar el mecanismo de interacción con las células del ser humano

y todos los complejos procesos de mutación que experimentan y que desencadenan variantes que pueden o no ser altamente peligrosas. La pandemia también impulsó investigaciones novedosas para entender los procesos de inmunidad humana, que explican la existencia de asintomáticos e incluso de personas que no se contagian pese a estar expuestos al virus.

Los proyectos científicos para desarrollar vacunas eficaces no solo constituyeron un desafío para la comunidad de especialistas, sino que también requirieron un gran emprendimiento económico y político de compañías y Estados; solo para abril del 2020 se registraron 78 proyectos, que aunque numerosos, se concentraron en 36 firmas de Estados Unidos, 14 firmas chinas, 14 firmas europeas y 14 firmas de Asia y Australia, con lo que se constata nuevamente la cartografía de los sectores dominantes en ciencia y tecnología en el mundo y, una vez más, se pone de presente el carácter desigual del emprendimiento científico. Mientras que en el pasado la experimentación de nuevas vacunas ocurría con "voluntarios", especialmente de África y América Latina, en esta oportunidad el experimento tuvo que iniciar con las poblaciones de los países desarrollados, y fue necesario correr el riesgo de iniciar la vacunación masiva sin el conocimiento pleno de todos los efectos y consecuencias en la salud humana a largo plazo.

La pandemia también avivó el debate frente a la afectación de la naturaleza por la actividad antrópica, pues la hipótesis más plausible para explicar el origen del virus estaría asociada al indiscriminado consumo de animales silvestres en China como el pangolín (*Manis javanica*), que podría ser el intermediario que desencadenó el contagio del ser humano, pues el reservorio más probable es el murciélago. Claramente, esta situación afianza las amplias apuestas ambientales de instituir la defensa de los derechos de la naturaleza y, por lo tanto, el respeto de toda la biodiversidad existente.

Las discusiones sobre el relacionamiento de la sociedad con la naturaleza, incluso, trascendieron de la controversia sobre el origen del virus y se colocaron en un terreno más amplio en términos de la propia sobrevivencia humana, puesto que la pandemia también permite contemplar con mayor nitidez los efectos devastadores del modelo occidental de producción de gases invernadero que alteran el clima del planeta. Es paradójico que el confinamiento sirvió para

apreciar un mejoramiento de la calidad del aire en grandes ciudades, pero desencadenó la deforestación y quema de grandes extensiones de selva en la Amazonia, esto debido a la falta de control por las autoridades competentes.

CONSIDERACIONES FINALES

En este capítulo se ha presentado una síntesis de la producción académica desarrollada en los últimos años sobre el abordaje de CSC en la enseñanza de las ciencias, evidenciando la importancia del tema para la investigación y, sobre todo, para mejorar la práctica docente. Los estudios dan cuenta del potencial académico y formativo del abordaje de CSC para favorecer procesos de argumentación, pensamiento crítico, toma de decisiones y acción sociopolítica responsable por parte de los estudiantes como ciudadanos.

La preocupación del abordaje de CSC por tratar temáticas ambientales ha estado permanente en el grupo Alternaciencias, desde los primeros trabajos publicados en el 2006 hasta los últimos del 2021. Las controversias asociadas a la aspersión aérea con glifosato para la erradicación de cultivos ilícitos en Colombia, la producción de biocombustibles en el ámbito regional, la explotación minera legal e ilegal, la privatización del agua, el tráfico de la rana dorada y la reciente pandemia generada por el Sars-CoV-2 demandan un estudio complejo de las distintas dimensiones sociales, económicas, políticas, éticas y culturales que afectan a la naturaleza y al ser humano. Estos trabajos son antecedentes importantes para orientar las CSC hacia la sustentabilidad ambiental, lo cual requiere establecer relaciones entre la enseñanza del enfoque CTSA y la educación ambiental, tal como ha ocurrido históricamente.

Con el fin de ofrecer un marco de referencia para el abordaje de CSC orientadas a la sustentabilidad ambiental, se articula la reconstrucción histórica que hace del concepto Enrique Leff para darle sentido a una sustentabilidad orientada para la vida, partiendo de apropiar el funcionamiento ecológico de la naturaleza para construir un nuevo modelo social que permita restituir el equilibrio perdido. Sin embargo, este tipo de sustentabilidad, para el caso de las CSC, también incorpora los aportes de la propia interdisciplinariedad de las disciplinas científicas, pero no se limita a esta, porque se requiere del diálogo de saberes para construir nuevas alternativas a

la economía de mercado. Los trabajos de Simonneaux y Simonneaux (2012) aportar un marco importante para fundamentar epistemológica y didácticamente el abordaje de CSC.

Las CSC orientadas hacia la sustentabilidad ambiental implican no solo reconocer las controversias, en términos conceptuales, en torno a los desarrollos de la ciencia de frontera, que se caracteriza por una alta incertidumbre, sino que requieren también un trabajo complejo de las dimensiones sociales, económicas, políticas, éticas y culturales comprendidas en la sustentabilidad ambiental. Existen ejemplos, como la COVID-19, que favorecen tal abordaje, así, se propone un referente para desarrollar otros trabajos que profundicen en el estudio de otras CSC de notable importancia ambiental.

REFERENCIAS

Auler, D. y Bazzo, W. (2001). Reflexões para a implementação do movimento CTS no contexto educacional Brasileiro. *Ciência & Educação, 7*(1), 1-3.

Bonilla, Y. y Garzón, I. (2021). Abordaje de cuestiones socioambientales en una unidad didáctica para estudiantes entre 9 y 12 años. En L. Martínez (Comp.), *Cuestiones sociocientíficas en la enseñanza de las ciencias: experiencias investigativas e innovadoras* (pp. 135-160). Instituto Nacional de Investigación e Innovación Social.

Carson, R. (1969). *Primavera silenciosa.* 2.ª ed. Melhoramentos.

Casallas, E. y Martínez, L. (2021). El abordaje de cuestiones (CSC) en América Latina, una primera aproximación. En L. Martínez (Comp.), *Cuestiones sociocientíficas en la enseñanza de las ciencias: experiencias investigativas e innovadoras* (pp. 19-34). Instituto Nacional de Investigación e Innovación Social.

Escobar, M., Morales, M. y Ruiz, M. (2015). Una experiencia educativa sobre la problemática ambiental del agua de los cerros orientales: reflexiones y aportes desde la escuela. En L. Martínez, D. Parga e I. Garzón (Eds.), *Formación de profesores y cuestiones sociocientíficas: experiencias y desafíos en la interfaz universidad-escuela* (pp. 61-80). Universidad Pedagógica Nacional.

Fleck, L. (1986). *La génesis y el desarrollo de un hecho científico.* Alianza.

Giraldo, G. (2021). La minería como cuestión sociocientífica. En L. Martínez (Comp.). *Cuestiones sociocientíficas en la enseñanza de las ciencias: experiencias investigativas e innovadoras* (pp. 93-110). Instituto Nacional de Investigación e Innovación Social.

Hodson, D. (2009). Putting your money where your mouth is: towards an action-oriented science curriculum. *Journal of Activist Science & Technology Education, 1*(1), 1-15.

Kuhn, T. (2001). *A estrutura das revoluções científicas*. 6.ª ed. Perspectivas.

Leff, E. (2019). *Ecología política: de la deconstrucción del capital a la territorialización de la vida*. Siglo xxi Editores.

Martínez, L. (2012). *Questões sociocientíficas na prática docente: ideologia, autonomia e formação de professores.* Editora Unesp.

Martínez, L. y Parga, D. (2013a). La emergencia las cuestiones sociocientíficas en el enfoque ctsa. *Góndola, 8*(1), 23-35.

Martínez, L. y Parga, D. (2013b). *Discurso ético y ambiental sobre cuestiones sociocientíficas: aportes a la formación del profesorado de ciencias.* Universidad Pedagógica de Colombia.

Martínez, L. y Rojas, A. (2006). Estrategia didáctica con enfoque ciencia, tecnología sociedad y ambiente, para la enseñanza de tópicos de bioquímica. *Tecné, Episteme y Didaxis: ted, 19*, 44-62.

Martínez, L., Peña, D. y Villamil, Y. (2007). Relaciones ciencia, tecnología, sociedad y ambiente, a partir de casos simulados: una experiencia en la enseñanza de la química, *Ciência & Ensino, núm. especial.* http://www.ige.unicamp.br/ojs/index.php/cienciaeensino/index

Moreno, D. (2009). *Os sentidos outorgados por docentes de cursos de licenciatura sobre a educação ambiental como possibilidade para se pensar a formação de professores.* (Tesis de maestría). Universidade Estadual Paulista.

Moreno, D. F. y Martínez, L. F. (2009). Argumentación en estudiantes de educación media y habilidad del profesor para su desarrollo: una discusión en el aula sobre implicaciones sociales y ambientales de la producción de etanol. *Nodos y Nudos, 27*(3), 30-42.

Santos, W. y Mortimer, E. (2009). Abordagem de aspectos sociocientíficos em aulas de ciências: possibilidades e limitações. *Investigações em Ensino de Ciências, 14*(2), 191-218.

Simonneaux, J. y Simonneaux, L. (2012). Educational configurations for teaching environmental socioscientific issues within the perspective of sustainability. *Research in Science Education, 42*(1), 75-94.

Simonneaux, L. (2014). *Questions socialement vives and socioscientific issues: new trends of research to meet the training needs of postmodern society.* En Topics and Trends in Current Science Education (pp. 37-54). Springer.

Zeidler, D. L., Sadler, T. D., Simmons, M. L. y Howes, E. V. (2005). Beyond STS: a research-based framework for socioscientific issues education. *Science Education, 89*(3), 357-377.

Zeidler, D., Herman, H. y Sadler, T. (2019). New directions in socioscientific issues research. *Disciplinary and Interdisciplinary Science Education Research, 1*(11). https://doi.org/10.1186/s43031-019-0008-7

Capítulo 12. Evaluación y estandarización: relación de las pruebas externas con las de aula. Experiencias en el área de ciencias naturales

Libia Stella Niño Zafra
Universidad Pedagógica Nacional

INTRODUCCIÓN

El Programa para la Evaluación Internacional de Alumnos, Pruebas PISA,[1] es una de las pruebas externas estandarizadas internacionales que más influyen en los resultados de las evaluaciones de los sistemas educativos a nivel global y nacional; sin embargo, es posible que el programa deje de lado las particularidades de los distintos contextos educativos. Esta problemática demanda el compromiso

1 Estudio llevado a cabo por la Organización para la Cooperación Económica Europea (OCDE) a nivel mundial. Mide el rendimiento académico de estudiantes de 15 años en matemáticas, ciencias y lectura. Colombia ha participado en estas pruebas.

de ahondar en su estudio, compromiso que ha asumido el Grupo Evaluándonos de la Universidad Pedagógica Nacional, con el sustento de investigaciones de reconocidos estudiosos de la educación tales como Ravela (2009), Eisner (1998), Barrenechea (2010), Koretz (2017) y Ravitch (2016), entre otros, quienes sustentan la incidencia de múltiples factores de orden ideológico, político, socioeconómico, cultural y educativo en los resultados, con efectos que se pueden extender a la discusión sobre las pruebas estandarizadas nacionales, pruebas Saber.

Un análisis sobre esta situación comprende el estudio de la relación entre las pruebas externas Saber y las evaluaciones de aula, que se ha constituido en uno de los problemas más significativos de la educación colombiana en los últimos años. Posiblemente, la comprensión de las diferencias conceptuales entre los dos tipos de evaluación —la forma cuantitativa de medición en las pruebas estandarizadas Saber y la forma cualitativa de valorar a los estudiantes en las evaluaciones del salón de clases por parte de los profesores—, aunque irreconciliables conceptualmente, puede favorecer la búsqueda de prácticas de vinculación pedagógica que superen los distanciamientos consecuentes a los resultados que entrega el Instituto Colombiano para la Evaluación de la Educación (Icfes) a las instituciones educativas.

Estas disyunciones, particularmente en el área de ciencias naturales, son parte de la reflexión del presente estudio, mediante el análisis de experiencias de los profesores de esta área en tres instituciones distritales[2] con miras a proponer vínculos pedagógicos en el desarrollo de habilidades evaluables en las aulas que sean un reto de transformación del ejercicio evaluativo hacia prácticas formativas y significativas de estudiantes, profesores, padres de familia, instituciones y comunidades educativas.

LAS PRUEBAS ESTANDARIZADAS EXTERNAS INTERNACIONALES Y NACIONALES

Las pruebas externas aparecen en la sociedad a finales del siglo XIX y comienzos del XX con los test de inteligencia, que surgieron con el propósito de medir y predecir las potencialidades, y aunque en oportunidades han brindado conocimientos, medios y estrategias para el desarrollo del ser humano, también es cierto que sus visiones

2 Instituciones Educativas Distritales: IDE Nicolás Esguerra, Liceo Femenino Mercedes Nariño e Instituto Pedagógico Nacional.

han podido influir en prácticas de clasificación y discriminación de los sujetos a partir de la valoración de sus dimensiones cognitivas, sociales, afectivas y físicas. Justamente, hacia 1905 surge el test Stanford-Binet, y a partir de ese momento se crea un gran número de pruebas, especialmente aquellas diseñados en baterías de desempeño académico, con injerencia, desde fuera de las aulas, en el acontecer al interior de los salones de clase.

Con referencia a los puntajes de los test, Ravitch (2016)[3] considera que:

> Test scores have become the measure of a school "quality" Parents may choose or shun a school because of its test scores [Los resultados de los exámenes se han convertido en la medida de la "calidad" de una escuela. Los padres pueden elegir o rechazar una escuela debido a los resultados de sus exámenes]. (p. 160)

En el libro *The death and life of the great American school system: How testing and choice are undermining education (La muerte y vida del gran sistema educativo americano: cómo test y elección están socavando la educación),* la politóloga estadounidense Diane Ravitch analiza la forma como el público les concede validez y objetividad científica a los test, no obstante, estos no tienen la precisión de un aparato estándar, por ejemplo, un termómetro. Es decir, la calidad de su elaboración puede variar, dado que quien los elabora no está exento de cometer errores en la selección de los ítems de las pruebas.

En esta línea de discusión, Koretz (2017),[4] profesor de la Universidad de Harvard, en su libro *The testing charade* (*La farsa de las pruebas*), expresa su descontento por mantener un sistema de test "con errores irrazonables e ignorando los daños reales que están causando. Este sistema está basado en rendición de cuentas, meta deliberada de quienes propusieron las reformas sin analizar de qué escuelas provenían los estudiantes" (p. 147).

3 Diane Ravitch, ideóloga de los estándares en Estados Unidos, irradió ideas a los demás países de Latinoamérica, donde han sido seguidos acríticamente por los gobiernos de turno. En el libro *Los estándares en la educación norteamericana: guía del ciudadano* resume los planteamientos que llegaron a la mayoría de los países del mundo. En el año 2010, esta precursora de la élite de la educación en Estados Unidos decidió retractarse de la importancia de los estándares en educación, pues hay demasiados factores que ella considera que influyen en la aplicación y en los resultados de los mismos.

4 Daniel Koretz es profesor de Educación en la Universidad de Harvard, Estados Unidos.

Debe señalarse que, a partir de la década de los setenta, la sociedad neoliberal ha sido el marco de referencia de las reformas educativas que han llevado a los países a enfatizar en categorías como test, estándares y competencias, componentes que facilitan el control y la medición de los sistemas educativos. Profesores como Díaz Barriga (2000), Sverdlick (2012) y Álvarez Méndez (2010) sostienen que al Estado se le ha asignado la tarea de ser el vigilante permanente de los avances en la educación y que le corresponde, como Estado evaluador, diagnosticar sobre la calidad de la educación mediante la medición de los resultados obtenidos en las pruebas estandarizadas. Esta tendencia se refuerza ya que desde hace varios años se ha señalado que los altos índices de los resultados en estas pruebas podrían apoyar el logro de la calidad educativa y unas economías más fuertes y estables.

En estas políticas educativas, de acuerdo con Niño, Tamayo, Díaz y Gama (2014), la concepción de calidad de la educación y estándares deviene del mundo de la empresa y la fábrica, que favorece los resultados medibles y posibles de unificar para llegar a una generalización, con miras a enfatizar en procesos que conlleven a unos mejores resultados. Estos estándares pueden afectar el currículo al limitarlo a determinadas asignaturas que son las examinadas en la prueba; los autores consideran que "los test nacionales van a afectar a los niños y a distorsionar las prioridades del aula de clase" (p. 44). Debe añadirse que, a pesar de igualar los salones de clase en el desarrollo de las temáticas curriculares, no se brinda igualdad de oportunidades para su abordaje y sí se pone en desventaja a la educación pública al someter a comparación los resultados obtenidos.

En esta dirección, en los últimos años ha surgido el cuestionamiento a las políticas en evaluación, la rendición de cuentas, la calidad de la educación y la estandarización, lo cual ha potenciado la indagación sobre pruebas estandarizadas y el rol que despliegan en la evaluación en las instituciones escolares. Sin embargo, en las comunidades educativas aún no se ha valorado la importancia de llevar a cabo estos estudios y reflexiones. Para Gómez Yepes (2004), la calidad educativa debería medirse por la índole y la extensión de las contribuciones de la escuela al desarrollo económico y social sostenible de las comunidades donde se inserta. Del mismo modo, para Niño Zafra y Gama Bermúdez 2013, "el término estándar es

comprendido como un criterio que permite asumir un nivel de calidad en un producto o situación que se espera generalizar, usualmente puestos en el mercado" (p. 165).

La revisión de artículos de investigación y libros sobre las pruebas externas escritos por Popham (1999), Ravela (2009), Ravitch (2016), Stobart (2010), Barrenechea (2010), Korets (2017), Fernández, Alcaraz y Sola (2017), entre otros, permite analizar y establecer reflexiones y relaciones que pueden ayudar a entender el carácter ideológico, epistemológico, político y educativo implícito en ellas, así como ahondar en su estudio.

El carácter ideológico de las pruebas externas, como ideas propias del pensamiento de un individuo o de normas de un colectivo de personas o de una época, ha sido abordado por varios autores desde diversas categorías. Un signo propio de estos tiempos de estandarización es la rendición de cuentas de profesores, estudiantes, instituciones y la entrega de resultados de producción a instancias superiores para recibir el aval del cumplimiento de la tarea. Para Ravela (2009), las pruebas externas exaltan el éxito y la competitividad entre instituciones y países; Stobart (2010) agrega que, en el caso de los estudiantes, debe establecerse una coherencia entre el contenido de la enseñanza y las normas o estándares, así como dedicar tiempos de otras asignaturas a los conocimientos instrumentales evaluados en las pruebas de matemáticas, lenguaje y ciencias naturales para medir resultados tanto en el aula como en los exámenes externos. Es decir, la valoración del docente, proveniente de su juicio profesional, se ve minimizada por un examen diseñado y administrado por autoridades estatales. Son otros los que deciden sobre el contenido que se va a evaluar y quienes tienen un interés especial en determinado conocimiento.

En la dimensión política de las pruebas, la influencia del modelo económico de la sociedad de mercado pareciera darle importancia a cada individuo, pero realmente tiene interés en responsabilizarlo de sus resultados; se supone que el Estado ha dado igualdad de oportunidades para presentar las pruebas, pero no ha contado con la diversidad de condiciones de vida de los estudiantes. Las consecuencias de los resultados, por lo tanto, siempre van a favorecer a la educación privada. Según la *Revista Dinero* (2018), el resultado "[…] sigue siendo la principal herramienta para evaluar la calidad de la educación y la base del *ranking* de los mejores colegios" (p. 60).

Barrenechea (2010), por su parte, considera que los resultados en las pruebas externas están fuertemente relacionados con las condiciones socioeconómicas de los estudiantes.

Las pruebas externas generan una influencia cultural de una sociedad sobre otra, como ocurre con las pruebas PISA; así, los países con economías más fuertes son los que ocupan los primeros lugares en el *ranking* mundial, y desde allí ejercen las influencias en la determinación del currículo para decidir qué se ha de enseñar, qué tipo de conocimiento se ha de abordar y, más aún, qué tipo de ser humano se ha de formar. En otras palabras, se impone el paradigma sustentado en la mentalidad técnica con el manejo de competencias igualmente técnicas.

La dimensión político-social implícita en las pruebas estandarizadas, inscritas en la perspectiva de la sociedad de mercado, conlleva a la competitividad entre sistemas educativos de los países, regiones y instituciones, desconociendo sus enormes diferencias, necesidades y recursos tanto humanos como económicos. Pruebas de orden internacional como las pruebas PISA y las nacionales, como las pruebas Saber, estarían desconociendo los entornos educativos de donde provienen los estudiantes. Igualmente, Karp (1999, en Barrenechea, 2010) sustenta que más de catorce factores estarían influenciando los desempeños académicos de los estudiantes, y considera, entro los más importantes, la educación de los padres, niveles de pobreza, alimentación y el ambiente familiar, entre otros.

Para Koretz (2017) los profesores no son los únicos responsables de los altos o bajos puntajes, sino que muchos otros factores, tanto internos como externos a la escuela, influyen en los resultados de los test. El autor referencia una investigación de los años setenta, el Coleman Report, un estudio de la Oficina de Educación de los Estados Unidos en el que se encontró que los antecedentes de los estudiantes y la educación de los padres tienen mayor impacto que el logro estudiantil. Sustenta, asimismo, que los test muestran poco interés por liderar mejoras en la educación.

La dimensión epistemológica de las pruebas permite visualizar unas características que llaman a la reflexión y a la difusión. Según Gadner (en Barrenechea, 2010), las pruebas estandarizadas no asumen al estudiante como un sujeto de "inteligencias múltiples", no homogéneo, con pensamiento divergente para cada situación de

aprendizaje. Las pruebas miden determinado conocimiento que es decidido por quienes las elaboran, y el contenido de lo enseñado está distante de ellas. Se concede valor de verdad a toda prueba, a sus resultados, pero las estadísticas no se cuestionan por su valor de cientificidad. Se desconoce que, cuando se elaboran estas pruebas, los ítems seleccionan contenidos de acuerdo con intereses distantes a los contenidos que se trabajan en las aulas de clase. De la misma forma, Dworkin (2005, en Barrenechea, 2010) afirma que se hace una discriminación negativa con quien tiene problemas para responder cuestionarios de selección múltiple. En opinión de Giroux 2019, "los exámenes forman parte de un discurso de opresión, son una forma de disciplinar a estudiantes y a profesores y creo que roban la imaginación de los alumnos" (p. 3).

En esta línea de reflexión, Popham, en un artículo de 1999 titulado "¿Por qué las pruebas estandarizadas no miden la calidad educativa?", destaca algunas razones sobre la invalidez de las pruebas externas para medir la calidad de la educación. Según el autor, existen diferencias entre los objetivos propuestos por las entidades que dirigen la educación y el contenido que examinan las pruebas, es decir, los ítems que se utilizan en las pruebas no tienen coherencia con los contenidos que se enseñan en el aula de clase. Las *causalidades confundidas*, aquellas capacidades innatas en los niños, podrían influir en los buenos resultados de las pruebas, más que el contenido de lo que se enseña en la escuela. De igual forma, los *aprendizajes fuera de la escuela* permiten que varios de los ítems de las pruebas sean mejor respondidos por niños de familias con mejores condiciones socioculturales: "el estatus socioeconómico de los niños se mezcla con su desempeño en las pruebas estandarizadas de logros" (Popham, 1999, p. 9). Por lo tanto, los aprendizajes a través de las experiencias vividas fuera de la escuela pueden favorecer el desempeño de los niños con mejores condiciones socioeconómicas.

Respecto a la dimensión *educativa y pedagógica*, Popham afirma que a las pruebas estandarizadas se les asigna un valor de verdad desmedido, pues se les confiere una gran precisión a los puntajes obtenidos que miden los logros; el autor considera que las pruebas estandarizadas no miden la calidad de la educación. Una razón fundamental para ello es que los puntajes de los estudiantes en estas pruebas "no suministran un indicio preciso de la eficacia de la

enseñanza, es que cualquier inferencia acerca de la calidad educativa basada en los logros de los estudiantes en las pruebas estandarizadas de logros tiende a no ser válida" (Popham, 1999, p. 9). Esta postura coincide con lo expresado por algunos de los profesores de secundaria, en particular del área de ciencias naturales, quienes afirman que entre lo que se enseña en las aulas de clase y lo que se examina y mide en las pruebas hay notables diferencias.

Las pruebas estandarizadas estimulan el aprendizaje externo y desestimulan el interno. En varios países como Japón, China, Chile y Colombia, algunos especialistas o empresas se dedican a preparar a los estudiantes para las pruebas en las áreas que van a ser evaluadas, en contenidos específicos que se reducen en profundidad y criticidad. Por lo tanto, áreas de formación como las artes y la educación física, que fomentan la creatividad en la escuela, son dejadas de lado.

El interés no es solo de los estudiantes, sino de los directivos y los profesores, quienes son estimulados al logro de mejores resultados en las pruebas con la finalidad de obtener una remuneración económica extra, por lo que se le asigna a este propósito el 50 % del salario mensual del personal docente y administrativo. Ejemplo de esto se ha dado en Colombia, donde el Ministerio de Educación, siguiendo el modelo de Brasil, creó en el 2015 el Día E, Día de la Excelencia, en los colegios de educación básica primaria, secundaria y media. Esta idea pretende seguir el modelo del índice de educación brasileño (IDEB), calculado sobre la suma de cuatro componentes: progreso, desempeño, eficiencia y ambiente escolar (Remolina, 2019).

Ambos modelos, tanto el de Brasil como el de Colombia, se crearon con la finalidad de comprobar el desempeño de los estudiantes mediante pruebas y como referente de la calidad educativa. Para Remolina (2019), se trata de un sistema técnico en el que "el desempeño estudiantil se consideró una expresión educacional fundada en el ideal del desarrollo económico" (p. 10). El autor formula críticas a las políticas de evaluación externa de Colombia y Brasil, que comprenden: 1) progreso: cuánto ha mejorado una institución educativa; 2) desempeño: expresa el promedio general obtenido en la prueba Saber en las áreas evaluadas; 3) eficiencia: proporción del alumnado aprobado; y 4) ambiente escolar: en esta propuesta se enfatiza en las pruebas estandarizadas en los numerales 1 y 2.

Con estas reflexiones, y teniendo en cuenta la realidad educativa que configura la práctica pedagógica actual en las instituciones, conviene seguir el estudio y el conocimiento profundo de los sustentos teóricos en el ámbito pedagógico, epistemológico, ideológico y social de las pruebas externas. Es pertinente, además, brindar un análisis que permita establecer relaciones con las evaluaciones de aula de clase para generar un conocimiento crítico que posibilite procesos de interrelación pedagógica.

RETOS Y POSIBILIDADES DE VINCULACIÓN DE LAS PRUEBAS EXTERNAS CON LAS PRUEBAS DE AULA

La reflexión conceptual y práctica sobre las experiencias, los conocimientos y las narrativas personales que se han vivenciado con las pruebas externas estandarizadas PISA y Saber, así como las evaluaciones que se llevan a cabo en las aulas del país en los últimos quince años, muestra tendencias dominantes.

A pesar de la prevalencia del uso de las pruebas estandarizadas en la mayoría de los países, algunos con modelos educativos tan exitosos como Finlandia las han descartado, como lo afirma Olli-Pekka Heinonen, director de la Agencia de Educación de Finlandia, en el periódico *Publímetro* (2019), donde expone que en su país el centro de interés es el estudiante, en el marco de unas políticas educativas públicas y una mejora en la calidad de vida de los sujetos.

La interrelación de las dos formas de evaluación, externa e interna, requiere de un conocimiento diferenciado entre medición y evaluación. La medición, ejercicio de las pruebas externas, se centra en los aprendizajes de los estudiantes; sin embargo, para Fernández, Alcaraz y Sola (2017), estas pruebas no brindan una medición precisa de lo medido y tampoco permiten una contrastación de datos con los resultados de las evaluaciones de aula. Aun así, podrían considerarse útiles para una visión panorámica de presentación de los resultados de una institución, una región o un país, para la toma de decisiones administrativas o el conocimiento del estado de aprendizaje de los estudiantes en las áreas reglamentadas en las directrices de los ministerios de educación de los países.

Del mismo modo, los resultados de las pruebas externas conducen a brindar información sobre los aprendizajes de los estudiantes; Moreno (2016) considera que, "paradójicamente, la evaluación sumativa

conduce al aprendizaje al tiempo que busca medirlo" (p. 163). Para este autor, los resultados se analizan y juzgan con ausencia de la persona responsable de su propio aprendizaje; es decir, la medición aporta al aprendizaje, "decide aquello que cuenta en el aprendizaje", pero no hay una interlocución directa con quien lo recibe. Por su parte, Eisner (1998) señala que se está volviendo a lo básico, dejando atrás otras habilidades; por ejemplo, si se evalúa el vocabulario, las actividades pedagógicas se dedican fundamentalmente a enseñar este campo.

De modo contrario, la evaluación en el aula puede darse en relación con el sujeto que la produce, con los avances o los problemas en su aprendizaje, pues se concibe como una mirada que reflexiona sobre los procesos y los estados en que se encuentran los sujetos para potenciar sus dimensiones físicas, cognitivas, emocionales y artísticas, entre otras. Con la evaluación en el aula se busca interrelacionar los datos y las visiones de quienes participan en los procesos de formación de los sujetos, es decir, se evalúa sobre lo enseñado en todas las dimensiones del ser humano.

La evaluación en el aula no se ciñe a una calificación, sino que es la concepción desde donde se asignan los números o las letras (la calificación no decide qué hacer con la cualidad o la cantidad); por el contrario, la calificación es solo un elemento que cuenta en la red de sentidos que se recogen y constituyen los factores que se han de tener en cuenta para definir una evaluación entre dos o más participantes, por lo tanto conviene que sea intersubjetiva. Es decir, se debería tener un conocimiento cualitativo de los aspectos influidos por dimensiones diversas, con miras a corregir y transformar los procesos de formación de los estudiantes y los profesores.

La perspectiva que puede considerarse apropiada para avanzar en esta interrelación es la concepción de evaluación formativa, pues esta considera el proceso en una continuidad que puede modificarse, que aún no ha finalizado. Esta tendencia es ventajosa, dado que tiene relación con los avances o limitaciones en el aprendizaje. Para Moreno (2016) "la evaluación formativa nos guía en la forma de aprender, lo que queremos aprender y nos dice lo bien que estamos haciéndolo en el camino para llegar ahí" (p. 163).

Pensar la evaluación formativa desde diferentes perspectivas teóricas, igualmente, enriquece y fortalece el trabajo del profesor en el aula. En este sentido, aportes como el de Linda Allal (1979, citada por

Mottier López, 2010) permiten asumir la evaluación desde la visión constructivista y cognitivista, centrada y relacionada con los procesos de aprendizaje y no solo con los logros o desempeños de los alumnos. Por su parte, para Jean Cardinet (1988, citado por Mottier López, 2010), la evaluación formativa "[…] es un proceso de comunicación logrado entre el docente y el alumno sobre los objetivos, los criterios y las dificultades del aprendizaje" (p. 49), en el cual se enfatiza profundamente en la interrelación cognitiva de mensajes que se establecen del profesor hacia el estudiante y viceversa, y que requieren de un direccionamiento didáctico para alcanzar el propósito deseado.

En esta visión de la evaluación formativa propuesta por Allal (1979, 1988, 2007, citada por Mottier López, 2010) se señalan tres formas de regulación asociadas a la evaluación formativa: interactiva, retroactiva y proactiva. La primera, *interactiva,* se refiere a las interacciones del profesor y el estudiante para hacer cambios, modificaciones o adaptaciones en el desarrollo del proceso de aprendizaje. La *retroactiva* o *feedback* se propone disponer de los medios para corregir los errores o dificultades encontradas. Esta retroalimentación podría llegar a formularse después de un estudio detallado de los resultados obtenidos por los estudiantes en las pruebas Saber o PISA, así como el análisis de los resultados en las habilidades en las distintas áreas evaluadas. La *proactiva* propone nuevas actividades o métodos para desarrollar por parte del profesor, es decir, una perspectiva didáctica y metodológica de las posibles actividades que es posible realizar; así, la evaluación formativa se concibe en dos planos: "el aprendizaje del alumno y los dispositivos de enseñanza puestos en marcha" (Mottier López, 2010, p. 52).

Después de este análisis teórico sobre las dos formas de evaluación, la evaluación estandarizada Saber y las valoraciones que realizan los maestros en las aulas, conviene precisar, en la práctica pedagógica, lo que ocurre en tres instituciones educativas.

EXPERIENCIAS, CONOCIMIENTOS Y SABERES DE LOS PROFESORES DEL ÁREA DE CIENCIAS NATURALES EN INSTITUCIONES DISTRITALES

Las ideas más relevantes que se identificaron en los talleres pedagógicos realizados con 36 maestros del área de ciencias naturales de tres instituciones distritales, mencionadas anteriormente, en torno a sus experiencias, opiniones y saberes, sobre las relaciones entre las

evaluaciones de aula y las estandarizadas, pueden sintetizarse en cuatro aspectos: las diferencias de propósitos, las concepciones, las formas de evaluar y los contenidos de sus preguntas. Estos puntos centrales permiten visualizar las diferencias que se establecen entre las pruebas de aula externas e internas, así como las limitaciones para su integración y vinculación pedagógica en los procesos de enseñanza-aprendizaje. El enfoque de la evaluación formativa, el énfasis en el trabajo experimental en los laboratorios y las aplicaciones prácticas en el estudio de fenómenos científicos aplicados a la vida cotidiana, entre otros factores, ofrecen posibilidades de transformación en los colegios de educación primaria y secundaria.

Con relación a los propósitos de las pruebas Saber en el área de ciencias naturales, uno de los colegios señala que están ligados a la evaluación institucional, a la medición de habilidades y al conocimiento del estudiante, dejando en un segundo plano la evaluación del aprendizaje. Para dos colegios, los desempeños internos, mediante la cuantificación, son más importantes que las pruebas Saber, dado que los primeros inciden en la evaluación de los docentes al establecer los porcentajes de pérdida académica. Las pruebas Saber evalúan tres competencias, en tanto que las de aula contemplan siete en las dimensiones cognitiva, actitudinal y emocional.

La concepción de evaluación va ligada al modelo de medición de las conductas, siguiendo la taxonomía de objetivos, puesto que las conductas son observables, medibles y evidenciables. En un colegio se ha realizado un cambio curricular al modelo constructivista y se considera necesario el desarrollo de la transdisciplinariedad. No obstante, en los tres colegios surge un dilema epistemológico, debido a que la prueba Saber apuesta por la disciplinariedad y, en otros casos, aplica la interdisciplinariedad, por ejemplo, en la elaboración de gráficas y la obtención de conclusiones sobre un fenómeno científico.

En cuanto al uso de resultados, desempeños y consecuencias de estos en las dos formas de evaluación, se resalta que las Pruebas PISA, así como las Saber, 5, 9 y 11, pueden desplazar el interés sobre las evaluaciones en el aula, pues se da mayor importancia a los resultados cuantitativos. Si los resultados fueran cualitativos, podría contarse con un análisis del estado de desarrollo de los sujetos estudiantes. Se requiere, por lo tanto, de mayor vinculación y conocimiento de la aplicación y uso de las pruebas Saber.

El impacto de los resultados de las pruebas Saber en las instituciones es débil por dos razones principales: no los conocen durante el año escolar y los reciben cuando las actividades de finalización del año escolar copan todo el tiempo de los docentes y no es posible aplicar un principio de la evaluación formativa de retroalimentación.

Desde la perspectiva del contenido de las preguntas y los contenidos de ambas evaluaciones, en los tres colegios se resalta el desacuerdo del contenido de los ítems de las pruebas Saber con los objetivos propuestos en las temáticas enseñadas, es decir, no hay coherencia entre los contenidos enseñados en el aula según el Ministerio de Educación Nacional (MEN) y la Secretaría de Educación Distrital (SED) y las habilidades que evalúan las pruebas. Las pruebas evalúan conocimientos, aplicación de conocimientos científicos e indagación sobre fenómenos, mientras que las evaluaciones en el aula, de acuerdo con un buen número de profesores, evalúan habilidades cognitivas, procedimentales y actitudinales. Los conocimientos enseñados en la escuela no son tenidos en cuenta en las pruebas Saber, en tanto que la enseñanza de los profesores está basada en contenidos y en conceptos específicos.

En dos colegios no se conoce el modelo de evidencias, sustento conceptual de las preguntas de las pruebas Saber. Además, se presentan dudas sobre el sustento ideológico y epistemológico de medición de las pruebas Saber, pues se considera el modelo de evidencias como un instrumento para rendir cuentas de los profesores. En el otro colegio se conoce dicho sustento, pero no se analiza ni se sigue con visión prioritaria. El conocimiento de la estructura conceptual de las pruebas externas podría dificultar el uso de las competencias que se proponen para el área de ciencias naturales, distanciamiento que impediría recibir los beneficios de conocer y hacer un análisis crítico de las mismas. Los profesores enfatizan en la importancia del trabajo experimental, las experiencias prácticas, los viveros, la granja escolar, etc. En una de las instituciones se da importancia al club de lectura con temas relacionados con la cotidianidad de los estudiantes y menos con las preguntas de la prueba Saber. Para Barrenechea (2010), los buenos puntajes se deben a que se está enfatizando en la enseñanza, en lo que evalúa la prueba, desconociendo la riqueza de un currículo más amplio de lo básico examinado. El diseño mismo de las preguntas fue cuestionado en los tres colegios, ya que los profesores opinan que en la formulación de algunas preguntas hay inconsistencias.

El análisis de los resultados de las pruebas Saber permite señalar que la política de evaluación de las pruebas estandarizadas podría derivar en una reducción del currículo escolar, puesto que se asume la medición como forma fundamental de evaluación, con lo que se regresa a la racionalidad técnico-instrumental con el manejo de la tecnología educativa. Las políticas educativas de evaluación hacen responsable al Icfes, sin embargo estas políticas estandarizadas son un instrumento de política proveniente de la Organización de la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE) con la intención, desde el contexto europeo, de promover políticas educativas a nivel global.

A MANERA DE CONCLUSIONES: HACIA UNA MIRADA INTEGRADORA DE LAS PRÁCTICAS EVALUATIVAS EXTERNAS SABER Y LAS EVALUACIONES EN EL AULA

Desde comienzos del siglo XXI se ha fortalecido la inclusión de los estándares y las competencias en la práctica de las evaluaciones tanto nacionales, externas al aula (las pruebas Saber), como en las internacionales (pruebas PISA), orientadas desde la perspectiva epistemológica de la medición. Estas pruebas miden desempeños mediante ejercicios psicométricos, por otra parte, las evaluaciones de los profesores en el aula de clase valoran la situación y las condiciones en que se encuentran los estudiantes de manera individual. Se ha considerado que la práctica de la evaluación estándar facilita el alcance de la llamada calidad de la educación y, de esta manera, se cuenta con un mayor control ideológico, político y pedagógico de los docentes, los estudiantes, las instituciones y los sistemas educativos en general. Según Domínguez (2015), los resultados en las pruebas Pisa se han constituido en un patrón de medición de la calidad de la educación de los sistemas educativos en la actual sociedad globalizada. De acuerdo con la OCDE (2017), las pruebas PISA se centran en evaluar las competencias en matemáticas y ciencias en estudiantes de 15 años en todo el mundo, y permiten a los países comparar sus sistemas educativos.

Otro de los problemas que requiere mayor atención, tanto de parte del Icfes como de las instituciones, es el *uso de los resultados*. Más que una clasificación de los colegios para la divulgación y el conocimiento generalizado en el país, podría pensarse en el conocimiento de estos resultados por regiones, o localidades en el caso de Bogotá.

Los profesores podrían interesarse en entender qué ha pasado con los desempeños de sus estudiantes, antes que en las evaluaciones que estos resultados conllevan.

Es necesario y conveniente acortar las distancias entre el Icfes, que elabora las pruebas Saber en ciencias naturales, y las instituciones escolares, particularmente los profesores de esta área del currículo y de las asignaturas que comprende, para un intercambio de conocimientos que facilite y potencialice los desarrollos de los estudiantes en ambos ámbitos, las pruebas Saber y las evaluaciones de aula en ciencias naturales.

Al mismo tiempo, surgen retos y posibilidades de vinculación de las pruebas externas con las evaluaciones de aula. Una primera aproximación requeriría de un estudio y la comprensión de las condiciones del contexto donde el maestro ejerce su práctica evaluativa. Esto implica análisis y reflexión sobre las políticas educativas referidas a la calidad de la educación, la rendición de cuentas, los estándares y las competencias para tener una mirada interactiva entre docentes, estudiantes, directivos docentes, con el compromiso ético de responder por la propia evaluación y la coevaluación de los grupos.

Por su parte, en opinión de los profesores del proyecto de ciencias naturales, el contenido del examen solo refleja una dimensión mínima del currículo, por tanto, se prevé necesaria la revisión tanto del contenido de las pruebas Saber como de la relación con el currículo de esta área. Del mismo modo, se debe indagar cuál o cuáles han sido los encuentros o desencuentros en las temáticas estudiadas y examinadas.

En esta dirección, es necesario el estudio de los paradigmas socio-constructivistas y crítico-social para la planeación del currículo y la evaluación, pues se deben buscar versiones que posibiliten transformaciones y cambios en las relaciones de la escuela y la sociedad. Urge el refuerzo y la promoción de la evaluación formativa, así como el compromiso con los procesos de autoformación y desarrollo profesional y la toma de conciencia individual y gremial.

Conviene resaltar la pertinencia de que estas pruebas no se dirijan a establecer un currículo único planteado externamente, sin respuesta a las necesidades de formación de los sujetos y a las necesidades del contexto social y educativo. Podría pensarse en la

construcción de unos estándares trabajados por los profesores de las áreas, desde las regiones, para luego tener algunos elementos comunes que faciliten la adopción de temáticas importantes para el avance en el desarrollo de los estudiantes.

Se requiere fortalecer la concepción de la evaluación crítica, colectiva y de autorrevisión de actuaciones de estudiantes y profesores para fomentar el aprendizaje intrínseco. Estos procesos evaluativos han de contar con la opinión de quienes participan en ellos y con acciones autoevaluativas que tengan el compromiso ético de responder por la propia evaluación, la coevaluación o, mejor aún, la evaluación colectiva de grupos o grados. Está pendiente, igualmente, el fomento de esta clase de evaluación que propone la evaluación formativa para analizar los resultados obtenidos en las pruebas Saber. La evaluación formativa permitiría que los estudiantes cuenten con una revisión permanente, a lo largo del año escolar, a partir de los principios de retroalimentación y autoevaluación. La responsabilidad se comparte entre estudiantes y profesores, por lo que el logro de las metas les demanda a ambos la conformación de un equipo y unos aprendizajes activos. Para Baquero (2019), la evaluación "realizada por un equipo goza del aval, del contraste, de la pluralidad de enfoques, da una mayor garantía de rigor, de una diversificación estratégica de acceso y actuación" (p. 84).

Se debería fortalecer el rol docente con el interés de identificar las habilidades y las destrezas que las pruebas externas comportan para analizar conjuntamente, con los colegas del área, cuáles de estas habilidades se están desarrollando en el proceso didáctico y evaluativo y cuáles aún requieren de un fortalecimiento, a fin de superar el desajuste entre lo que se enseña y lo que miden las pruebas. En opinión de Remolina (2019), el examen no evalúa aquello que el estudiante sabe, pues, en consonancia con Armstrong (1999, en Barrenechea, 2010), se evalúa su conocimiento en un momento singular.

Por último, se requiere promover a nivel local, nacional y latinoamericano un estudio de los contextos de las pruebas, las diferencias con Europa y Estados Unidos, con miras a proponer pruebas, tanto internas al aula como externas, pensadas desde realidades próximas a las dimensiones sociales, políticas y pedagógicas, que respondan asimismo a las necesidades de formación de los países y que se ajusten a la visión ética de la evaluación.

REFERENCIAS

Álvarez Méndez, J. M. (2010). El currículum como marco de referencia para la evaluación educativa. En *Saberes e incertidumbres sobre el currículum* (pp. 355-372). Morata.

Baquero Gómez, C. (2019). *La autoevaluación escolar en el área de Educación Física: Posibilidades desde la evaluación autocrítica y autorreflexiva.* (Tesis de Maestría en Educación). Universidad Pedagógica Nacional, Facultad de Educación.

Barrenechea, I. (2010). Evaluaciones estandarizadas: seis reflexiones críticas. *Archivos Analíticos de Políticas Educativas, 18*(8), 1-27.

Díaz Barriga, A. (2000). Evaluar lo académico, organismos internacionales, nuevas reglas y desafíos. En Centro de Estudios sobre la Universidad UNAM, *Evaluación académica en evaluación educativa* (pp. 11-31). Fondo de Cultura Económica.

Domínguez Castillo, J. (2015). *Pensamiento histórico y evaluación de competencias*. Graó, Biblioteca de Íber.

Eisner, E. W. (1998). *Usos y límites de las pruebas de desempeño.* Grupo de Análisis para el Desarrollo del Programa de Promoción de la Reforma Educativa en América Latina y el Caribe (Preal).

Fernández, M. Alcaraz, N. y Sola, M. (2017). Evaluación de pruebas estandarizadas: Una reflexión sobre el sentido, utilidad y efectos de estas pruebas en el campo educativo. *Revista Iberoamericana de Evaluación Educativa, 10*(1), 51-57.

Giroux, H. (2019). Los exámenes roban la información de los alumnos. *La Vanguardia.* https://www.lavanguardia.com/vivo/mamas-y-papas/20190506/462061857522/henry-giroux-examenes-roban-imaginacion-alumnos-pedagogia.html

Gómez Yepes, L. (2004). Calidad educativa: más que resultados en pruebas estandarizadas. *Educación y Pedagogía, 16*(38), 75-89.

Koretz, D. (2017). *The testing charade. Pretending to make school better.* The University of Chicago Press.

Moreno Olivos, T. (2016). *La evaluación del aprendizaje y para el aprendizaje.* Universidad Autónoma Metropolitana.

Mottier López, L. (2010). La evaluación formativa de los aprendizajes. En R. Anijovich. (Comp.), *Evaluación significativa* (pp. 43-71). Paidós.

Niño Zafra, L. E. y Gama Bermúdez, A. (2013). Los estándares en el currículo y la evaluación: ¿relaciones de medición, control y homogenización o posibilidad de formación, diversidad y

evaluación crítica? *Revista Electrónica Interuniversitaria de Formación del Profesorado, 16*(3), 163-176.

Niño, L., Tamayo, A., Díaz, J. y Gama, A. (2014). *Estándares y evaluación: ¿medición o formación?* Universidad Pedagógica Nacional.

Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE). (2017). *Marco de evaluación y de análisis de PISA para el desarrollo: lectura, matemáticas y ciencias.* Versión preliminar. OECD. https://www.oecd.org/pisa/

Periódico Publímetro. (2019, 5 de noviembre). Las pruebas estandarizadas. Entrevista a Olli-Pekka Heinonen. *Publímetro,* p. 8.

Popham, W. J. (1999). ¿Por qué las pruebas estandarizadas no miden la calidad educativa? *Educational Leadership, 56*(6), 1-11.

Ravela, P. (2009). *Evaluaciones externas, evaluación en el aula y calidad educativa en América Latina.* Conferencia Universidad Nacional de Colombia. Congreso internacional.

Ravitch, D. (2016). *The death and life of the American How testing and choices are underminig education*. Basic Books.

Remolina, J. (2019). Crítica de las políticas de evaluación externa de Colombia y Brasil. *Revista Folios, 50,* 173-188.

Revista Dinero. (2018). Así se hace el ranking. *Revista Dinero,* pp. 60-82.

Stobart, G. (2010). *Tiempo de pruebas: Los usos y abusos de la evaluación.* Morata.

Sverdick, I. (2012). *¿Qué hay de nuevo en evaluación educativa?* Noveduck.

Capítulo 13. Alineamiento constructivo y evaluación auténtica: orientaciones teóricas complementarias para la enseñanza de la química

Fidel Antonio Cárdenas Salgado
Universidad Pedagógica Nacional

INTRODUCCIÓN

Un breve recorrido por la historia de las teorías de la educación y su relación con la enseñanza y el aprendizaje de las ciencias deja ver dos corrientes: la aparición continua y sostenida de varias aproximaciones que se han ocupado de establecer y explicar las formas como el ser humano aprende y, por otra parte, diferentes aproximaciones seguidas por investigadores en educación en ciencias para aplicar estas teorías al aprendizaje de los conceptos científicos y explicar así algunas de las dificultades del aprendizaje.

El origen y la evolución de las teorías del aprendizaje puede trazarse mucho antes de los trabajos de I. Pávlov (Hammond et al., 2001; Pozo, 2003), considerados como punto de partida de las perspectivas conductistas; en efecto, hubo una transición que pasó de las visiones interaccionistas hasta las aproximaciones netamente cognitivistas. Para las primeras, el aprendizaje es meramente un cambio de conducta del ser humano, en tanto que para el cognitivismo el aprendizaje resulta de una interacción dinámica entre el sujeto y el ambiente en el que se desarrolla. Sin desconocer los avances de las teorías que les han antecedido, las perspectivas cognitivistas propenden por una explicación del aprendizaje desde el punto de vista de dinámicas propias del funcionamiento de la mente humana. Dentro de estas últimas cabe destacar las llamadas teorías constructivistas y, entre ellas, la del aprendizaje significativo de Ausubel. Son precisamente estos últimos constructos sobre los cuales se levanta la teoría del alineamiento constructivo (AC), objeto de desarrollo un poco más adelante. Debemos también recordar a otros pioneros en el estudio del aprendizaje a partir de la experiencia, como K. Lewin, J. Dewey o, más recientemente, D. Kolb (1984), quien plantea la teoría del aprendizaje experiencial.

Como complemento de enfoques expuestos, es pertinente mencionar otras perspectivas del aprendizaje basadas específicamente en las experiencias humanas y, más concretamente, aquellas que se aproximan a una concepción del aprendizaje desde la neurología, disciplina que toca las fronteras de este proceso a partir de la explicación de los mecanismos físicos y químicos del sistema nervioso.

La relación entre los procesos neurológicos y el aprendizaje (que involucra elementos psicológicos y neurológicos para explicar el aprendizaje como un proceso holístico donde intervienen la mente y la fisiología humana) fue abordada en los años setenta por R. W. Sperry, y ya en los noventa por P. D. MacLean, quien ahondó en la especificidad funcional de las distintas regiones del cerebro y del sistema límbico (Newman y Harris, 2009). Estos avances neurocientíficos fueron la base para una concepción más amplia del aprendizaje asociado a los procesos dinámicos de la materia y la energía, como los aportes de Elaine de Beauport. En la actualidad, autores como F. Mora (2021) desarrollan ideas de largo alcance con relación a la neuroeducación.

Ya en el campo de la aplicación de teorías del aprendizaje al aula de clase, es posible puntualizar algunas ideas, comenzando con las teorías de Skinner y las máquinas de enseñar emergentes en los años cincuenta, cuya incursión en la escuela se extendió a lo largo de las décadas siguientes. Al respecto, conviene resaltar que las teorías conductistas como apoyo a la enseñanza de las ciencias se fueron paulatinamente ocultando hacia finales de los años setenta, básicamente debido a sus escasos aportes al desarrollo del pensamiento crítico y la creatividad, que son elementos fundamentales para la construcción del pensamiento científico en los estudiantes. Así pues, los postulados del conductismo y de la llamada, en aquella época, "tecnología educativa" (Zaki, 1977), se han complementado y han cobrado fuerza en los procesos de enseñanza en la actualidad gracias a la emergencia de las tecnologías de la información y las comunicaciones (TIC). Se reviven así, casi setenta años después, taxonomías del aprendizaje como la de Bloom o el aprendizaje jerárquico de Gagné (Bloom, Hastings y Madaus, 1975; Gagné y Briggs, 1976; Gagné, 1977).

En cuanto al grupo de las teorías interaccionistas y sus relaciones con la enseñanza de las ciencias, vale la pena señalar los esfuerzos hechos por los ingleses M. Shayer, P. Adey y H. Johnstone, quienes hacia los años ochenta plantearon, a partir de los estudios de Piaget (los dos primeros), los desarrollos de una ciencia de la enseñanza de las ciencias, así como las explicaciones (el tercero) de muchas de las dificultades del aprendizaje a partir de la teoría del procesamiento de información (Shayer y Philip, 1981; Johnstone, 2006). Estos trabajos señalaron la existencia de una analogía procedimental entre la producción de los conceptos científicos y sus procesos de enseñanza, y aportaron además algunas explicaciones de las dificultades de aprendizaje a partir de los desarrollos de la memoria de corto plazo y los respectivos mecanismos asociados con el procesamiento de información (Al-Naeme, 1980; Wood, 2006).

De conformidad con Shayer y Adey, la similitud entre la producción de conocimiento científico y su enseñanza llegaría a ser tan coherente y estrecha que, en forma similar al carácter predictivo que caracteriza a los constructos científicos, en el aula un docente, antes de iniciar sus labores, podría "predecir" con algún grado de probabilidad los logros a los cuales llegarían sus estudiantes luego de un

periodo de enseñanza. Es de anotar que tales ideas fueron tomadas y desarrolladas por autores como Adar (1969), Shulman (1986), Depaepe Verschaffel y Kelchtermans (2013) y Berthiaume (2009).

A partir de los planteamientos de Pascual-Leone y de la teoría neopiagetiana, A. Johnstone y su grupo de investigación aportarían, en un extenso número de estudios y publicaciones, amplias explicaciones acerca de las dificultades que presentan algunos estudiantes, e incluso docentes, cuando enfrentan el aprendizaje de los conceptos científicos, en particular los de la química y la enseñanza.

Continuando con la perspectiva evolutiva de los temas objeto de la cátedra doctoral que sustenta este capítulo, y como antesala a su estudio en concreto, conviene esbozar someramente el camino recorrido por la evaluación y su relación con el aprendizaje de las ciencias.

De acuerdo con Guba y Lincoln (1989), las primeras ideas acerca de la evaluación surgieron en los contextos ancestrales de la cultura china e hicieron presencia en la sociedad occidental a finales del siglo XIX en los Estados Unidos. A partir de esa época, los planteamientos acerca del tema se han venido consolidando y diversificando hasta nuestros días. Según los mismos autores, este proceso de evolución y consolidación ha tenido lugar durante cuatro generaciones claramente diferenciadas, hasta las décadas de los setenta y los ochenta.

Tras este periodo han comenzado a postularse otras perspectivas de la evaluación, siempre en la mira de mejorar el establecimiento de relaciones de los niños y las niñas con el conocimiento y sus formas de dar cuenta de ello de manera más cualitativa que cuantitativa. Se procura también, con estos nuevos enfoques, hacer de la evaluación una actividad más ligada a la vida cotidiana más allá de las instalaciones escolares. Se trata de concepciones como la evaluación sesgada y la evaluación incrustada o evaluación auténtica.

La expresión "evaluación sesgada" ha de entenderse como una visión específica de esta actividad al interior de aquellos campos del saber dentro de los cuales se aplica. Así, no es lo mismo evaluar en el contexto de la formación de profesionales en campos como la medicina y las ciencias paramédicas que hacerlo en el contexto de la formación de docentes o de profesionales de la rama técnica o jurídica, por ejemplo (Padilla y Gil, 2008).

Por su parte, la expresión "evaluación incrustada" o "evaluación auténtica" se sitúa dentro de una visión más amplia e incluyente de la educación en cuanto a la cobertura de los factores que se evalúan y las formas de hacerlo; son precisamente estos factores los que se desarrollarán más adelante en este texto.

Los planteamientos esbozados en las páginas anteriores, si bien son meramente descriptivos, invitan a los(las) lectores(as) interesados(as) a profundizarlos a partir de la bibliografía presentada al final del documento; además, son una forma de preámbulo para el planteamiento del alineamiento constructivo (AC) y la evaluación auténtica.

SOBRE EL AC Y SUS POSIBLES APORTES A LA EDUCACIÓN EN CIENCIAS

Como ya se mencionó, el AC se construyó sobre las bases del constructivismo. En efecto, dos grandes ideas que le subyacen a esta forma de concebir el aprendizaje se relacionan con la naturaleza individual que caracteriza a este proceso y con la volición del sujeto. En otras palabras, el proceso individual de aprender es indelegable, nadie puede aprender por otro, así como tampoco nadie aprende contra su voluntad.

Fueron precisamente estas ideas, además de la formación académica y la experiencia profesional, junto con las observaciones llevadas a cabo en algunas escuelas canadienses acerca del trabajo de los niños con los portafolios con fines de evaluación, las que impulsaron al psicólogo e investigador en educación matemática John Biggs a postular su teoría del alineamiento constructivo (Biggs y Tang, 2007). Sus planteamientos fueron inicialmente expuestos en la Universidad de Hong Kong y posteriormente en la Universidad de Tasmania, en Australia, su tierra natal, no sin antes recibir la influencia del movimiento europeo acerca del sistema de créditos y transferencia.

Paradójicamente, y según el mismo autor, las formas de aplicación del AC en el aula de clase no son tan sencillas como sus planteamientos. La expresión "alineamiento constructivo" encarna, en primer lugar, la concepción del aprendizaje como una construcción deliberada y voluntaria del sujeto, quien, para tal efecto, parte de aquello que ya conoce y tiene en su mente. En segundo lugar, involucra la confluencia de voluntades y acciones de un docente con

sus estudiantes, vale decir su alineamiento, para lograr en el aula unos objetivos observables del aprendizaje previamente establecidos y concertados (Biggs, 1999).

Es propio, en el contexto del AC, atribuir a la evaluación un papel de "pegamento y brújula"; pegamento para mantener alineadas en el aula de clase, en todo momento, las acciones e intenciones (o las voluntades y el hacer) del docente y sus estudiantes; brújula, para orientar de manera constante esas acciones y voluntades encaminadas hacia el logro de los objetivos que se han trazado previamente. Así, la evaluación a lo largo de una experiencia educativa va registrando y dejando sus evidencias en el tiempo, para cada estudiante y cada grupo, de los pequeños avances que se van logrando en el camino que se debe seguir con el fin de llegar a los resultados esperados y acordados al comienzo. De esta forma, la evaluación, a la manera de los acontecimientos naturales en la evolución del planeta, ocurre en un momento dado y deja huellas de lo acontecido inscritas en los ambientes naturales que la presenciaron, en este caso en los ambientes educativos de su tiempo, para que posteriormente sean analizados y reconstruidos en el proceso de toma de decisiones.

Como se puede ver, tres elementos son centrales para el AC en un contexto social determinado donde ocurre una experiencia educativa, más concretamente en un aula de clase: un (una) docente, un (una) estudiante y el sistema de evaluación ligado a lo que se aprende. Sin embargo, no se pueden desconocer los otros factores que acompañan a toda experiencia educativa (Novak y Gowin, 1988).

En coherencia con su rol profesional y de maestro, Biggs no ha hecho caso omiso de las posibilidades y dificultades que enfrenta su teoría en el momento de llevarla a la práctica. Por eso, ha propuesto dos aproximaciones cuya aplicación, a manera de sugerencia, deja a consideración de quienes se interesen en llevar el AC a sus clases. La primera es el modelo 3P (presagio, proceso, producto) y la segunda la taxonomía SOLO (*structure of the observed learning objectives*), los cuales se describen a continuación (Liaqat, 2018; Colding, 2020; Paskevicius, 2017; Rosario *et al*., 2005).

La primera puede considerarse como una orientación pedagógica y didáctica; pedagógica, en cuanto hace relación al perfil de ser humano que se quiere formar, y didáctica, porque se muestra como una plataforma de reflexión desde la cual el docente paulatinamente

va construyendo su propio conocimiento acerca de cómo hacer cada vez más eficiente y eficaz su docencia. Se expresa, de esta manera, una concepción de la pedagogía como la reflexión permanente sobre la educación que se agencia, o se debería agenciar, en un contexto social determinado, así como una comprensión de la didáctica como la reflexión permanente del docente acerca de su enseñanza y sus procesos de mejoramiento continuo.

La segunda, la taxonomía SOLO, es, a nuestro parecer, un intento de Biggs para exhortar a sus seguidores a producir en el aula una amalgama entre dos dimensiones, la educación y la enseñanza en particular, dimensiones estas que a lo largo del tiempo se han mantenido y desarrollado de manera dicotómica, diferenciando la formación del ser humano y sus relaciones con los contenidos disciplinares. En este sentido, la taxonomía SOLO, a diferencia de otras taxonomías como la de Bloom, por ejemplo, enfatiza en el desarrollo de las operaciones de pensamiento en quien aprende, con prioridad al aprendizaje de los contenidos disciplinares meramente. Así, los entramados conceptuales de una disciplina, en términos de esta taxonomía, son un medio a través del cual se desarrollan esos niveles de pensamiento, en otras palabras, son una especie de instrumentos para llegar a ellos. Cuando a un (una) estudiante se le pide, por ejemplo, que compare los elementos del grupo I de la tabla periódica con los del grupo VII, en términos de variación del carácter metálico, sería más importante el desarrollo de la operación de pensamiento relacionada con hacer comparaciones que si la respuesta es o no acertada en cuanto al aumento o disminución del carácter metálico al descender o ascender en los grupos (Loughlin, Lygo-Baker y Lindberg-Sand, 2021).

Una situación semejante se presenta con los demás niveles de la taxonomía en mención; en el nivel relacional, a manera de ilustración, lo que más interesa es el desarrollo del pensamiento relacional, la capacidad de establecer e interpretar relaciones entre diferentes elementos o variables, con prioridad al conocimiento de una relación particular entre dos elementos o variables y su interpretación, por ejemplo. Lo que realmente acompaña al ser humano a lo largo de su vida son los desarrollos de su capacidad de pensar: comparar, identificar, explicar, cuantificar, relacionar, hacer abstracciones, teorizar. Niveles de pensamiento como estos, entre otros, son los que, desde un punto de vista pedagógico, se pretende formar mediante los procesos educativos de los seres humanos.

Una vez establecidos, por lo menos de forma muy sintética, los planteamientos del AC y dos de las sugerencias de su proponente para llevarlos a la práctica en el aula de clase, conviene ahora continuar con algunos de los alcances y limitaciones de esta teoría (Soler y Moreno, 2012; Soler, 2018).

Como se ha expuesto ya en otros escritos (Cárdenas, 2012), el AC se presenta promisorio para su aplicación en el campo educativo por lo menos en las siguientes dos dimensiones: la primera asociada a los procesos didácticos y la segunda a los potenciales desarrollos de investigaciones en el campo del aprendizaje y la enseñanza de las ciencias.

En cuanto a la didáctica, la siguiente afirmación viene en apoyo de los (las) docentes que se interesen en llevar el AC a sus ambientes de clase: en general, el aprendizaje de los estudiantes se produce con una mayor probabilidad en ambientes de aula altamente alineados, es decir, en aquellos ambientes en los cuales un docente y su grupo de estudiantes se comprometen decidida y mancomunadamente a trabajar durante un cierto periodo de tiempo para alcanzar unos objetivos observables, previamente establecidos y acordados, o por lo menos conocidos y analizados por todos desde el comienzo del lapso de tiempo en cuestión.

Así, los logros alcanzados en términos de aprendizaje al final de un curso, un semestre o incluso de una clase, serían atribuibles a un esfuerzo colectivo y tendrían un carácter parcial en el contexto total de la formación del sujeto, a lo largo de su vida estudiantil e incluso más allá, en los terrenos inestables de la vida como profesionales y como ciudadanos. Los logros del aprendizaje, en esta perspectiva, no tendrían una connotación terminal o final, sino más bien una concepción de pequeños pasos que tendrían una velocidad y unas particularidades individuales durante el curso de la vida en que se es estudiante, y otras diferentes y propias cuando se es profesional, adulto mayor o incluso en los tiempos de la decadencia.

De esta manera, el llamado aprendizaje para toda la vida, que tanto se predica y se desea, bien podría denominarse "procesos atomizados de aprendizaje"; procesos, en cuanto ningún logro de aprendizaje se obtiene de súbito, sino que requiere, por lo menos, compromiso, voluntad, disciplina y un ambiente determinado; atomizados, en cuanto que, a semejanza de los átomos que integran

los objetos del macromundo, no son perceptibles al ojo humano, pero sus grandes asociaciones sí lo son, si bien en el caso de la educación el conjunto de esos logros parciales solo se percibe a largo plazo.

Por otra parte, en relación con el AC y sus perspectivas de apoyo para el desarrollo de investigaciones, bastan solo unas pequeñas consideraciones para apreciar su potencial: por regla general, todos los procesos de investigación, de por sí, son altamente alineados; aquellos procesos de investigación no alineados están destinados a ser reformulados o incluso excluidos de los ambientes académicos. Valdría la pena reflexionar, para quienes se encuentran empezando sus proyectos de investigación, acerca de todos los esfuerzos que se hacen para lograr un proyecto con ciertos mínimos de alineamiento en su estructura.

En esta última perspectiva, y desde el punto de vista de los desarrollos del AC ya en su nivel de abstracción extendida —para hacer uso de la terminología de la taxonomía SOLO—, sus seguidores lo han complementado con los enfoques de enseñanza y de aprendizaje, una buena enseñanza en los niveles universitarios e incluso los tipos de estudiantes y docentes (Soler, 2014; Soler y Romero 2014; 2015; Soler *et al.*, 2017; Entwistle, 2009)

Como es usual en los contextos académicos y con todas las teorías, estas ideas convocan seguidores y también detractores; una vez expuestos los alcances positivos del AC, se destacan ahora algunas de sus limitaciones en dos direcciones: unas de naturaleza contextual y práctica y la otra de naturaleza teórica.

En relación con las limitaciones de naturaleza contextual, de seguro se encuentran todas aquellas que en este momento afloran a la mente de quienes leen este texto y que pueden estar asociadas con preguntas como las siguientes: ¿cómo se aplica esto en el aula de clase?, ¿cómo concertar logros observables de aprendizaje con niños?, ¿cómo insertar el AC en la normatividad existente, en particular en los estándares del MEN?, y tal vez la más amplia y al mismo tiempo práctica, ¿cómo alinear lo que por tanto tiempo ha estado y, en cierta medida, ha funcionado de manera desalineada?

Claramente, cada una de las incógnitas que se acaban de plantear ameritan extensas y profundas reflexiones, muchas de las cuales, por no decir todas, se proyectan fuera de los límites de este texto.

Así las cosas, solo quisiéramos resaltar, en primer lugar, una idea de Biggs respecto a preguntas como las mencionadas y en cierta manera ya esbozada al comienzo de este texto: en sus aspectos teóricos, el AC es muy sencillo, pero no lo es en sus procesos de aplicación, ya en el terreno de la realidad. Tal vez esta sea una de las ideas que han llevado a Biggs a plantear la utopía de que la aplicación completa del AC, en muchos contextos sociales, requiere profundos cambios estructurales en sus sistemas educativos e incluso el redimensionamiento de algunas instituciones, particularmente en el campo de la formación de los docentes.

En segundo lugar, y como producto de ciertas discusiones en relación con estos temas con algunos(as) docentes, básicamente del nivel secundario, emergen varias reflexiones acerca de la implementación del AC en el aula; una de ellas hace relación a la dificultad que se presenta al tratar de diferenciar los elementos de la dualidad aprendizaje de conceptos-operaciones de pensamiento.

Existe por tradición, suponemos, una verdadera amalgama entre lo que es aprender un concepto, un principio o una ley de carácter científico y la operación de pensamiento asociada con él. La mezcla es tan homogénea que el aprendizaje de un concepto asume *de facto* el desarrollo de la operación del pensamiento que conlleva; por ejemplo, de la comparación entre la variación de las características metálicas de los elementos del cuarto grupo de la tabla periódica con los del séptimo, un(a) niño(a) o un(a) joven puede aprender que en los grupos del sistema periódico el carácter metálico aumenta al descender; sin embargo, de este solo aprendizaje no necesariamente se sigue que el (la) niño(a) o el (la) joven ya haya desarrollado a cabalidad la capacidad para realizar comparaciones a diferentes niveles de complejidad.

En el fondo del AC y su perspectiva, al priorizar el desarrollo de operaciones de pensamiento subyace la idea de que el perfeccionamiento de tales operaciones requiere de acciones intencionadas tanto del (la) docente como del (la) estudiante; del (la) docente para procurar las actividades de evaluación auténtica (EA) que promuevan su mejoramiento paulatino, y de los (las) estudiantes para realizar esas actividades con compromiso, responsabilidad y, ante todo, con la consciencia de que mediante ellas logra esos desarrollos.

El anterior es, quizá ahora, el trabajo didáctico del (la) docente: dedicar, de conformidad con los estado cronológicos y psicológicos de sus estudiantes, un buen tiempo a ejercitar en ellos las operaciones de pensamiento. Dicho de otro modo, y enfatizando lo mencionado, el mejoramiento de tales operaciones, tanto las de nivel básico como las de orden superior, requiere de acciones intencionadas mediante las cuales estas capacidades se desarrollen. He aquí el fundamento del "*learning by doing*": se aprende a comparar comparando, se aprende a relacionar relacionando, esto es, poniendo los actores a hacer comparaciones o a hacer relaciones, lo cual forma parte del potencial que ofrece la taxonomía SOLO a los (las) docentes para mejorar su didáctica.

Ahora, desde el punto de vista teórico, se ha formulado, en algunos contextos, la crítica del AC como una visión regenerada del conductismo, si se quiere una especie de neoconductismo. Quienes lo hacen se apoyan en los alcances que se buscan con la taxonomía SOLO, particularmente en la naturaleza observable de los resultados del aprendizaje; a esta connotación subyace la cuestión de si todos los resultados del aprendizaje son o no observables. En principio, todo parece indicar que no, no siempre los resultados de esos "procesos atómicos de aprendizaje" son observables o perceptibles a simple vista. Pero tampoco es menos cierto, al menos hipotéticamente, que los resultados del desarrollo de las operaciones de pensamiento no lleven a productos observables cada vez de mayor complejidad.

Cabe anotar, además, que quizá el detractor más fuerte de la puesta en práctica del AC sea el tiempo, pues su aplicación a cabalidad requiere tiempo y dedicación, que son tan esquivos en la actualidad.

Dejando por ahora así el tema del AC, a sabiendas de que hay mucho por decir y debatir al respecto, conviene pasar al tema de la evaluación auténtica y sus relaciones con el AC y la enseñanza de las ciencias.

SOBRE LA EVALUACIÓN Y LA EVALUACIÓN AUTÉNTICA

Como quedó establecido en los planteamientos iniciales, la evolución de la evaluación a lo largo del tiempo ha tenido un carácter dinámico y de continuidad, que Guba y Lincoln, en principio, han condensado en las generaciones de medición, descripción, juicio y concertación (Guba y Lincoln, 1989; Laughlin y Broadbent, 1996).

Asimismo, se mencionó inicialmente que, con posterioridad al trabajo de las citados autores, desde distintos flancos de la comunidad académica e investigativa se han venido postulando otras perspectivas, entre ellas la evaluación incrustada o evaluación auténtica.

Desde el punto de vista del AC, la expresión "evaluación incrustada" puede entenderse a partir del lugar y la función que cumple para el docente y el estudiante y su relación con los objetivos concertados para el aprendizaje. Inserta en la dinámica propia del aula de clase, la evaluación se convierte en la "brújula" que orienta y dirige todas las actividades que desarrollan tanto el (la) docente como sus estudiantes, de manera permanentemente y continua, en dirección a conseguir resultados observables del aprendizaje. Parafraseando a Thomas J. Shuell (1986), puede afirmarse que para alcanzar con algún grado de éxito los objetivos concertados, un estudiante debe realizar con compromiso y voluntad las actividades que su docente diseñe para ese propósito.

En consecuencia, para el docente emerge un complemento en el papel que, se espera, desempeñe en coherencia con el AC: buscar y seleccionar buenas actividades de aprendizaje y buenas actividades de evaluación, aquellas que, al ser realizadas con rigor y compromiso por los estudiantes, los acerquen cada vez con mayor probabilidad a los resultados esperados y a la vez indiquen su grado de avance hacia esos objetivos.

Por su parte, y de manera complementaria al significado de la evaluación incrustada, la expresión "evaluación auténtica" conlleva como idea y objetivo central alcanzar, mediante diferentes procesos, un mayor acercamiento a las actividades escolares cotidianas a través de las cuales se aprenden muchos contenidos, no solamente para el contexto académico, sino incluso y preferencialmente para la vida como futuros profesionales o como ciudadanos.

La idea de llevar la evaluación tan cerca como sea posible a la vida escolar, y por extensión a la vida cotidiana, permite al docente apreciar muchas de las diferencias individuales de sus estudiantes, incorporarlas a los procesos de valoración e incluirlas en los resultados finales, al momento de dar cuenta del desempeño de un (una) estudiante, bien sea para efectos de certificación o de progreso al interior de la institución.

Así, con una evaluación auténtica se procura el cubrimiento y una valoración más incluyente y acorde con los aprendizajes que se logran durante la vida escolar, más allá de los relacionados a la dimensión cognitiva de los seres humanos, vale decir, más allá de los aprendizajes relacionados con el conocimiento, para llevarlo hasta el nivel de aplicación y uso. Es bien sabido que durante la vida escolar también se aprenden hábitos, valores, comportamientos y formas de pensar que acompañan a los seres humanos después de estos periodos de la vida; incluso, se trata muchas veces de aprendizajes que se logran de manera inconsciente (Mora, 2021).

En este contexto, la expresión "evaluación auténtica" (EA) adquiere una connotación más ligada a una valoración de los aprendizajes derivados de actividades que, siendo propias de estas etapas de la vida, se dan en los espacios fuera del aula, donde se requiere de su aplicación; así, la evaluación se inserta en un movimiento de educación por resultados.

A partir de la cada vez más amplia literatura disponible acerca de este tema, se pueden apreciar aspectos de la evaluación auténtica como su concepción o formas de llevarla a cabo, esto es, los instrumentos que se pueden utilizar, así como también sus alcances y limitaciones. Al respecto, resulta pertinente la diada conceptual de enfoque y práctica (Grupo WMCMF, 2015-2023); el primero se refiere a la evaluación ligada a la realización de actividades de la vida cotidiana, donde los y las estudiantes aplican o relacionan sus aprendizajes. El enfoque, por tanto, alumbra el quehacer del (la) docente para que encuentre formas alternativas de practicar la evaluación en el aula. Por su parte, la práctica se puede entender en dos dimensiones: pedagógica y didáctica; la primera hace referencia a la formación de profesionales y ciudadanos con mentalidad abierta al cambio y a los devenires de la vida, mientras que la dimensión didáctica brinda al docente otros horizontes de reflexión permanente hacia la búsqueda de diseños y aplicaciones de actividades de evaluación más enfocadas en una actividad para el crecimiento personal y el aprendizaje continuo del ser humano.

En procura de otras concepciones acerca de la EA, para autores como Mueller (citado por Sridharan y Jamie, 2016), una evaluación más auténtica consiste en una serie de actividades o tareas de la vida cotidiana en cuya realización los estudiantes deben demostrar

que tienen capacidad para hacer uso de las habilidades y los conocimientos adquiridos de forma significativa en sus procesos de aprendizaje escolar.

Otras aproximaciones a la evaluación auténtica la relacionan con la valoración y calificación de la aplicación del conocimiento que se lleva a cabo mediante el análisis y la observación de actividades de la vida cotidiana realizadas por quienes son evaluados. Se propende así por la obtención de evidencias de que se está en condiciones de hacer uso apropiado, a lo largo de la vida, de aquello que se aprende (Grant, Fedoruk y Nowell, 2021).

Antes de finalizar este escrito, es importante señalar el rol del diálogo como fulcro de la EA. En el contexto académico, el diálogo es, sin duda, uno de los medios a través de los cuales se expresa el respeto por el pasado y por la persona con quien se interactúa; se trata de ese compromiso al cual todos los académicos concurren cuando en sus tareas regresan en el tiempo en procura de una conversación reposada y reflexiva sobre los logros del trabajo de quienes ya transitaron caminos semejantes, o cuando incursionan en sus alrededores en procura de argumentos para sostener sus afirmaciones o explicar los resultados de sus investigaciones; los académicos, continuamente, dialogan con el pasado y con el presente.

En los contextos académicos, el diálogo, en sus distintas dimensiones y formas, constituye por lo general un supuesto dado, un principio *a priori*. Pero ¿por qué se trae el diálogo al contexto de la evaluación y de la EA en particular? En principio, podría aceptarse que siempre ha estado, quizá oculto bajo término *feedback*; sin embargo, en ese *feedback* no siempre se tiene en cuenta al otro ni se escucha a aquel con el cual se dialoga. Es en este punto en donde la EA se apoya en el diálogo con el (la) evaluado(a), con el fin de abrir las oportunidades para oír a los y las estudiantes, para entenderlos(as); es precisamente a partir de los resultados de este proceso que se logra proyectar diferentes alternativas pedagógicas y didácticas en procura de su crecimiento personal y profesional.

A través de una conversación pausada y reposada entre un(a) estudiante y un(a) docente atento(a) y observador(a), se logra obtener, entre otras cosas, información de primera mano, tópicos disciplinares de mayor dificultad, necesidades particulares en un momento dado,

preferencias cognitivas y, tal vez lo más importante, llegar lo más cerca posible a esas formas de pensar, de sentir y de actuar que son particulares de cada ser humano.

Es en el diálogo de los estudiantes con sus docentes que ellos(as), desde temprana edad, aprenden a oír al (a la) otro(a), mientras que el (la) docente puede intuir y poner en práctica alternativas variadas para educar en valores como la verdad, la honestidad, el autoestima, la solidaridad, el autocontrol o la autonomía, que son pilares sobre los cuales se construyen principios de mayor amplitud social como la libertad, la justicia, la igualdad y una ética civilista, que orientan a una sociedad alejada de los caminos de la esclavitud en la que deriva la ausencia de conocimiento.

COMENTARIOS FINALES

A continuación se exponen algunas consideraciones generales a partir de lo escrito en las páginas anteriores.

Los desarrollos de las teorías del aprendizaje comenzaron mucho antes de que la investigación en aprendizaje de las ciencias emergiera; sin embargo, poco a poco, y dada la preocupación de la comunidad de especialistas en didáctica de las ciencias, algunas formas de concebir el aprendizaje, más que otras, han sido sometidas, mediante diferentes aproximaciones investigativas, al inexorable juicio de la experimentación en el aula en busca de evidencias que les den cada vez más consistencia y algún grado de validez.

Asimismo, como producto de desarrollos complementarios de esas teorías y de las críticas a las que se han sometido, con el paso de los años algunas se han fortalecido y otras se han debilitado. Quizás entre ideas que más se han visto favorecidas en este proceso de "supervivencia teórica" están los postulados constructivistas sobre los cuales se fundamenta el AC.

Respecto a la evaluación, cabe destacar una tendencia continuista, entre ellas las generaciones planteadas, en el sentido de que en el tránsito de una a otra se conserva mucho de la generación anterior. Así, la generación de la descripción conlleva la de la medición y la del juicio se apalanca sobre procesos descriptivos y datos cuantitativos provenientes aún de la primera y la segunda generación.

Algunos elementos comunes en las aproximaciones a una concepción de la EA que vale la pena mencionar como resultado de este trabajo son su énfasis en el carácter pedagógico y didáctico, más allá de la mera función de recolectar información con miras a una decisión de aprobación o no de un espacio académico o de un periodo escolar basado en el aprendizaje de conceptos, su perspectiva de aplicación de los aprendizajes logrados y el desarrollo de habilidades de pensamiento.

En síntesis, la EA se puede concebir como cualquier forma de acción evaluativa que, aplicada por los (las) docentes u otros agentes educativos, permite valorar y evaluar los avances de los participantes acerca de su progreso profesional y personal, proceso en el cual el uso de rúbricas es muy común.

Finalmente, y dado el potencial que presenta el AC y la EA para el desarrollo sistemático de experiencias didácticas y de investigaciones educativas, solo nos resta invitar a los colegas maestros y maestras a adentrarse teórica y prácticamente en estos planteamientos con miras a procurar la mejora continua de las operaciones de pensamiento de nuestros(as) estudiantes, sin abandonar el horizonte ya cercano de nociones de aprendizaje desde la neurología, y con ellas el tema de la neuroeducación, que por ahora, si se quiere, está en los límites de la realidad y la especulación.

REFERENCIAS

Adar, L. (1969). A *theoretical framework for the study of motivation in education.* The Hebrew University, School of Education.

Al-Naeme, F. F. (1980). *A study of some psychological factors affecting performance in chemistry at secondary and tertiary levels.* (Tesis de maestría). Center for Science Education, Faculty of Science, University of Glasgow.

Berthiaume, D. (2009). Teaching in the disciplines. En F. Heather, S. Ketteridge y S. Marshall, *Handbook for teaching and learning in higher education. enhancing academic practice* (pp. 215-225). 3.ª ed. Routledge, Taylor and Francis Group.

Biggs, J. (1999). What the student does: teaching for enhanced learning. *Higher Education Research & Development, 18*(1), 57-75. https://doi.org/10.1080/0729436990180105

Biggs, J. y Tang, C. (2007). *Teaching for quality learning at university.* The McGraw-Hill Companies.

Bloom, B. S., Hastings, J. T. y Madaus, G. F. (1975*) Evaluación del aprendizaje.* Agencia para el Desarrollo Internacional. Centro Regional de Ayuda Técnica.

Cárdenas, F. A. (2012). Del conocimiento declarativo al conocimiento funcional: la necesidad de una transformación didáctica. *Actualidades Pedagógicas, 60,* 193-214. https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=1158&context=ap

Colding, J. (2020). A critical reflection on constructive alignment in theory and practice. *Reports on Teaching and Learning in Higher Education.* Stockholm University. https://doi.org/10.17045/sthlmuni.11535786.v1

Depaepe, F., Verschaffel, L. y Kelchtermans, G. (2013). Pedagogical content knowledge: A systematic review of the way in which the concept has pervaded mathematics educational research. *Teaching and Teacher Education, 34,* 12-25. http://dx.doi.org/10.1016/j.tate.2013.03.001

Entwistle, N. (2009). *Teaching for understanding at university. Deep approaches and distinctive ways of thinking.* Palgrave Macmillan.

Gagné, R. M. (1977). *Como se realiza a aprendizagem.* Livros Técnicos e Científicos Editora S. A.

Gagné, R. M. y Briggs, L. J. (1976). *La planificación de la enseñanza.* Trillas.

Grant, K., Fedoruk, L. y Nowell, L. (2021). Conversations and reflections on authentic assessment. *Imagining SoTL, 1,* 146-162.

Grupo WMCMF. (2015-2023). *Evaluación auténtica: principios, orientaciones y ejemplos.* https://webdelmaestrocmf.com/portal/evaluacion-autentica-principios-orientaciones-ejemplos/

Guba, E. S. y Lincoln, Y. S. (1989). *Fourth generation evaluation.* Sage.

Hammond, L. D., Austin, K., Orcutt, S. y Rosso, J. (2001). *How people learn: introduction to learning theories. The learning classroom: theory into practice a telecourse for teacher education and professional development.* Stanford University School of Education. http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.294.3636&rep=rep1&type=pdf

Johnstone, A. H. (2006) Chemical education research in Glasgow in perspective. *Chemistry Education Research and Practice, 7*(2), 49-63. https://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.132.4757&rep=rep1&type=pdf

Kolb, D. A. (1984). *Experiential learning: Experience as the source of learning and development.* Prentice Hall. https://www.researchgate.net/publication/235701029_Experiential_Learning_Experience_As_The_Source_Of_Learning_And_Development

Laughlin, R. y Broadbent, J. (1996). Redesigning fourth generation evaluation: an evaluation model for the public-sector reforms in the UK? *Evaluation, 2*(4), 431-451. https://doi.org/10.1177/135638909600200406

Liaqat, A. (2018). The design of curriculum, assessment and evaluation in higher education with constructive alignment. *Journal of Education and e-Learning Research. 5*(1), 72-78. https://files.eric.ed.gov/fulltext/EJ1173088.pdf

Loughlin, C., Lygo-Baker, S. y Lindberg-Sand, Å. (2021). Reclaiming constructive alignment. *European Journal of Higher Education, 11*(2), 119-136. https://doi.org/10.1080/21568235.2020.1816197

Mora, F. (2021). *Neuroeducación. Solo se puede aprender aquello que se ama*. Alianza Editorial.

Newman J. D. y Harris J. C. (2009). The scientific contributions of Paul D. MacLean (1913-2007). *The Journal of Nervous and mental Disease, 97*(1), 3-5.

Novak, J. D. y Gowin, D. B. (1988). *Learning how to learn.* Cambridge University Press.

Padilla, C. M. T. y Gil, F. J. (2008). La evaluación orientada al aprendizaje en la educación superior: condiciones y estrategias para su aplicación en la docencia universitaria. *Revista Española de Pedagogía, 66*(241), 467-486.

Paskevicius, M. (2017). Conceptualizing open educational practices through the lens of constructive alignment. *Open Praxis, 9*(2), 125-140. https://search.informit.org/doi/pdf/10.3316/informit.913777987233322

Pozo, J. I. (2003). *Teorías cognitivas del aprendizaje.* Ediciones Morata.

Rosario, P., Núñez, J., González, J., Almeida, L., Soares, S. y Rubio, M. (2005). El aprendizaje escolar examinado desde la perspectiva del "modelo 3 P" de J. Biggs. *Psicothema. 17*(1), 20-30. https://www.redalyc.org/pdf/727/72717104.pdf

Shayer, M. y Philip, A. (1981). *Towards a science of science teaching. Cognitive development and curriculum demand*. Heinemann Educational Books.

Shuell, T. J. (1986). Cognitive conceptions of learning. *Review of Educational Research*, *56*, 411-436.

Shulman, L. S. (1986). Those who understand: knowledge growth in teaching. *Educational Researcher, 15*(2), 4-14. http://depts.washington.edu/comgrnd/ccli/papers/shulman_ThoseWhoUnderstandKnowledgeGrowthTeaching_1986-jy.pdf

Soler, C. M. G., Cárdenas, S. F. A., Hernández-Pina, F. y Monroy, H. F. (2017). Enfoques de aprendizaje y enfoques de enseñanza: origen y evolución. *Educación y Educadores, 20*(1), 65-88. https://digitum.um.es/digitum/bitstream/10201/102069/1/2017-Soler..n.pdf

Soler, M. G. (2018). *La enseñanza de las ciencias desde los principios del alineamiento constructivo.* Universidad Pedagógica Nacional.

Soler, M. G. y Moreno, G. (2012). Experiencia de aula basada en los enfoques de aprendizaje "estudiantes del grado décimo fomentan el desarrollo del espíritu científico en estudiantes de preescolar. *Revista Científica, 16*, 118-129.

Soler, M. G. y Romero, L. A. (2014). Análisis de los enfoques de aprendizaje en estudiantes de jornada nocturna en relación con actividades lúdicas y recreativas basadas en el juego. *Lúdica Pedagógica, 19*(1), 101-109. http://revistas.pedagogica.edu.co/index.php/LP/article/view/2785/2501

Soler, M. G. (2014). El constructo enfoques de aprendizaje: un análisis bibliométrico de las publicaciones en español en los últimos 20 años. *Revista Colombiana de Educación, 66*, 127-148. http://revistas.pedagogica.edu.co/index.php/RCE/article/view/2590/2438

Soler, M. G. (2015). *Enfoques de enseñanza y enfoques de aprendizaje: posibles relaciones entre sí y con el logro académico de los estudiantes en evaluaciones externas.* (Tesis doctoral inédita). Universidad Pedagógica Nacional, Doctorado Interinstitucional en Educación. http://repository.pedagogica.edu.co/bitstream/handle/20.500.12209/100/TO-18232.pdf?sequence=2&isAllowed=y

Sridharan, B. y Jamie, M. (2016). *Authentic assessment methods: a practical handbook for teaching staff part-I, Deakin University*. doi:10.13140/RG.2.1.2358.7921. https://www.researchgate.net/publication/289996648_authentic_assessment_methods_a_practical_handbook_for_teaching_staff_part-i_deakin_university.

Wood, C. (2006). The development of creative problem solving in chemistry. *Chemistry Education Research and Practice, 7*(2), 96-113. http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.114.8659&rep=rep1&type=pdf

Zaki, C. D. (1997). *Tecnología de la educación y su aplicación al aprendizaje de la física.* Compañía Editorial Continental (CECSA).

Capítulo 14. El desafío de la formación de profesores de matemáticas en relación con los procesos matemáticos: el caso de la argumentación

Óscar Javier Molina Jaime
Leonor Camargo Uribe
Universidad Pedagógica Nacional

INTRODUCCIÓN

Desde la década de los noventa del siglo pasado hubo un interés creciente, en el campo de la educación matemática, por involucrar a los estudiantes en procesos de argumentación y demostración (Mariotti, 2006). Parece haber un consenso general sobre el hecho de que el desarrollo del sentido de la argumentación y de la demostración constituye un objetivo importante de la formación matemática, razón por la cual hay una tendencia general a incluirlo en las propuestas curriculares nacionales e internacionales. Incluso, en estas propuestas se señala que la argumentación

y la demostración no son procesos reservados para ciertas actividades realizadas en momentos especiales, sino que deberían ser una parte natural y continua de las prácticas matemáticas del aula, independientemente del tema que se estudie.

Sin embargo, evidencias internacionales documentadas, ratificadas por nuestra labor investigativa, muestran que las pretensiones anteriores están tímidamente presentes en las realidades escolares en Colombia. De hecho, hay una tendencia a suponer que, dadas las dificultades encontradas en la mayoría de los alumnos para involucrarse en procesos de argumentación y demostración, muchos profesores abandonan esfuerzos de enseñanza tendientes a favorecerlos. Este fenómeno ha suscitado un apasionado debate entre los educadores de matemáticas, que ha producido un gran número de estudios (Mariotti, 2006; Stylianides, Bieda y Morselli, 2016; Perry, Camargo, Samper y Rojas, 2006; Molina, Luque y Robayo, 2014).

Un rápido repaso a las contribuciones sobre los procesos de argumentación y demostración —que se pueden seguir en el portal http://www.lettredelapreuve.org/ o en *handbooks* como *Proof and Proving in Mathematics Education* (Hanna y de Villiers, 2012) y *Handbook of Research on the Psychology of Mathematics Education* (Mariotti, 2006; Stylianides, Bieda, y Morselli, 2016)—, deja ver que históricamente los estudios se han centrado en las concepciones de los alumnos sobre la demostración, y en general sobre las dificultades que tienen para enfrentarse a ella, en intervenciones didácticas que procuran incorporar la argumentación y la demostración en el aula y en cómo estas podrían ayudar a superar dichas dificultades. Más recientemente, las investigaciones han abordado asuntos como las concepciones de los profesores sobre la argumentación y la demostración, y cómo construir un conocimiento especializado sobre estos procesos. En ese marco investigativo, se ha procurado dar respuestas a preguntas como: ¿Cuál es la situación de la argumentación y la demostración en el aula de matemáticas? ¿Qué tipos de argumentos producen los estudiantes? ¿Qué tipo de argumentación procura fomentar la política educativa y cuál realmente es promovida en los currículos implementados? ¿Cuáles son las principales dificultades a las que se enfrentan los alumnos en relación con la argumentación y la demostración? ¿Cuál puede ser el origen de dichas dificultades? ¿Es posible superar las dificultades que encuentran los alumnos al argumentar y demostrar? ¿Cómo diseñar intervenciones didácticas

para favorecer el desarrollo de estos procesos? ¿Qué sugerencias generales se pueden dar? ¿Qué conocimientos tienen los profesores sobre la argumentación, la demostración y su didáctica? ¿Qué asuntos deben considerar los programas de formación de profesores sobre la argumentación y la demostración?

Sin duda, estas preguntas conducen a desafíos frente a los que la comunidad de educadores en matemáticas se ha abocado. En ese contexto, se tiene el propósito de dilucidar respuestas que orienten programas educativos dirigidos a la educación matemática de escolares y programas de formación inicial y continuada de profesores de matemáticas.

En esta sesión de la cátedra doctoral presentamos algunos avances que el grupo Aprendizaje y Enseñanza de la Geometría (AEG) ha alcanzado sobre la argumentación matemática y sobre cómo promover su aprendizaje en la formación inicial y continuada de profesores de matemáticas. Asumiendo la sugerencia de Reid y Knipping (2010) respecto a la necesidad de precisar la postura conceptual que se adopta para fundamentar investigaciones sobre este proceso (dada la gran variedad de aproximaciones existentes), en un primer momento presentamos una panorámica de posturas, para luego exponer e ilustrar la nuestra sobre los constructos *argumentación*, *demostración* y términos afines (argumento, justificación). Enseguida, ilustramos dos acercamientos mediante los cuales procuramos involucrar este proceso en los programas de Licenciatura en Matemáticas y Maestría en Docencia de la Matemática: una aproximación metodológica a lo que denominamos "actividad demostrativa" (en la que se articulan la argumentación y la demostración) y un plan formativo para profesores en ejercicio, estructurado a partir de un modelo de conocimiento sugerido por Pino-Fan y Godino (2015) para apoyar a los profesores en la tarea de impulsar en sus aulas ambientes de aprendizaje que contribuyan a hacer realidad las metas educativas sobre los procesos de argumentación y demostración.

POSTURAS SOBRE ARGUMENTACIÓN Y DEMOSTRACIÓN EN EDUCACIÓN MATEMÁTICA

Duval (1999) destaca dos razones por las cuales en la educación matemática hay un creciente interés sobre la *argumentación*: el reconocimiento de que la comunicación del pensamiento humano

se basa en las lenguas naturales más que en los lenguajes formales, y la importancia de los procesos sociales en el aprendizaje de las matemáticas. A partir de tales premisas, se han desarrollado diversas aproximaciones para conceptualizar este proceso. Reid y Knipping (2010) destacan por lo menos tres: 1) la relación entre *argumentación* y convencimiento (Perelman y Olbrechts-Tyteca, 1989); 2) la estructura de un argumento y su referencia a las premisas aceptadas en una comunidad (Toulmin, 2007); y 3) la argumentación como actividad discursiva y focalizada en estructuras gramaticales (Anscombre y Ducrot, 1994).

A partir de estas aproximaciones (particularmente las dos primeras), Reid y Knipping (2010) proponen cuatro descripciones sobre *argumentación* reconocibles en la literatura especializada: como un tipo de razonamiento, como un comportamiento social, como un proceso que produce discurso lógico, o como un proceso que da lugar a la formulación de conjeturas. A su vez, sugieren que este proceso puede tener al menos tres roles en la educación matemática: como un obstáculo para el aprendizaje de la demostración (Duval, 1991; 1999), como parte integral de la actividad matemática, incluyendo el proceso de demostrar (Boero, Garuti, Lemut y Mariotti, 1996; Boero, Douek, Morselli y Pedemonte, 2010; Mariotti, Bartolini Bussi, Boero, Ferri y Garuti, 1997) y como una precondición para el aprendizaje matemático (Krummheuer, 1995; Yackel y Cobb, 1996). En lo que sigue, con el ánimo de tener un poco de claridad sobre los conceptos *argumentación* y *argumento*, presentamos con mayor detalle algunas posturas; esto nos posibilita un escenario para asumir nuestra perspectiva.

Duval (1991) entiende que la *argumentación* es un tipo de razonamiento que tiene reglas implícitas, provenientes tanto de la estructura del lenguaje como del conocimiento de los hablantes. En consecuencia, el contenido semántico de las proposiciones puestas en juego es un aspecto esencial y, por lo tanto, no tiene ninguna relación con la demostración. Dicho autor asume la aproximación de Perelman, según la cual la argumentación está ligada a la justificación o convencimiento de una tesis o pronunciamiento. En este escenario, un *argumento* es cualquier elemento (hecho, resultado de un experimento, un ejemplo, una definición, un teorema, etc.) que pueda ser usado para justificar o refutar una proposición. En esencia, para Duval un argumento es la respuesta a las preguntas *¿por qué tú dices esto?* o *¿por qué tú crees aquello?*

Boero y sus colegas (Boero *et al*., 1996) asumen una postura sobre argumentación parecida a la de Duval, en el sentido de asumir la aproximación de Perelman relativa al convencimiento. Consideran que es cualquier discurso escrito u oral realizado de acuerdo con reglas compartidas y cuyo propósito es llegar a una conclusión mutuamente aceptable sobre una declaración cuyo contenido o verdad está en debate. Por lo tanto, incluyen la demostración como un caso especial de argumentación (Durand-Guerrier, Boero, Douek, Epp y Tanguay, 2012, p. 349). Esta propuesta se distancia de la postura de Duval, dado que los investigadores asumen la argumentación en un sentido más amplio que admite a la demostración como un tipo especial de argumentación. Aunque reconocen la diferencia entre ambos procesos, conciben la posibilidad de continuidad entre ellos. De manera más específica, precisan que la argumentación está presente en las siguientes fases de la actividad matemática: la producción de una conjetura;[1] la formulación de una proposición que expone la conjetura; la exploración del contenido de la conjetura; la selección y encadenamiento de argumentos en cadenas deductivas; la organización de tales cadenas deductivas en una demostración aceptable, según los estándares matemáticos. Vale decir que en uno de sus trabajos ven el potencial de usar el modelo de Toulmin para estudiar la estructura de los argumentos presentes en estas fases de la actividad matemática (Boero *et al*., 2010). Más adelante precisamos este planteamiento.

Krummheuer (1995) asume que la *argumentación* es un proceso social que tiene lugar cuando los individuos, cooperativamente, tratan de adaptar sus intenciones e interpretaciones por medio de la presentación verbal de la racionalidad de sus acciones. Esta última no se funda necesariamente en la lógica formal (pero podría hacerlo) sino en la toma de la mejor decisión entre un conjunto de varias opciones; aquello que se considera como "lo mejor" se decide a partir de un proceso de negociación surgido en el marco de la interacción entre individuos. En consonancia con esta postura, la argumentación lleva al pronunciamiento de aceptación o rechazo de una aserción (o proposición).

1 Una conjetura es una aserción (proposición) hecha por un individuo o un colectivo cuya validez (teórica) están aún por establecer (Harel y Sowder, 2007).

Krummheuer (1995) usa la postura de Toulmin, según la cual la argumentación fundamentada en deducciones produce *argumentos analíticos*; en contraste, aquellos argumentos que se fundamentan en otro tipo de racionalidad se denominan *argumentos sustanciales*. En una argumentación sustancial, la declaración o decisión se verifica en la medida en que sean convincentes los antecedentes, las explicaciones o las justificaciones que se provean y los significados que se le otorgan en el proceso. Al hacer esta distinción, Krummheuer (2015) concibe la argumentación en un sentido amplio y la entiende como un aspecto esencial para el aprendizaje de las matemáticas. Para este autor, aprender matemáticas es esencialmente participar en una práctica explicativa y justificativa produciendo argumentos. Por esta razón, no solo es de interés estudiar cómo se estructuran argumentos producidos durante el trascurso de una interacción, sino también indicar de qué manera el profesor y los estudiantes (en un proceso educativo que tiene lugar en la microsociedad de la clase de matemáticas) participan en la producción interactiva-colectiva de tales argumentos. Para abordar la primera cuestión, el autor propone hacer análisis de la argumentación empleando el modelo de argumento de Toulmin (2007). Vale anotar que otros investigadores han visto el potencial de la postura de este autor. Yackel (2001; 2002) y Molina, Font y Pino-Fan (2021), por ejemplo, utilizan el modelo citado como una herramienta para analizar el progreso en el aprendizaje de estudiantes universitarios, considerando el proceso de argumentación y las normas sociales y sociomatemáticas de la microcultura del aula (Yackel y Cobb, 1996; Cobb, Wood, Yackel, y McNeal, 1992). Molina y Samper (2019) lo usan para analizar tipos de argumentos que se promueven con ciertos problemas de geometría según la estructura de estos.

En la tabla 14.1 sintetizamos las posturas antes presentadas en relación con los conceptos de *argumentación* y *argumento*. Al respecto, hay que destacar tres aspectos:

1. Tal como proponen Stylianides *et al.* (2016), puede haber cierta consonancia en las posturas en el hecho de considerar la *argumentación* en una dimensión social, esto es, como aquello llevado a cabo por un individuo o un grupo para convencer a otros sobre la postura asumida al respecto de una aserción dada. Esta consonancia es consecuencia de que varios de los autores toman como referente la aproximación de Perelman.

2. No hay un acuerdo respecto al término empleado para aludir al producto de una *argumentación*: unos le denominan *argumentación* (*e. g.*, Boero *et al.*) y otros lo llaman *argumento* (*e. g.*, Krummheuer).
3. No hay un acuerdo en la relación existente entre argumentaciones de índole lógico-deductiva (*e. g.*, una demostración) y otras maneras de argumentación. Duval advierte que existe una brecha insalvable; lo contrario advierten Boero *et al*.

Tabla 14.1. *Síntesis de las posturas sobre argumentación*

Perspectiva según	Enfoque teórico usado	Acepción de argumentación	Acepción de argumento	Relación con la demostración
Duval	Perelman	Tipo de *razonamiento* ligado a la justificación o convencimiento de una tesis o pronunciamiento.	Cualquier cosa (hecho, definición, acción, teorema, etc.) que justifique o refute una proposición.	La demostración no guarda alguna relación con la argumentación.
Boero y colegas	Perelman, Toulmin	Proceso que produce un discurso realizado de acuerdo con reglas compartidas y cuyo propósito es llegar a una conclusión mutuamente aceptable sobre una declaración cuyo contenido o verdad está en debate. Texto producido a través del proceso que contiene uno o varios argumentos conectados.	Razón o razones que se dan a favor o en contra de una proposición u opinión.	La demostración es un caso particular de la argumentación.
Krummheuer; Yackel y colegas	Perelman, Toulmin	Proceso que tiene lugar en la interacción social en busca de tomar una decisión. Explicación intencional del razonamiento de una solución. Conjunto de técnicas o métodos que permiten establecer la postura sobre una proposición. Es una condición para aprender.	Resultado de una argumentación.	Argumentos sustanciales (basados en la semántica) y argumentos analíticos (lógico-deductivos). No se precisa si pueden estar relacionados.

Fuente: basada en la propuesta de Reid y Knipping (2010).

NUESTRA POSTURA SOBRE ARGUMENTACIÓN Y DEMOSTRACIÓN EN EDUCACIÓN MATEMÁTICA[2]

Dada la diversidad conceptual sobre argumentación y argumento y sobre la relación de estos con la demostración, expuesta en la sección anterior, es menester tomar una postura cuando se investiga al respecto o se quieren implementar acciones de enseñanza o aprendizaje. El grupo AEG ha procurado precisar definiciones para argumentación y argumento, de manera tal que se establezca una diferenciación entre ellos y se destaque qué se considera como proceso y qué como producto. Asimismo, ha procurado explicitar la relación entre argumento y demostración. A continuación, presentamos esta postura.

Tomando un enfoque sociocultural y discursivo sugerido por propuestas como la de Krummheuer (1995) y Boero *et al.* (1996), entendemos que un *argumento* es una expresión discursiva escrita u oral regulada por normas compartidas, que expone una postura o una proposición y las razones (justificación) que sustentan, respectivamente, el acuerdo con la postura o el valor de verdad de la proposición. Un argumento incluye una justificación, pero la relación recíproca no es cierta. Una *justificación* es un conjunto de razones para soportar la veracidad o falsedad de una proposición. El *argumento* incluye la aserción o conclusión (postura) que se sustenta con la justificación.

Para complementar la conceptualización expuesta de argumento, tomamos como referencia la propuesta estructural de Toulmin (2007) para un *argumento simple* (la unidad discursiva mínima identificada como argumento), que permite exponer la relación funcional entre los elementos básicos de un argumento. Así como la *estructura de una oración* en castellano se refiere a la disposición y relación de sus elementos básicos (sujeto y predicado) o la *estructura de un texto expositivo* se refiere a las partes constitutivas (introducción, desarrollo y conclusión) y articuladas para crear una unidad discursiva cohesionada, podemos entender por *estructura funcional de un argumento* la disposición (el armazón) de los elementos que lo componen, determinada por la función que cada uno de ellos desempeña en el argumento simple: dato, garantía y aserción.

2 Nuestra conceptualización se ha venido construyendo en el marco de la labor investigativa del Grupo Aprendizaje y Enseñanza de la Geometría (AEG). Específicamente, la que acá presentamos es producto del proyecto titulado *Conocimiento del profesor de geometría para diseñar y gestionar tareas de argumentación y demostración* (DMA 518-20), financiado por el CIUP. Agradecemos los aportes de Patricia Perry, Carmen Samper y Claudia Marcela Vargas.

Así las cosas, un *argumento simple* es un argumento conformado por los elementos *dato* y *aserción* o *dato*, *garantía* y *aserción*, relacionados funcionalmente así: el *dato* da fundamento a la *aserción*, es evidencia que justifica la aserción; la *garantía* da soporte a *la relación del dato y la aserción*, justifica, con un enunciado general, por qué el dato sirve como evidencia para apoyar la aserción. La *aserción* es una proposición que plantea una postura y que está presente en todo argumento. En ocasiones, se hace referencia a la aserción como una conclusión, pero desde nuestro punto de vista, la *conclusión* es una aserción que ha sido justificada. Con base en la descripción previa, refiriéndose a dato, aserción y garantía, Toulmin (2007) considera:[3]

> Ya contamos entonces con los términos necesarios para componer el primer esbozo de un esquema para analizar argumentos. La relación entre los datos y la afirmación a la que sirven de base puede simbolizarse con una flecha, indicando lo que nos permite pasar de unos a otra escribiendo la garantía inmediatamente debajo de la flecha. (p. 135) [ver figura 14.1]

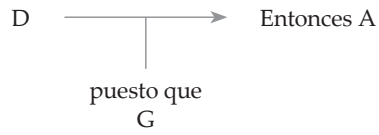


Figura 14.1. Modelo básico de argumento
Fuente: Toulmin (2007, p. 135).

La *argumentación* es el proceso discursivo y sociocultural mediante el cual se producen argumentos de diferente naturaleza, según el elemento del argumento que se infiera en el proceso y el tipo de inferencia que se haga; un argumento es el producto de una argumentación. Cuando se busca inferir una aserción como conclusión necesaria de un conjunto de datos y de garantías, el argumento producido es una demostración. En ese sentido, la demostración es un tipo particular de argumentación.

3 En realidad, Toulmin incluye seis elementos como posibles componentes de un argumento. Los cuatro ya mencionados —dato, garantía, aserción o conclusión, respaldo de la garantía— y otros dos, matizadores modales y condiciones de excepción o de refutación. En nuestro estudio nos enfocamos en los tres primeros. Para una documentación amplia del tema, recomendamos la lectura del capítulo "La forma de los argumentos" (Toulmin, 2007/1958), en la traducción que María Morrás y Victoria Pineda hacen del libro de Toulmin.

EJEMPLO PARA ILUSTRAR LA CONCEPTUALIZACIÓN DE ARGUMENTOS

Usando la transcripción de un breve intercambio entre Juan y Lina —estudiantes de un curso de geometría de primer semestre universitario— cuando trabajan conjuntamente para resolver una tarea, a continuación indicamos la presencia de al menos dos argumentos, y los reconstruimos usando la estructura funcional propuesta por Toulmin.

En la figura 14.2, $m \angle ABC = 57^o$ y
$\angle ABC \cong \angle BDE$.
¿Por qué $\overleftrightarrow{BD}$ no es perpendicular a $\overleftrightarrow{DE}$?

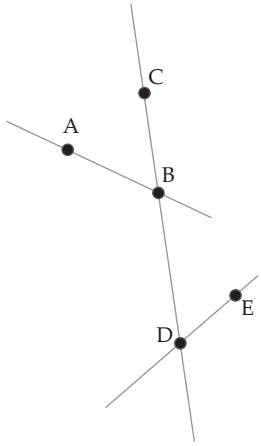


Figura 14.2. Representación de la situación sobre la que surge una interacción
Fuente: elaboración propia.

1	Hans:		Pues… la figura lo muestra así, miren las esquinas… no forman una cruz.
2	Lina:		¿Qué es lo que quiere decir que una recta sea perpendicular a otra?
3	Juan:	a	Que en su intersección se forma un ángulo recto…
		b	Pero lo que tenemos que decir es por qué la recta *BD* **no** (enfatiza la voz) es perpendicular a la recta *DE*.
4	Lina:		Pues… porque los ángulos… eh… *BDE, ED… F, FDG* y *GDB* no son rectos (al referirse a los cuatro ángulos de vértice *D*, ha nombrado como *F* y *G* dos puntos que no están marcados en la figura).
5	Juan:	a	¿Y así no más?
		b	¿Por qué el ángulo *BDE* no es recto?
6	Lina:	a	¡Fácil!
		b	Por ser congruente al ángulo A*BC* mide lo mismo, mide 57, ya que ángulos congruentes tienen la misma medida.
7	Juan:		Sí… ahora, nos falta decir por qué los otros tres ángulos no son rectos.
8	Lina:	a	Porque se ve… No, mentiras.
		b	El opuesto por el vértice al ángulo *BDE* también mide 57.
9	Juan:		Y los otros… cada uno, 180 menos 57.
10	Lina:		Como los ángulos miden 57 y 123, no son rectos; para ser rectos, tendrían que medir 90.

Para examinar la situación vamos a analizar las oraciones en algunas intervenciones, enfocándonos en las funciones que cumplen, con miras a identificar si se explicita una aserción que ha de ser sustentada, si se presentan datos para justificar la aserción y si se explicita una garantía para avalar los datos como justificación de la aserción.

En el fragmento de transcripción conformado por las intervenciones [3b] y [4] vislumbramos la presencia de un argumento. Podemos suprimir las descripciones puestas por el transcriptor y unir en un solo texto las dos intervenciones para enfocarnos en las verbalizaciones mismas: "[…] lo que tenemos que decir es por qué la recta *BD* no es perpendicular a la recta *DE*. Pues porque los ángulos *BDE, EDF, FDG* y *GDB* no son rectos".

Sin duda, hay una aserción para la cual se pretende dar un por qué ("tenemos que decir […] por qué […]") y está expresada de manera explícita, lo cual no necesariamente ocurre siempre, ya que, a menudo, nos conformamos con que la aserción se pueda inferir del contexto del intercambio. El uso de la expresión "Pues porque" nos indica la conexión entre la oración en la que aparece y la anterior; así, vemos que en [3] se dan datos respecto a los ángulos determinados por las rectas consideradas, como justificación de la aserción. No es explícita la garantía que respalda la conexión de la aserción con los datos que la justifican. En resumen, estamos ante un argumento simple incompleto (figura 14.3), que podemos representar usando el esquema del modelo de Toulmin para analizar argumentos:[4]

Datos: Los ángulos BDE, EDF, FDG y GDB no son rectos.

Aserción: La recta BD no es perpendicular a la recta DE.

Garantía: No está explícita, aunque podemos entreverla: definición de rectas perpendiculares.

4 Nuestros esquemas funcionales para reconstruir argumentos van a tener las siguientes convenciones, basadas en lo que proponen al respecto Knipping y Reid (2019): el dato se presenta en marco rectangular con esquinas redondeadas, la aserción/conclusión en marco rectangular, la garantía en marco rectangular con esquinas anguladas, el respaldo en marco rectangular con esquinas anguladas ubicado debajo del que presenta la garantía y conectado con este por una línea. Además, la línea gruesa de un marco indica que tal elemento del argumento es el inferido y la línea discontinua (guiones) de un marco indica que tal elemento no es explícito. Vale indicar que los esquemas propuestos no solo reportan el argumento mismo, sino que vislumbran una huella de la argumentación llevada a cabo; esto por cuanto resalta aquello que es inferido durante el proceso y precisa si la garantía se produjo implícitamente o no. Una caracterización de los tipos de argumento y el esquema relativo a cada uno de ellos permite dar un mejor sentido a esta aclaración. Ello se explica en la sección siguiente.

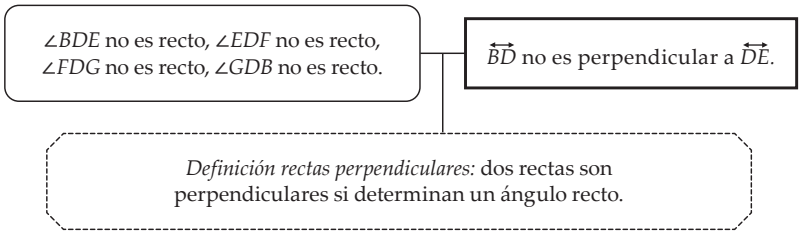


Figura 14.3 Argumento 1 del ejemplo
Fuente: elaboración propia.

Examinemos ahora el fragmento de transcripción conformado por las intervenciones [5-6b], en busca de la presencia de un argumento. Unamos en un solo texto las dos intervenciones: "[El ángulo *BDE*] por ser congruente al ángulo *ABC*, mide lo mismo [que *ABC*] […] ya que ángulos congruentes tienen la misma medida".

Es posible identificar una aserción ("el ángulo *ABC*, mide lo mismo [que *ABC*]"). Los términos "por" (por razón de, a causa de) y "ya que" (porque, puesto que) presentes en la expresión discursiva de la intervención [6b] juegan un papel importante en el momento de hacer el análisis funcional; ambos nos indican la presencia de sendas razones. La primera razón que se está ofreciendo es que los ángulos *BDE* y *ABC* son congruentes, razón esta que no es cuestionable, pues es una de las condiciones puestas en el enunciado de la tarea; es decir, cuenta como dato. La segunda razón alude a la definición de congruencia de ángulos. Así, aunque la intención de los estudiantes, al parecer, era argumentar por qué el ángulo *BDE* no es recto, la conclusión a favor de la cual argumentaron es que los ángulos *BDE* y *ABC* miden igual. Entonces, vemos un argumento simple que esquematizamos de la siguiente manera (figura 14.4):

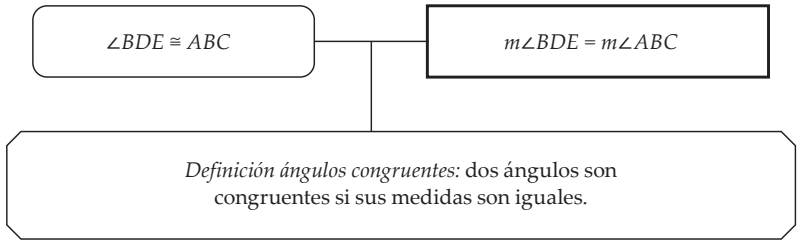


Figura 14.4. Argumento 2 del ejemplo
Fuente: elaboración propia.

TIPOS DE ARGUMENTO

Varios investigadores han usado el modelo funcional básico de un argumento propuesto por Toulmin para esquematizar diferentes tipos de argumentos (*e. g.*, Pedemonte, 2007; Conner, Singletary, Smith, Wagner y Francisco, 2014; Knipping y Reid, 2015, 2019; Krummheuer, 2015; Molina y Samper, 2019). En este capítulo aludimos a tres tipos de argumentos, inductivo, abductivo y deductivo, según el papel que tiene cada elemento (dato, aserción y garantía) en una argumentación.[5]

Haciendo eco de Krummheuer (1995) y Pedemonte (2007), quienes usaron el modelo de Toulmin para caracterizar tipos de argumento, formulamos la siguiente definición para argumento deductivo: en un *argumento deductivo* la aserción es el elemento inferido necesariamente (durante la argumentación) a partir de un dato y una garantía. En este tipo de argumento, la aserción es consecuencia necesaria del dato con el que cuenta quien argumenta; el rasgo característico de "consecuencia necesaria" proviene de la garantía escogida[6] y del uso de un esquema de razonamiento válido en la lógica bivalente. Un argumento deductivo se corresponde con una demostración.

En la figura 14.5 presentamos el esquema para un argumento deductivo. Debe tenerse en cuenta que las proposiciones que conforman la garantía tienen un carácter general, dada la connotación de generalidad que dicha garantía debe tener. Por otro lado, las proposiciones que conforman el "dato" y la "aserción" del argumento pueden tener o bien un carácter general, como lo establecen las proposiciones que conforman la garantía, o bien ser un caso específico de estas. Los argumentos de las figuras 14.3 y 14.4 son deductivos.

---

5 Algunos autores (*e. g.*, Conner, Singletary, Smith, Wagner y Francisco, 2014) etiquetan a la inducción, abducción y deducción como *tipos de razonamiento* y no como *tipos de argumentos*. Otros autores (*e. g.*, Hernández y Parra, 2013) usan de manera indistinta las dos acepciones. Nosotros decidimos aludir a tipos de argumentos para mantener coherencia en la presentación del texto. Más aún, porque consideramos al razonamiento como un proceso cognitivo —que ocurre en las mentes de los sujetos— y no tenemos insumos visibles para tipificarlo; en consecuencia, preferimos aludir a argumentos ya que, en tanto discursivos, tenemos un insumo ostensivo que puede ser objetificado y, por ende, susceptible de ser tipificado. Cabe señalar, además, que algunos autores también se refieren al argumento por analogía. Al respecto se puede consultar Juthe (2005), Reid y Knipping (2010), Conner, Singletary, Molina, Pino-Fan y Font (2019) y Molina, Font y Pino-Fan (2021).

6 Un enunciado condicional de índole general en cuyo antecedente se predica sobre las condiciones que se deben tener como dato, y en cuyo consecuente se predica sobre la condición resultante de manera inevitable cuando se cumple lo exigido por el antecedente.

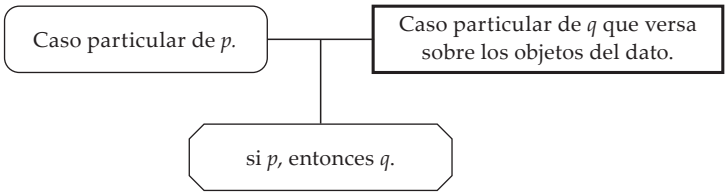


Figura 14.5. Esquema de un argumento deductivo
Fuente: elaboración propia.

Para caracterizar un *argumento inductivo* adoptamos la caracterización propuesta por Hernández y Parra (2013, p. 63); en ella: 1) Las premisas presentan una característica que los elementos de un conjunto inicial *A* tienen en común. 2) En las premisas también se establece que *algunos* de los elementos de tal conjunto comparten una segunda característica. 3) En la aserción se generaliza la segunda característica (compartida por un *subconjunto* de elementos no necesariamente propio) a, *por lo menos*,[7] un nuevo elemento del conjunto *A* del que no se sabe, a partir de la información dada en las premisas, si realmente la tiene.[8]

En tal conceptualización es explícita la referencia a los datos (*i.e.*, la información que se presenta en las premisas) y a la aserción del argumento, pero no a la garantía. Desde nuestra perspectiva, la garantía de un argumento inductivo es el *patrón de generalización*, que extiende un atributo a todos los elementos de un conjunto sin tener la seguridad de que todos lo tienen, sobre la base cierta de que algunos elementos del conjunto tienen dicho atributo. Puesto que el paso de los datos a la conclusión que dicha garantía autoriza no conduce necesariamente a una conclusión verdadera, tanto la garantía como la conclusión son enunciados de naturaleza probable. Formulamos el patrón así: los elementos de *A* que tienen el atributo *p* tienen asimismo el atributo *q*.

Teniendo en cuenta el criterio de tipificación mencionado, y sintetizando lo anterior, en un argumento inductivo la aserción y la garantía (patrón de generalización) son los elementos inferidos (durante la argumentación) a partir de un dato, y ambos son de naturaleza probable. El esquema que se muestra en la figura 14.6 representa no solo la estructura funcional del argumento inductivo,

7 Énfasis nuestro.

8 La letra en cursiva está en el original.

sino que también marca los elementos que fueron inferidos en el curso de la argumentación en que surgió el argumento, es decir, la aserción y la garantía.

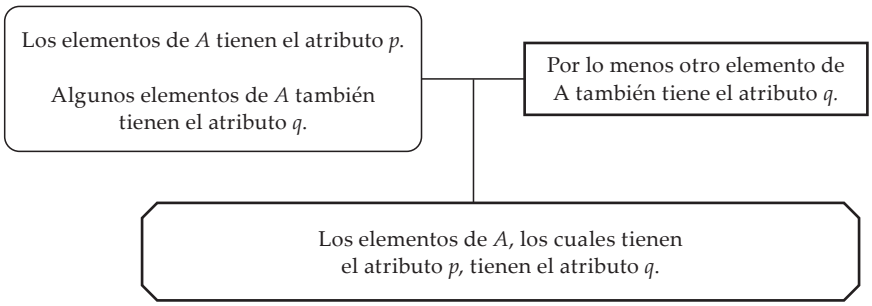


Figura 14.6. Esquema para argumento inductivo
Fuente: elaboración propia.

Para ejemplificar este tipo de argumento, veamos la siguiente situación. Supongamos que se tiene tres puntos no colineales *P, Q, R*, y se construyen las mediatrices de los segmentos *PQ* y *QR* siendo con *X* la intersección de tales mediatrices. A un grupo de estudiantes se les pregunta por la propiedad de *X* para diferentes posiciones de *Q*. Al exponer su solución, el grupo dice:

a. Establecimos que *X* hace parte de una recta que es la mediatriz del segmento *PR*.
b. Para ello, hicimos una exploración en la cual tomamos las medidas *XR* y X*P* y las estudiamos para varias posiciones del punto *Q*. Establecimos que para esas posiciones de *Q, XR = XP*. Con ello, pensamos que para toda posición de *Q, XR = XP*.
c. Si eso pasa, *X* hace parte de una recta que es la mediatriz del segmento *PR*.

En el fragmento anterior se identifican dos argumentos que sustentan la aserción expuesta en la línea a (*X* hace parte de una recta que es la mediatriz del segmento *PR*): uno inductivo, que se puede reconstruir con el fragmento b, y otro deductivo, que se puede reconstruir con la aserción del primer argumento y la línea c.

A continuación se presentan los elementos de los argumentos. El esquema del argumento inductivo se presenta en la figura 14.7; el del argumento deductivo, en la figura 14.8.

Argumento inductivo

Dato: Puntos *P*, *Q* y *R* no colineales, *m* mediatriz del segmento *PQ* y *n* mediatriz de segmento *QR*, *X* el punto de intersección de *m* y *n*.

Medidas *XR* y *XP*.

Varias posiciones de *Q*.

Para esas posiciones de *Q*, se tiene que *XR* = *XP*.

Aserción: Para todo *Q*, *XR* = *XP*.

Garantía, no explícita: *P*, *Q* y *R* no colineales, *m* mediatriz de segmento *PQ* y *n* mediatriz de segmento *QR*, *X* el punto de intersección de *m* y *n*, respectivamente, entonces *XR* = *XP*.

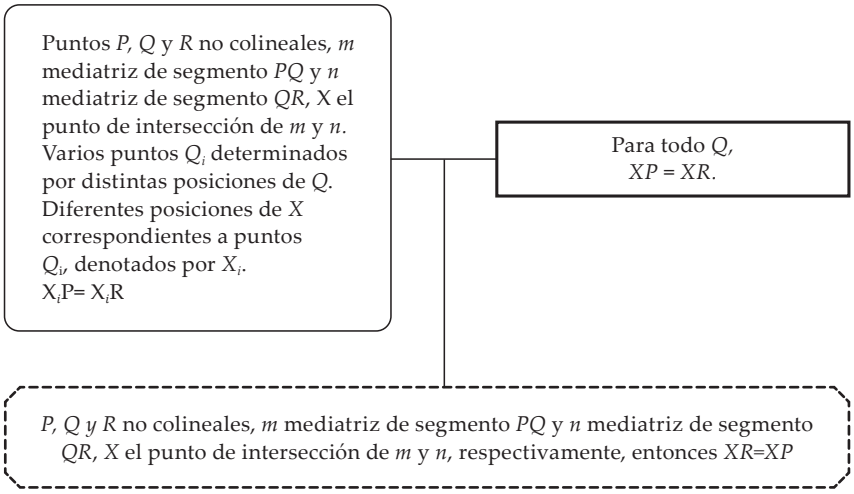


Figura 14.7. Esquema para argumento inductivo
Fuente: elaboración propia.

Argumento deductivo

Dato: Puntos *P*, *Q* y *R* no colineales, *m* mediatriz del segmento *PQ* y *n* mediatriz de segmento *QR*, *X* el punto de intersección de *m* y *n*.

Para todo *Q*, *XP* = *XR*.

Aserción: *X* pertenece la mediatriz del segmento *PR*.

Garantía, no explícita: *Definición de mediatriz*: Dados una recta y un segmento en el mismo plano, la recta es mediatriz del segmento en ese plano si y solo si todos sus puntos equidistan de los extremos del segmento.

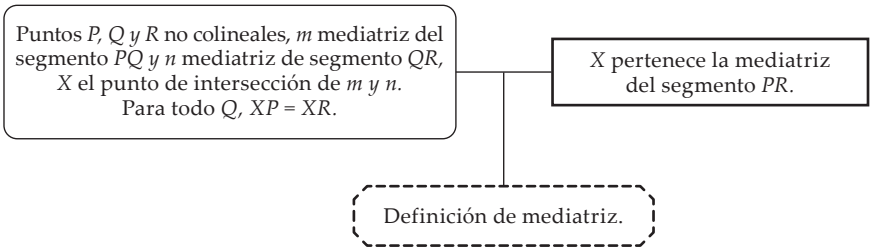


Figura 14.8. Esquema para argumento deductivo
Fuente: elaboración propia.

En lo que respecta a un *argumento abductivo*, el dato (o parte de este) que justifica una aserción que formula un hecho observado es el elemento inferido (durante la argumentación); la inferencia se basa en una garantía conocida o creada durante la argumentación. En cualquier argumentación abductiva, puesto que se cuenta con un hecho observado para el que se pueden proponer varias causas o varias condiciones de las que podría depender, el dato inferido es de naturaleza probable. Para ilustrar lo anterior, veamos el siguiente ejemplo: a un grupo de estudiantes se les plantea que como un hecho observado se cuenta que dos segmentos son congruentes. Se les pregunta de qué puede depender ello. Dos estudiantes responden:

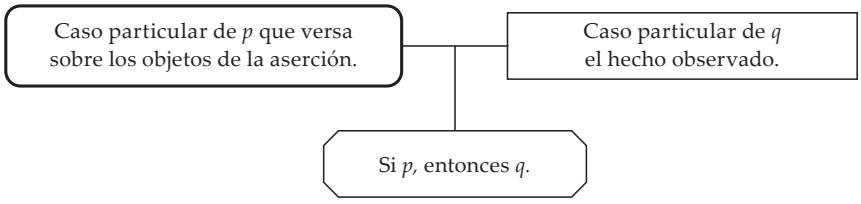
> **Estudiante A:** Puede depender de que los segmentos sean segmentos radiales de una misma circunferencia, porque sabemos que, en una circunferencia, si los segmentos son radios de tal circunferencia, entonces los segmentos son congruentes.
>
> **Estudiante B**: Los segmentos pueden ser cuerdas equidistantes del centro de una circunferencia dada. Es que creo que si dos segmentos son cuerdas de una circunferencia que equidistan del centro de la circunferencia, entonces los segmentos son congruentes.

Con este escenario, es posible considerar que cualquiera de las dos condiciones se podría inferir como dato que sustenta el hecho observado, pero cualquiera que sea la inferencia hecha no es posible tener total certidumbre de que efectivamente esa sea la condición para el caso particular que se está considerando.

Reconocemos dos clases de argumento abductivo, según cuál sea el origen de la garantía: teórico, si la evoca (conoce) quien argumenta, y creativo, si la produce quien argumenta. Para ilustrar las dos clases, consideremos los ejemplos anteriores:

1. *El estudiante A* infiere que quizá "los segmentos son radiales de una misma circunferencia" conoce y usa el enunciado "dada la circunferencia de centro, si los segmentos son radios de tal circunferencia, entonces los segmentos son congruentes", que sería la garantía evocada de la cual infiere el dato; en tal caso, la garantía sería teórica. De la respuesta reconocemos que él conoce tal enunciado, pues utiliza la expresión "sabemos" antes de decirla.
2. *El estudiante B* infiere con incertidumbre que "los segmentos podrían tener la misma distancia al centro de la circunferencia de la cual son cuerdas". Al usar la expresión "creo" tenemos evidencia razonable para pensar que el estudiante creó, en el curso de la argumentación, la garantía para sustentar el paso del dato inferido a la aserción; en tal caso, la garantía sería creativa.

La figura 14.9 presenta sendos esquemas según el tipo de argumento abductivo. Por su parte, la figura 14.10 expone el esquema para el argumento abductivo asumiendo la respuesta del estudiante A y el caso 1 descrito, y presenta asimismo lo correspondiente para el estudiante B y el caso 2.

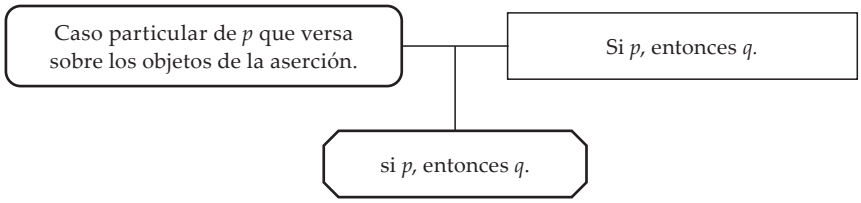


Aserción: Segmentos son congruentes.

Dato: Los segmentos son radios de una misma circunferencia.

Garantía evocada: Dada la circunferencia de centro *C* y radio *r*, si los segmentos son radios de tal circunferencia, entonces los segmentos son congruentes.

Figura 14.9. Esquema de argumento abductivo teórico
Fuente: elaboración propia.



Aserción: Segmentos son congruentes.

Dato: Los segmentos son cuerdas equidistantes del centro de una circunferencia dada.

Garantía creada: Si dos segmentos son cuerdas de una circunferencia de centro *C* que equidistan de *C*, entonces los segmentos son congruentes.

Figura 14.10. Esquema de argumento abductivo creativo
Fuente: elaboración propia.

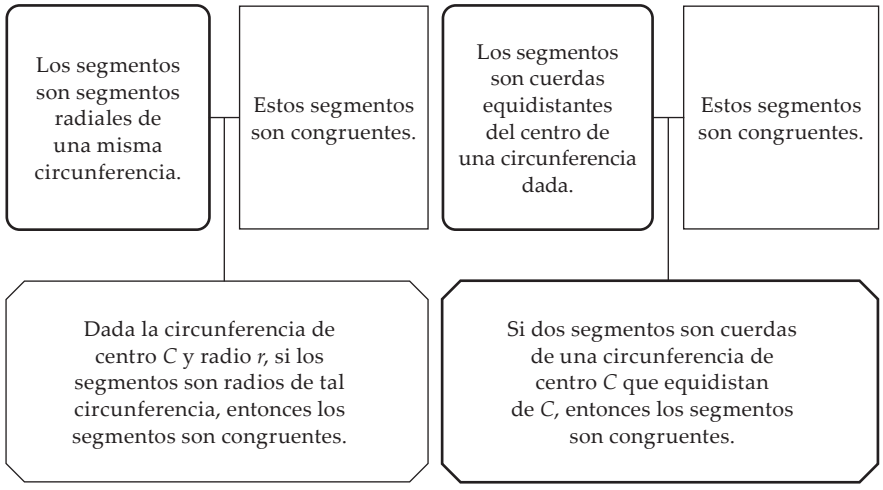


Figura 14.11. Esquema para ejemplo de argumento abductivo teórico y esquema para ejemplo de argumento abductivo creativo
Fuente: elaboración propia.

FORMACIÓN INICIAL DE PROFESORES SOBRE EL PROCESO DE ARGUMENTACIÓN

En los ejercicios académicos e investigativos del grupo AEG, además de la precisión ganada sobre argumento, argumentación y demostración, hemos formulado dos acercamientos que deberían considerarse para profesores de matemáticas, en formación o en ejercicio, con el fin contribuir a su formación matemática y didáctica sobre el proceso de argumentación. En esta sección nos referimos, en primer lugar, a una aproximación metodológica, fruto de una innovación curricular, a lo que denominados "actividad demostrativa" (en la que se articulan la argumentación y la demostración), con la que procuramos promover este trabajo en la formación inicial. En segundo lugar, describimos, *grosso modo*, un plan de formación para profesores en ejercicio, estructurado a partir de aspectos del conocimientos didáctico matemático del profesor, para apoyarlos en la tarea de impulsar en sus aulas ambientes de aprendizaje que contribuyan a hacer realidad las metas educativas sobre los procesos de argumentación y demostración.

PRIMER MOMENTO: APROXIMACIÓN METODOLÓGICA EN LA FORMACIÓN INICIAL

Distinguimos dos momentos durante la formación inicial de profesores que pretenden promover la argumentación en los estudiantes. Uno, en el que se pretende que ellos vivan una actividad matemática rica (resuelvan problemas, representen, exploren, conjeturen y demuestren), en la que el proceso de argumentación y la explicitación de argumentos es protagonista. Otro, en el que se pretende que se concienticen de esos procesos vividos y se estudien como objeto el proceso de argumentación y asuntos relacionados (*e. g.*, argumento, estructura de un argumento, tipos de argumento), y el diseño de tareas que promuevan la argumentación.

En relación con el primer momento, destacamos tres elementos sobre los que recae nuestro esfuerzo didáctico innovador para generar un entorno favorable para aprender a demostrar: tareas matemáticas, la interacción social en la clase y el uso de la geometría dinámica. Respecto al segundo momento, destacamos tres elementos también: tareas para reconocer concepciones de los estudiantes sobre argumento y argumentación producto de su experiencia académica

previa; tareas para promover conocimiento especializado sobre estos constructos; tareas para promover el diseño de tareas de argumentación. A continuación describimos cada uno de estos elementos.

Las tareas matemáticas que se proponen a los estudiantes

En los cursos de geometría de la formación inicial, asumimos como un eje principal el proceso de argumentación matemática. Por lo tanto, las tareas que se proponen a los estudiantes deben ofrecer oportunidades para involucrarse en tal proceso de manera significativa. Buscamos desplazar del currículo tareas del tipo "demuestre/justifique que…" por tareas que den lugar a una actividad en la cual se conjetura y se producen argumentos inductivos, abductivos y deductivos.

Las tareas para proponer a estudiantes son elemento central de la innovación y objeto de un cuidadoso diseño por parte del grupo de investigación. Específicamente, se procura que sean situaciones problema *interesantes*, para así poder estimular la actividad demostrativa; que los problemas sean *abiertos*, para así generar diversos puntos de vista y favorecer la argumentación, y también *pertinentes*, para así propiciar una experiencia sistemática de trabajo dentro de un sistema teórico en construcción. Estas tareas no se proponen esporádicamente ni tampoco con el propósito de complementar o aplicar lo que se hace en el curso; son, en cambio, parte central del medio didáctico usual que organiza el profesor para el aprendizaje de los estudiantes.

Para favorecer el proceso de argumentación, las situaciones problema propician la exploración empírica (con artefactos digitales), para comprender la situación, encontrar regularidades, formular conjeturas y producir sus justificaciones.

Consideramos que esta forma de gestionar el contenido es uno de los elementos de la innovación que desafían de manera más fuerte la tradición de la matemática escolar y universitaria, que propende hacia la presentación de los contenidos organizada en términos de relaciones establecidas desde el saber matemático y no desde el punto de vista de la construcción del conocimiento de los estudiantes. Ejemplos de tareas pueden ser consultados en Camargo, Samper, Perry, Molina y Echeverry (2009), Molina y Samper (2019) y Molina *et al.* (2021).

Interacción social en la clase

Formular una conjetura o proferir una idea de la que se está más o menos convencido no es suficiente para emprender el proceso de demostración. Por ello, la interacción social en el aula entre profesor y estudiantes y entre estudiantes es un factor imprescindible del aprender a producir argumentos. Esto porque es en la comunicación de ideas, en su análisis crítico, en la argumentación colectiva, donde surgen los elementos necesarios para construir argumentos inductivos, abductivos y deductivos y se comprende el papel que juegan dichos argumentos en la actividad matemática. El papel del profesor como guía de la interacción es fundamental, pues es él —como experto de la comunidad de la clase— quien puede dirigir el rumbo del proceso hacia el uso de términos, símbolos y formas de expresión propios de la práctica de la argumentación en matemáticas. A través de la interacción social, los estudiantes pueden cambiar la tradicional relación que tienen con el conocimiento, con su profesor y con sus compañeros. Con respecto al conocimiento, pueden llegar a comprender que más que conocer la estructura de un sistema teórico, tienen que vivir la experiencia de conformarlo en colaboración con los demás miembros de la comunidad. Con respecto al profesor, pueden dejar de considerarlo como la autoridad en la clase y la única persona que tiene el saber, y en cambio llegar a verlo como el miembro experto de la comunidad que guía el proceso. Con respecto a los otros estudiantes, pueden llegar a establecer un compromiso mutuo de trabajar en pro de la construcción de un sistema teórico.

Al iniciar el curso, el profesor hace explícitas las normas sociales y sociomatemáticas (Yackel y Cobb, 1996) relacionadas con la exigencia de justificar todas las ideas, escuchar la argumentación del otro y producir justificaciones de acuerdo con parámetros establecidos. También controla de manera sistemática el cumplimiento de tales normas. Gradualmente, a medida que avanza el desarrollo del curso, transfiere la responsabilidad a los estudiantes, quienes comienzan a sentirse cómodos produciendo argumentos y controlando el cumplimiento de las normas planteadas.

El papel de programas de geometría dinámica

El tercer elemento de la aproximación metodológica que busca promover la formación sobre el proceso de argumentación se enfoca en la importancia de los programas de geometría dinámica como herramientas de mediación en el proceso de aprender a producir argumentos. Siguiendo a muchos investigadores en el campo (*e. g.*, Arzarello, Olivero, Paola, y Robutti, 2002; Baccaglini-Frank y Mariotti, 2010; Arzarello, Bartolini-Bussi, Leung, Mariotti, y Stevenson, 2012), afirmamos que, si vinculamos las tareas de construcción geométrica con el proceso de argumentación, incrementamos la posibilidad de aprender a producir argumentos y desarrollar conciencia de la necesidad de promover explícitamente dicho proceso.

Hemos podido reconocer que el uso de programas de geometría dinámica puede mediar en varios asuntos que son de importancia fundamental en el proceso de argumentación (Camargo *et al*., 2009; Molina y Samper, 2019). Dado que los principios presentes en el diseño de estos programas se corresponden esencialmente con los postulados de la geometría euclidiana, por medio de ellos es posible establecer conjeturas sobre propiedades invariantes bajo el arrastre, con un alto grado de probabilidad de que ellas sean válidas en el sistema teórico en construcción. A continuación, puntualizamos seis usos que hacemos de programas de geometría dinámica: 1) entender que el cumplimiento de la tesis de un enunciado "si… entonces…" depende de todas las condiciones de la hipótesis; 2) propiciar la creatividad, a través de construcciones auxiliares, para elaborar argumentos que llevan a la demostración de teoremas; 3) crear situaciones que dan lugar a suficientes resultados para poder construir una porción del sistema teórico; 4) corroborar las conjeturas formuladas por otros; 5) entender el desarrollo lógico de una demostración; 6) descubrir relaciones geométricas entre las partes de figuras, que se podrían involucrar en la demostración.

SEGUNDO MOMENTO: ESPACIO DE REFLEXIÓN SOBRE LA EXPERIENCIA VIVIDA ALREDEDOR DEL PROCESO DE ARGUMENTACIÓN

En el segundo momento de la formación inicial pretendemos que los estudiantes se concienticen de la experiencia vivida sobre la argumentación y se estudie el proceso de argumentación, asuntos

relacionados (*e. g.*, argumento, estructura de un argumento, tipos de argumento) y el diseño de tareas que promuevan la argumentación. En la tabla 14.2 hacemos una síntesis de las tareas que se incluyen en este espacio de formación y sobre las cuales nos encontramos en un proceso de rediseño a partir de unas primeras implementaciones.

Tabla 14.2. *Descripción de tareas de formación profesional*

Reconocer concepciones	Los estudiantes utilizan su conocimiento sobre argumento, lo explicitan y reconocen lo que saben al respecto. Para ello se les pide solucionar en grupos pequeños un problema geométrico, y posteriormente analizar sus intervenciones durante la solución del problema enfocándose en los argumentos producidos.
Construir conocimiento especializado	Los estudiantes avanzan en su conceptualización relativa al argumento como objeto de estudio (*i. e.*, avanzar en vocabulario especializado). Para ello se les pide leer cuidadosamente textos específicos, en donde se encuentran los significados que proponemos, e interactuar con ellos respondiendo preguntas formuladas respecto a los textos, reconociendo y explicitando asuntos sobre los que se requiere hacer claridad, etc. Además, involucran su conocimiento informado (ya institucionalizado) sobre argumento y reflexionan sobre este con miras a ampliarlo, profundizarlo o cuestionarlo. Para ello se les pide analizar, en grupos pequeños, algunos fragmentos de interacciones comunicativas de dos estudiantes que resuelven un problema de conjeturación.
Promover el diseño de tareas de argumentación	Los estudiantes se sensibilizan sobre la importancia de formular cuidadosamente los enunciados de las tareas cuando se diseñan, dado que estos influyen notoriamente en la posible actividad matemática que se espera que ellos hagan. Adicionalmente, establecen criterios para la elaboración de enunciados de tareas que favorezcan la producción de argumentos no necesariamente deductivos.

Fuente: elaboración propia.

Ilustramos este segundo momento de la formación inicial con dos tareas que se exponen en la tabla 14.3, las cuales se corresponden con los dos últimos tipos de tareas.

Tabla 14.3. *Ejemplo de tareas para la formación profesional sobre argumento*

Tarea para promover el conocimiento especializado
Vamos a usar la siguiente definición de argumento: Argumento es una expresión discursiva escrita u oral regulada por normas compartidas, que expone una postura o una proposición y las razones (justificación) que sustentan, respectivamente, el acuerdo con la postura o el valor de verdad de la proposición. 1. Para cada una de las siguientes actividades, haz una especulación basada en los rasgos que caracterizan a un argumento, según la definición dada, con miras a determinar si el posible discurso podría ser un argumento. Es fundamental que expliques tus respuestas: a. Presentar una definición. b. Plantear una pregunta. c. Relatar una secuencia de hechos ocurridos en un intercambio en una clase. d. Hacer una demostración en clase de geometría. e. Usar la definición de cuadrado para determinar si un caso particular es cuadrado. 2. En la definición de argumento, se alude a una expresión discursiva "regulada por normas compartidas". En tu opinión, ¿a qué normas pueden estar refiriéndose? 3. Con base en la experiencia vivida en los espacios académicos Elementos de geometría y Geometría plana, ¿qué normas compartidas guían la producción de argumentos en la clase? ¿Hay algún cambio de reglas del primer curso al segundo? 4. En la definición se dice que un argumento expone una postura o una proposición y las razones (justificación) que sustentan el acuerdo con la postura o el valor de verdad de la proposición. Presenta dos ejemplos de argumento; uno que exponga una postura y su justificación, y otro que exponga una proposición y su justificación.
Tarea para promover el diseño de tareas de argumentación
Si un trapecio es isósceles, entonces las mediatrices de los lados paralelos coinciden. El enunciado anterior es un teorema de la geometría euclidiana, que te servirá de contexto geométrico para diseñar tres tareas para un curso de Geometría plana. Las tareas deben: i) propiciar el surgimiento de argumentos (es decir, resolver el problema debe ofrecer la posibilidad de argumentar) y ii) promover la explicitación de argumentos (es decir, cumplir las indicaciones dadas en las instrucciones de la tarea debe impulsar al resolutor a argumentar). 1. Diseña una tarea que i) incluya un problema que propicie principalmente el surgimiento de un argumento inductivo y ii) promueva la explicitación del argumento. 2. Diseña una tarea que i) incluya un problema que propicie principalmente el surgimiento de un argumento abductivo y ii) promueva la explicitación del argumento. 3. Diseña una tarea que i) incluya un problema que propicie principalmente el surgimiento de un argumento deductivo y ii) promueva la explicitación del argumento.

Fuente: elaboración propia.

FORMACIÓN CONTINUADA DE PROFESORES SOBRE LA ARGUMENTACIÓN

En el programa de maestría en el cual somos profesores, hemos involucrado a un grupo de estudiantes en un trabajo académico ligado al desarrollo de sus trabajos de grado, en el que buscamos promover un ejercicio reflexivo de caracterización y transformación de aspectos del conocimiento didáctico matemático del profesor sobre la argumentación. Buscamos apoyarlos en la tarea de impulsar en sus aulas ambientes de aprendizaje que contribuyan a hacer realidad las metas educativas sobre los procesos de argumentación y demostración. En lo que sigue, presentamos algunos elementos de ese proceso.

La estructura general del programa atiende a los requerimientos para programas de maestría en Colombia. Los estudiantes ingresan a un programa de dos años, tiempo en el cual asisten a espacios académicos de fundamentación conceptual e investigativa y desarrollan un trabajo de grado con la orientación de un director, profesor del programa.

Al comenzar el 2020, el grupo AEG asumió el liderazgo de la formación de los estudiantes que ingresaron a esa cohorte, con la intención de promover el conocimiento profesional mencionado. Los espacios de fundamentación conceptual se centraron en promover el desarrollo de conocimiento especializado sobre argumento y argumentación, principalmente en las facetas epistémica, mediacional e interaccional de la dimensión didáctica del modelo de conocimiento didáctico matemático sugerido por Pino-Fan y Godino (2015). Por ejemplo, en un espacio académico se propuso a los estudiantes resolver problemas abiertos de conjeturación (Molina y Samper, 2019) y, a partir del proceso de solución, se introdujeron elementos de la conceptualización de argumento y argumentación, tales como qué es un argumento, en qué momentos del proceso de resolución surgen los argumentos, qué tipos de argumento pueden surgir en las diferentes etapas del proceso, entre otros. En otro espacio académico se estudió el papel mediador de los programas de geometría dinámica en el impulso que se puede dar en clase a la formulación de argumentos. Particularmente, se estudió el proceso de exploración dinámica, que puede conducir tanto a argumentos inductivos como abductivos y deductivos, según la actividad se centre en descubrir

invariantes, identificar la "causa" de un cierto comportamiento al arrastre de los elementos de una construcción o establecer relaciones de dependencia entre propiedades. En un tercer espacio, se hizo un trabajo a profundidad sobre lo que era una tarea matemática de argumentación, los principios para el diseño de tareas de argumentación y algunos elementos constitutivos del diseño de una tarea.

Los espacios de formación investigativa se encaminaron a estudiar la estrategia de investigación-acción, cuya adaptación a los intereses de la cohorte fue considerada apropiada por el grupo AEG para promover ciclos de reflexión sobre el conocimiento puesto en juego alrededor de la práctica de diseñar tareas para favorecer la argumentación, con apoyo de programas de geometría dinámica. En estos espacios, además de profundizar en la estrategia, se apoyó a los estudiantes en la escritura de la problemática que abordarían en el desarrollo de los trabajos de grado (centrada en la búsqueda de una vía para transformar su conocimiento didáctico sobre el diseño de tareas de argumentación, medidas con tecnología digital), en la revisión de antecedentes y en la formulación de la estrategia investigativa.

Simultáneamente al proceso formativo, de la mano de un director, los estudiantes, trabajando en parejas, adelantaron varios ciclos de investigación-acción, en los que movilizaron planes de acción tendientes a propiciar una transformación de su conocimiento matemático didáctico. Estos planes buscaban que los estudiantes se involucraran en acciones que incidieran en su comunidad, bien de profesores de matemáticas de las instituciones donde trabajan o de compañeros del posgrado. Entre las acciones que implementaron están la preparación de conferencias para impartir en sus instituciones, seminarios de discusión con profesores, liderazgo de procesos formativos en la institución tendientes a modificar las prácticas de los profesores en el área de geometría, entre otras. Para organizar y liderar tales espacios, los estudiantes vieron la necesidad de profundizar en la fundamentación y avanzar para disponer de un conocimiento "referencial" con base en los estudios realizados, así como de tener un conocimiento "propio" con el cual proponer discursos y tareas sólidamente fundamentados.

REFERENCIAS

Anscombre, J. C. y Ducrot, O. (1994). *La argumentación en la lengua.* Gredos.

Arzarello, F., Bartolini-Bussi, M., Leung, A., Mariotti, M. y Stevenson, I. (2012). Experimental approaches to theoretical thinking: artefacts and proofs. En G. Hanna y M. de Villiers, *Proof and proving in mathematics education* (pp. 97-146). Springer.

Arzarello, F., Olivero, F., Paola, D. y Robutti, O. (2002). A cognitive analysis of dragging practises in Cabri environments. *ZDM, 34*(3), 66-72.

Baccaglini-Frank, A. y Mariotti, M. (2010). Generating conjectures in dynamic geometry: the maintaining dragging model. *International Journal of Computers for Mathematical Learning, 15,* 225-253.

Boero, P., Douek, N., Morselli, F. y Pedemonte, B. (2010). Argumentation and proof: a contribution to theoretical perspectives and their classroom implementation. En M. M. Pinto y T. F. Kawasaky (Eds.), *Proceedings of the 34th Conference of the International Group for the Psychology of Mathematics Education, 1* (pp. 179-204). PME.

Boero, P., Garuti, R., Lemut, E. y Mariotti, M. (1996). Challenging the traditional school approach to theorems: a hypothesis about the cognitive unity of theorems. En L. Meira y D. Carraher (Eds.), *Proceedings of the 19th PME International Conference, 2* (pp. 113-120). PME.

Camargo, L., Samper, C., Perry, P., Molina, O. y Echeverry, A. (2009). Use of dragging as organizer for conjecture validation. En M. Tzekaki, M. Kaldrimidou y H. Sakonidis (Eds.), *Proceedings of the 33rd Conference of the International Group for the Psychology of Mathematics Education, 2* (pp. 257-264). PME.

Cobb, P., Wood, T., Yackel, E. y McNeal, B. (1992). Characteristics of classroom mathematics traditions: an interactional analysis. *American Educational Research Journal, 29,* 573-604.

Conner, A., Singletary, L., Smith, R., Wagner, P. y Francisco, R. (2014). Identifying kinds of reasoning in collective argumentation. *Mathematical Thinking and Learning, 16*(3), 181-200. https://doi.org/10.1080/10986065.2014.921131

Durand-Guerrier, V., Boero, P., Douek, N., Epp, S. y Tanguay, D. (2012). Argumentation and proof in the mathematics classroom. En G. Hanna y M. de Villiers (Eds.), *Proof and proving in mathematics education* (pp. 349-368). Springer.

Duval, R. (1991). Structure du raisonnement deductif et apprentissage de la demonstration. *Educational Studies in Mathematics, 22*(3), 233-261.

Duval, R. (1999). *Algunas cuestiones relativas a la argumentación.* Lettre de la Preuve. http://www.lettredelapreuve.org/OldPreuve/Newsletter/991112Theme/991112ThemeES.html

Hanna, G. y de Villiers, M. (2012). *Proof and proving in mathematics education.* Springer.

Harel, G. y Sowder, L. (2007). Toward comprehensive perspectives on the learning and teaching of proof. En F. K. Lester (Ed.), *Second handbook of research on mathematics teaching and learning* (pp. 805-842). NCTM.

Hernández, H. y Parra, R. (2013). Problemas sobre la distinción entre razonamientos deductivos e inductivos y su enseñanza. *Innovación Educativa, 13*(63), 61-73.

Juthe, A. (2005). Argument by analogy. *Argumentation, 19,* 1-27. https://doi.org/DOI 10.1007/s10503-005-2314-9

Knipping, C. y Reid, D. (2015). Reconstructing argumentation structures: a perspective on proving processes in secondary mathematics classroom interactions. En A. Bikner-Ahsbahs, C. Knipping y N. Presmeg (Eds.), *Approaches to qualitative research in mathematics education. Examples of methodology and methods* (pp. 75-101). Dordrecht: Springer.

Knipping, C. y Reid, D. (2019). Argumentation analysis for early career researchers. En G. Kaiser y N. Presmeg (Eds.), Compendium for early career researchers in mathematics education. ICME-13 monographs (pp. 3-31). Springer.

Krummheuer, G. (1995). The ethnography of argumentation. En P. Cobb y H. Bauersfeld (Eds.), *The emergence of mathematical meaning: Interaction in classroom cultures* (pp. 229-269). Lawrence Erlbaum Associates.

Krummheuer, G. (2015). Methods for reconstructing processes of argumentation and participation in primary mathematics classroom interaction. En A. Bikner-Ahsbahs, C. Knipping y N. Presmeg (Eds.), *Approaches to qualitative research in mathematics education. Examples of methodology and methods* (pp. 51-74). Springer.

Mariotti, M. (2006). Proof and proving in mathematics education. En A. Gutiérrez y P. Boero (Eds.), *Handbook of research on the psychology of mathematics education. Past, present and future* (pp. 173-204). Sense Publishers.

Mariotti, M., Bartolini Bussi, M., Boero, P., Ferri, F. y Garuti, R. (1997). Approaching geometry theorems in contexts: from history andepistemology to cognition. En E. Pehkonen (Ed.), *Proceedings of the 21st Conference of the the International Group for the Psychology of Mathematics Education* (vol. 1, pp. 180-195). PME.

Molina, O. y Samper, C. (2019). Tipos de problemas que provocan la generación de argumentos inductivos, abductivos y deductivos. *Bolema: Boletim de Educação Matemática, 32*(62), 109-134.

Molina, Ó., Font, V. y Pino-Fan, L. (2021). Norms that regulate the theorem construction process in an inquiry classroom of 3d geometry: teacher's management to promote them. *Mathematics, 9*(18), 2296.

Molina, Ó., Luque, C. y Robayo, A. (2014). Producción de teoremas con estudiantes en extraedad: la justificación de una conjetura. *Tecné, Episteme y Didaxis, 35*, 39-61.

Molina, O., Pino-Fan, L. y Font, V. (2019). Estructura y dinámica de argumentos analógicos, abductivos y deductivos: un curso de geometría del espacio como contexto de reflexión. *Enseñanza de las Ciencias, 37*(1), 93-116. https://doi.org/https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.2484

Pedemonte, B. (2007). How can the relationship between argumentation and proof be analysed? *Educational Studies in Mathematics, 66,* 23-41. https://doi.org/https://doi.org/10.1007/s10649-006-9057-x

Perelman, C. y Olbrechts-Tyteca, L. (1989). *Tratado de la argumentación.* (J. Sevilla, trad.). Editorial Gredos.

Perry, P., Camargo, L., Samper, C. y Rojas, C. (2006). *Actividad demostrativa en la formación inicial del profesor de matemáticas.* Universidad Pedagógica Nacional.

Pino-Fan, L. y Godino, J. D. (2015). Perspectiva ampliada del conocimiento didáctico-matemático del profesor. *Paradigma, 36*(1), 87-109.

Reid, D. y Knipping, C. (2010). *Proof in mathematics education. Research, learning and teaching.* Sense Publishers.

Stylianides, A., Bieda, K. y Morselli, F. (2016). *Proof and argumentation in mathematics education research*. En A. Guitérrez, G. Leder y P. Boero (Eds.), *The second handbook of research on the psychology of mathematics education* (pp. 315-352). Sense Publishers.

Toulmin, S. (2007). *Los usos de la argumentación*. (M. Morrás y V. Pineda, trads.) Ediciones Península.

Yackel, E. (2001). Explanation, justification and argumentation in mathematics classrooms. En *Proceedings of the 25th Conference of the International Group for the Psychology of Mathematics Education* PME-25 (pp. 1-9). PME.

Yackel, E. (2002). What we can learn from analyzing the teacher's role in collective argumentation. *Journal of Mathematical Behavior, 21*(4), 423-440.

Yackel, E. y Cobb, P. (1996). Sociomathematical norms, argumentation, and autonomy in mathematics. *Journal for Research in Mathematics Education, 27*(4), 458-477.

Capítulo 15. Aspectos esenciales en la constitución de la identidad del profesor de matemáticas como oportunidades y retos para la formación

Edgar Alberto Guacaneme Suárez
Claudia Salazar Amaya
Universidad Pedagógica Nacional

INTRODUCCIÓN

En las dos últimas décadas, la Universidad Pedagógica Nacional (UPN) ha generado las condiciones para que cuatro profesores de planta del Departamento de Matemáticas cursemos estudios de doctorado en el marco de sendas comisiones de estudio. La formación académica producto de ello, aunada a la experiencia y conocimiento ganados por otro grupo de colegas profesores del Departamento, ha motivado la creación de un proyecto académico

que busca establecer las bases para nuevos programas de formación de profesores de matemáticas que respondan a las coetáneas demandas sociales. Dicho proyecto ha requerido, de manera conjunta, explicitar o construir ideas nucleares y discutirlas de manera crítica y profunda, así como establecer algunos acuerdos fundamentales e identificar planteamientos no necesariamente coincidentes.

Por otra parte, desde hace algunos años ha habido un creciente interés porque el Departamento de Matemáticas se vincule al Doctorado Interinstitucional en Educación - sede UPN (DIE-UPN). Como consecuencia de ello, actualmente está en estudio, para su aprobación, el énfasis en Educación Matemática del DIE-UPN, y desde hace dos años se oferta la línea de Educación Matemática en el marco del énfasis en Educación en Ciencias del DIE-UPN. Este vínculo ha encontrado en la *XVII Cátedra doctoral en educación y pedagogía. Educación en ciencias y matemáticas: contextos desafíos y oportunidades*, un escenario ideal para presentar y discutir, desde la perspectiva situada temporal e históricamente de los autores de esta conferencia, algunos productos parciales generados en dicho proyecto académico.

Plantearemos, entonces, algunas ideas en torno a aspectos esenciales respecto de la constitución de la identidad del profesor de matemáticas como oportunidades y retos para la formación. Precisamos de antemano que estas ideas y el lenguaje implicado han venido constituyéndose como parte integral de nuestro discurso y condición como formadores de profesores de matemáticas, a tal punto que no reconocemos con precisión su carácter inédito o su fuente específica, ni somos totalmente conscientes del nivel de desarrollo o novedad que adquieren en la comunidad de formadores de profesores. Claramente sí estamos convencidos de la potencialidad que revisten para proyectar las acciones institucionales y personales deseables para un futuro posible.

Para presentar las ideas hemos creído conveniente emplear, como esquema base, un modelo analítico para la identidad del profesor de matemáticas, que además de destacar tres dimensiones que configuran dicha identidad (ser, hacer, saber), encuentra en estas y en sus interacciones e interrelaciones el conjunto de escenarios que condicionan de manera importante la formación de profesores de matemáticas. Cuando sea oportuno, a través de algunos aspectos de nuestras tesis doctorales (Guacaneme-Suárez,

2016; Salazar-Amaya, 2021a) o de nuestros proyectos académicos e investigativos, profundizaremos en asuntos específicos y quizá fragmentarios del modelo en cuestión.

UN MODELO PARA LA IDENTIDAD DEL PROFESOR DE MATEMÁTICAS

La identidad del profesor de matemáticas debe ser entendida en su acepción básica, como el conjunto de rasgos propios de un individuo o de una colectividad que los caracterizan frente a los demás. No debe ser entendida en otra de sus acepciones (*i. e.*, cualidad de idéntico), por cuanto consideramos que ningún sujeto puede (ni debe) ser igual a otro, ni propendemos por una homogenización de los profesores de matemáticas. Así las cosas, la identidad del profesor de matemáticas se refiere a la condición de "ser profesor de matemáticas", es decir, a los rasgos que le son propios en su calidad de profesional de la educación *en y a través de* las matemáticas y que lo diferencian de otros profesionales.

Pensar la identidad profesional del profesor de matemáticas desde la acepción considerada conlleva necesariamente a formular un listado de rasgos que naturalmente aluden a la condición profesional del *profesor*, es decir de todo profesor, y a la condición específica del *profesor de matemáticas*, determinada en relación con la actividad y conocimiento que llamamos "matemáticas". Tal formulación ha resultado en un listado vasto y complejo, condición que amerita ser tratada de manera analítica y holística. Esta consideración sobre el tratamiento analítico y holístico de la vastedad y complejidad quizá obedece a las limitaciones de nuestros esquemas de pensamiento, condicionados por nuestra formación matemática, aunque también puede deberse a nuestro convencimiento de que si bien existe la complejidad como carácter consustancialmente humano, las visiones analíticas/holísticas de las matemáticas son una vía metodológica excepcionalmente potente y transitable para su apropiación o comprensión racional.

Atendiendo a lo anterior, hemos considerado la creación/adopción de un modelo analítico de la identidad del profesor de matemáticas que, en su esencia, contempla tres dimensiones fundamentales: el ser del profesor de matemáticas, el hacer del profesor de matemáticas y el saber del profesor de matemáticas; en adelante,

ocasionalmente las referiremos sencillamente como ser, hacer y saber. La atención a las interacciones e interrelaciones entre estas tres dimensiones (bien sea una a una, bien sea en conjunto) le asigna al modelo un carácter holístico que lo complementa densamente. Asimismo, reconocemos que estas dimensiones y sus interacciones e interrelaciones no pueden ser pensadas en el vacío, pues los procesos de configuración de identidades y subjetividades se dan en diversos contextos y en multiplicidad de situaciones en las que el profesor se encuentra consigo mismo, con los otros, con la comunidad de la que hace parte y con los profesionales de un campo en el que se inscribe su acción y desarrollo profesional.

El modelo en cuestión nos ha resultado extremadamente útil en varias direcciones. Una de ellas es la posibilidad de reconocer las fortalezas y limitaciones de nuestros conocimientos y experiencias profesionales y formativas en relación con todos y cada uno de los componentes del modelo. Asimismo, nos ha brindado un escenario tanto para ubicar los resultados de la investigación en el campo de la formación de profesores de matemáticas como para reconocer las particularidades históricas de las acciones formativas de profesores de matemáticas y precisar las visiones críticas sobre estas. Con base en estas visiones, hemos perfilado la caracterización de cada uno de los componentes (dimensiones e interacciones/interrelaciones) y decantado las proyecciones en las que se reconocen los retos y oportunidades.

Antes de presentar aspectos de la comprensión lograda sobre los componentes del modelo, hemos creído conveniente precisar que prevemos un peligro en la posible adopción del modelo analítico como derrotero u orientador curricular que probablemente disgregue o atomice los elementos de la formación del profesor de matemáticas en un currículo de los programas de formación. Así, no es nuestra intención presentar un modelo que privilegie las tres dimensiones en cuestión y que de ello se colija que en un plan de estudios deban existir sendos conjuntos de cursos que propendan respectivamente por la configuración del ser, hacer y saber del profesor de matemáticas.

EL SER DEL PROFESOR DE MATEMÁTICAS

Una primera precisión que nos sentimos obligados a hacer en relación con esta dimensión se refiere a su estatus como componente constitutivo de la identidad del profesor de matemáticas y, por tanto,

su diferencia con esta; la precisión obedece a la posible confusión que se da entre las expresiones "ser profesor de matemáticas", que alude a la identidad, y "el ser del profesor de matemáticas" con la que se denota esta dimensión del modelo. También debemos precisar que, desde nuestra óptica, el ser del profesor de matemáticas no se corresponde exactamente con lo que en la órbita de la investigación en educación matemática se ha denominado "dominio afectivo". En efecto, desde hace aproximadamente tres décadas, bajo esa expresión se ha pretendido agrupar muchos de los aspectos humanos que no se dejan capturar en categorías asociadas a la racionalidad o, más precisamente, a la cognición; a esta óptica contribuyó de manera seminal un capítulo escrito por Douglas B. McLeod (1992), en el que se le asigna un lugar específico a las emociones, actitudes y creencias como ámbitos del dominio afectivo. Nosotros preferimos distanciarnos de tal denominación, por cuanto en español lo afectivo se refiere específicamente al afecto o a la sensibilidad y, en este sentido, deja de lado otros ámbitos que a nuestro parecer se deben incluir en la dimensión del ser, y porque en el modelo las creencias son más cercanas a la dimensión del saber que a la del ser, pues las consideramos una forma de conocimiento. So pena de parecer reduccionistas, admitimos que la dimensión del ser del profesor de matemáticas se corresponde prioritariamente con algunos rasgos de la *subjetividad* del profesor de matemáticas, sin exclusión de la intersubjetividad con la que recíprocamente se determina. Precisamente, tal subjetividad se expresa a través de diversos ámbitos no necesariamente disyuntos o, si se prefiere, una amalgama o mezcla de estos, tales como emocional, actitudinal, axiológico o sociopolítico. A continuación abordamos brevemente una aproximación a cada uno de los cuatro ámbitos.

El ámbito de las emociones (también nombrado conciencia, inteligencia o conocimiento emocional) alude a distintos aspectos, que pueden ser diferentes dependiendo de la postura conceptual que se asuma. Así, desde algunas de dichas posturas interesa distinguir entre la inteligencia emocional intrapersonal y la interpersonal. En el primer tipo de estas inteligencias se destaca la comprensión que el sujeto tiene de sí mismo y la apreciación de sus sentimientos, temores y motivaciones; en el segundo tipo, por su parte, se alude a la comprensión que el sujeto logra de las motivaciones, intenciones y deseos de los otros. En ambos tipos, además del nivel de conciencia o comprensión, se incorpora el control que el sujeto tiene de estas

motivaciones y de las acciones que de ello se derivan. Desde otras posturas, el aspecto emocional incluye el reconocimiento de sí y de los otros como individuos sensibles, la indudable condición de fragilidad que es consustancial a la condición y actividad humana y, por ello, la necesidad del amor compasivo y del vínculo con los otros; además de lo anterior, se incluye, para el individuo y para los otros que participan del quehacer educativo, la identificación, nominación y valoración de sentimientos y emociones, el discernimiento acerca de sus detonantes, el establecimiento de qué acciones docentes y discentes se generan con base en sentimientos y emociones, y las estrategias para regular la intensidad con la que se experimentan tales sentimientos y emociones. Desde otra óptica, lo emocional se refiere a la capacidad de automotivarse, perseverar a pesar de las frustraciones, controlar los impulsos, regular los estados de ánimo, evitar la angustia y sus consecuencias, y empatizar y confiar en los demás.

En relación con el ámbito actitudinal como parte del ser, inicialmente hemos construido una amplia lista de rasgos humanos que son deseables y hasta necesarios para el profesor de matemáticas. Tal lista destaca actitudes como: empatía, bonhomía, tolerancia, prudencia, asertividad, resiliencia, calidez, equidad, creatividad, conciencia y control de sí mismo, lealtad, solidaridad, altruismo, cooperación, generosidad, humildad, conciliación y constancia o perseverancia. Adicionalmente, hemos advertido que la literatura especializada en el campo de la educación matemática destaca la necesidad de disponer de actitudes favorables o positivas hacia las matemáticas mismas, los estudiantes y su aprendizaje, la actividad docente y el trabajo de/con los colegas, entre otras, sin desconocer y adjudicar un lugar a las actitudes, por parte del docente, hacia sí mismo, su conocimiento y sus acciones profesionales. También hemos considerado importante atender al lenguaje corporal (estudiado a través de los conceptos cuerpo, corporalidad y corporeidad) como manifestación sustancial de actitudes que constituyen al profesor de matemáticas. Ahora bien, hemos identificado que algunos elementos del listado de rasgos humanos reportados anteriormente probablemente quedarían mejor ubicados y entendidos como valores morales, más que como actitudes, lo cual nos ha llevado a reconocer un fuerte vínculo entre lo actitudinal y lo axiológico, más que a conducirnos a intentar una división de los rasgos.

Respecto al ámbito axiológico, hemos podido precisar que la sociedad exige a los profesores ser un dechado de virtudes y que estas se correspondan con un sólido sistema de valores, en razón a que ellos son un componente fundamental y una referencia inmediata de los procesos educativos. También hemos reconocido que algunos de los valores constitutivos de tal sistema imponen a los profesores de matemáticas retos singulares; tal es el caso de la humildad y la cooperación/solidaridad, entre otros. La sociedad, de manera más o menos consciente e intencionada, les ha adjudicado tradicionalmente un valor excepcional a aquellos que logran aprender matemáticas con suficiencia, y los profesores de matemáticas hacen parte de tal grupo. Muchos de ellos logran ser convencidos de tener un cierto talento que los hace superiores a los demás, valoración que poco ayuda a configurar la humildad como valor personal. Por otra parte, las experiencias de hacer matemáticas, que habitualmente los profesores de matemáticas vivencian como parte de su formación, enfatizan el trabajo individual más que el trabajo colectivo o cooperativo, razón por la cual para muchos profesores de matemáticas trabajar con otros y para otros constituye una tarea difícil de realizar. Igualmente, hemos identificado que este sistema de valores no solo atiende a aspectos morales o comportamentales, sino que también alude a la apropiación y expresión de ideales relacionados con las matemáticas y la actividad matemática, así como con la educación y la actividad educativa. Así, por ejemplo, es deseable que el profesor de matemáticas pondere la valoración que hace tanto de la actividad matemática, referida a la elaboración y estudio de las teorías matemáticas, como de la actividad matemática de solución de problemas no matemáticos por medio de las matemáticas; tanto del uso de las estrategias hipotético-deductivas como de la intuición matemática; tanto de la simplicidad y capacidad de síntesis de un procedimiento o proceso matemático como de la complejidad que acompaña la acción creadora de este; tanto de la abstracción y generalidad conseguida a partir de casos particulares como del tratamiento específico de cada uno de estos; tanto del pensamiento formal (es decir, del pensamiento al margen de los significados) como del pensamiento anclado en lo semántico; tanto de las estrategias que condujeron a resultados exitosos como de aquellas que llevaron al aparente fracaso, entre otras.

En cuanto al ámbito sociopolítico, hemos logrado precisar que el profesor de matemáticas debe desarrollar suficiente conciencia de la naturaleza social y política de la actividad educativa comprometida en su quehacer docente, la cual no se reduce a la enseñanza de las matemáticas escolares, pero está implicada en y a través de esta. Debe ser consciente del carácter social y político de su ser y existencia profesional, de su ontología intersubjetiva, así como de que la enseñanza, en general, y la enseñanza de las matemáticas, en particular, no son social ni políticamente neutras. Asimismo, debe ser consciente de que el profesor de matemáticas se concibe hoy como profesional de la educación matemática, lo que lo define como parte de la comunidad académica de educadores profesionales e intelectuales de la educación y, simultáneamente, lo ubica como sujeto social de la comunidad académica del campo de la educación matemática. Ello no obsta para que también se considere un actor fundamental de la comunidad matemática que, si bien no produce conocimiento matemático de punta, sí cumple un papel fundamental para mantener el legado matemático y a la vez promover la creación matemática. En suma, hoy en día el profesor de matemáticas es un sujeto partícipe constitutivo de comunidades académicas, identidad bastante lejana a la otrora pertenencia a un colectivo que desempeñaba el oficio de enseñar matemáticas; en este sentido, se ubica al profesor de matemáticas ya no solo en el plano de la subjetividad, sino que trasciende al plano de la intersubjetividad como condición consustancial al acto educativo y su naturaleza social y política, que va más allá del aula.

Al haber precisado de manera somera los ámbitos del ser del profesor de matemáticas, hemos desvelado no solo nuestra visión de esta dimensión, sino que también hemos establecido algunas bases para reivindicarla como una dimensión fundamental en la constitución de la identidad del profesor de matemáticas. El carácter fundamental de esta dimensión se revelará de manera importante en la medida en que se reconozca la trascendencia que tienen los ámbitos emocional, actitudinal, axiológico y sociopolítico en el desempeño profesional del profesor de matemáticas. No obstante, nos vemos alentados a señalar la existencia de un cierto prejuicio que, a la vez que subestima el lugar de esta dimensión en la constitución de la identidad profesional, cuestiona la responsabilidad que los programas de formación de profesores de matemáticas tienen sobre esta. Quizá por

esto mismo asumir el ser del profesor como una dimensión central constituye no solo una novedad, sino sobre todo un reto mayor para la formación de profesores de matemáticas.

Declarar que ocuparse de la configuración del ser del profesor de matemáticas constituye una novedad se justifica en la medida en que reconocemos que tal dimensión no ha sido atendida (o al menos no suficientemente) en los programas de formación de profesores de matemáticas, pues en el mejor de los casos se ha asumido como un elemento formativo transversal que se reconfigura de manera colateral en la actividad discente, o con el que el futuro profesor viene dotado y que moldea un poco a través de algunas de sus vivencias. Creemos que, en general, no ha habido un trabajo sistemático en torno al manejo de las emociones que los profesores experimentan y, más específicamente, los profesores de matemáticas. No ha habido un trabajo intencionado en torno al empoderamiento, en su justa proporción, del profesor de matemáticas, asunto que tiene que ver con el ámbito axiológico, ni un trabajo en términos de la disposición del profesor, de su actitud (incluso corporal) en la relación con los otros, ni tampoco procesos de formación que se cuestionen y se comprometan con las rupturas necesarias para la configuración de los profesores de matemáticas como sujetos políticos. Frente a esto último, estamos convencidos de que es necesario asumir el compromiso con la construcción de un profesor de matemáticas que se posicione ante el mundo y que se identifique con una apuesta o proyecto político en el mundo y para este; sin ello, cualquier intención de promover una educación que atienda a fines humanistas (como construir paz, ciudadanía, sustentabilidad, etc.) termina siendo una utopía o un engaño social.

Ligado al reto de aceptar la responsabilidad de los programas de formación de profesores de matemáticas sobre la constitución de la identidad, hay otro de carácter un tanto más pragmático, que se refiere a las estrategias que podrían llegar a emplearse para que, durante el tránsito por el programa, el futuro profesor de matemáticas o el profesor en ejercicio vaya reconfigurando los diferentes ámbitos del ser y, dialógicamente con ello, participe de la constitución de las dimensiones hacer y ser. Este puede llegar a constituirse como un reto supremo, frente al cual tenemos claro que la solución no se corresponde con exactitud con la que frecuentemente se aborda este tipo de problema, es decir, incluir en los planes de estudio unos

cursos que de manera directa apunten a la temática en cuestión, por ejemplo, un curso titulado "Carácter político de la acción educativa en matemáticas", pues con ello no se configura el sujeto político. Con este tipo de soluciones se "curricularíza" el problema, es decir se fragmenta, a la vez que su posible solución.

EL HACER DEL PROFESOR DE MATEMÁTICAS

El hacer del profesor de matemáticas se refiere a la actividad y a las acciones que realiza en el marco de su desempeño profesional, que han sido determinadas a través de la observación directa del quehacer cotidiano de los profesores y que, naturalmente, han sido objeto de estudio por parte de los investigadores en los campos de la educación matemática y la formación de profesores de matemáticas. Como resultado de esto, los formadores de profesores hemos llegado a ser conscientes de la amplitud y diversidad de los elementos involucrados, identificando así tanto la necesidad de construir esquemas de organización como la complejidad implicada en los procesos formativos que pretendan atender la demanda de tal variedad de acciones docentes. Una manera efectiva que permite organizar el hacer del profesor es establecer los ámbitos de acción docente y esquematizarlos con un conjunto de esferas anidadas. Sabemos que el hacer del profesor depende mucho del ámbito o del contexto del hacer mismo, y hemos podido establecer cuatro ámbitos o cuatro esferas fundamentales.

Comencemos con la segunda esfera, que es en la que usualmente hemos centrado el hacer del profesor, y que corresponde a la esfera del aula de clase. En esta, las acciones docentes están muy ligadas a las interacciones con el conocimiento matemático y los estudiantes. En los programas de formación profesional inicial de profesores de matemáticas (conocidos en nuestro país como "licenciaturas en matemáticas") nos hemos preocupado prioritariamente por formar al profesor para que se desempeñe de manera idónea en ese ámbito y hemos dirigido la atención fundamentalmente a ello, a tal punto que se ha llegado a considerar que el hacer del profesor es enseñar en un aula de clase.

No dudamos que bajo esa óptica los programas de formación han desarrollado, si bien no todas, muchas de sus iniciativas. Reconocemos, por ejemplo, que en los planes de estudio se han ubicado

cursos a través de los cuales se ha pretendido que los estudiantes construyan el conocimiento multidisciplinar necesario para encarar la enseñanza de las matemáticas o para orientar los procesos de aprendizaje de los estudiantes. También, en tales planes se incluyen espacios académicos en los que se ejecutan ejercicios de práctica docente en el aula, los cuales se convierten en objeto de estudio y reflexión, propendiendo así por la constitución de un conocimiento y competencias de orden/origen práctico. Estas y otras iniciativas para la formación se han convertido en objeto de estudio y crítica de las investigaciones en el campo de la formación de profesores de matemáticas, con lo cual se ha llegado a disponer de un amplio acervo con base en el cual se llevan a cabo (o idealmente deberían llevarse a cabo) los ejercicios de reformulación, consolidación, innovación, experimentación, etc., de propuestas formativas para atender las necesidades de la actividad docente en el aula.

Si bien consideramos que la actividad docente en el aula hace parte del quehacer docente, advertimos que esta trasciende hacia afuera del aula, en particular hacia una tercera esfera que es la institución educativa y, de manera más general, la comunidad que configura su entorno. En esa esfera, el profesor tiene que desempeñarse por fuera de la clase. Dicho desempeño incluye la interacción con los otros colegas, con padres de familia y con la institución misma en términos de participación en los estamentos del gobierno escolar, equipos de definición de planes de estudio o de currículo, comités de evaluación, etcétera. Somos conscientes y hemos acopiado evidencias de que en esta esfera el quehacer docente llega incluso a tener implicaciones que trascienden las fronteras de la institución educativa y que adquieren incidencia en aspectos como la construcción de paz territorial o en la interpretación y comprensión de las relaciones sociales vinculadas a la dimensión espacial o territorial. Esta es una óptica sobre algunas de las acciones que desarrolla el profesor, en cuanto profesor de matemáticas, en una institución educativa, que trascienden el aula de clase y que, sin duda alguna, hacen parte de su hacer profesional, lo cual implica que requiere ser formado en ello y para ello.

Quizá no lo hemos formado para eso; quizá, en los programas de formación de profesores de matemáticas no hemos generado acciones intencionadas para que se pueda desempeñar idóneamente en tales acciones. Quizá por ello muchos profesores de matemáticas

se marginan de estas (y en consecuencia de la institución educativa y de la comunidad misma) y no se reconocen como profesionales de la educación competentes para tener una discusión sobre, por ejemplo, una evaluación de los estudiantes que trascienda la evaluación del conocimiento matemático, los asuntos de comportamiento de los estudiantes y profesores, el sentido de la escuela en relación con el ámbito de la sociedad en la que se instaura la institución educativa o los problemas contextuales de la comunidad y la manera en que la escuela puede participar en su comprensión. Si nuestra percepción es correcta, nos encontramos frente al reto/oportunidad de generar estrategias para formar profesores de matemáticas que desempeñen de manera profesionalmente idónea las acciones requeridas en esta tercera esfera y que, en consecuencia, comprometan su profesión, en cuanto profesores de matemáticas, más allá de los límites que impone el aula de clase.

La cuarta esfera corresponde a las acciones profesionales del profesor de matemáticas desarrolladas en el marco de la comunidad de práctica y de las comunidades académicas. Sin lugar a duda, el carácter profesional reviste tanto una pertenencia gremial como interacciones en el marco de lo que hoy se conoce como "comunidad de práctica". Así, tal carácter involucra el ejercicio de una conciencia política y de un carácter socio-gremial; sin esta y este, el profesor de matemáticas seguramente se aísla o margina de los sindicatos y de otro tipo de movimientos gremiales y académicos en los que es deseable su presencia y participación.[1] Igualmente, hoy es deseable que el profesor de matemáticas se empodere como parte de al menos una comunidad de práctica (la comunidad de profesores de matemáticas) que esté relacionada con diversas comunidades académicas con las que podría y debería tener una interacción profesional (*v. g.*, la comunidad de matemáticos, la comunidad de investigadores en educación matemática, la comunidad de pedagogos, la comunidad de psicólogos). La pertenencia efectiva (y no solo nominal) a la comunidad de práctica implica, en términos de lo académico, acciones tales como: participar en eventos académicos de dichas comunidades; estudiar —con otro(s) profesor(es) de matemáticas y de otras disciplinas y otros lugares geográficos— los resultados de

1 Al respecto vale la pena rememorar, con un cierto halo de nostalgia, la existencia del "Anillo de matemáticas", grupo de estudio e investigación en educación matemática, instaurado en el seno de la Asociación Distrital de Educadores en torno a 1990.

investigación que las comunidades académicas divulgan; escuchar a otros integrantes de esa comunidad e interactuar académicamente con ellos; vincularse a equipos de investigación para participar en proyectos e indagaciones que comprometen aspectos de su actividad docente, entre otras.

Es probable que estas acciones no hagan parte integral del hacer habitual del profesor de matemáticas pero que sí se ejecuten durante el lapso en el que el profesor se vincula a programas de formación continuada o de formación avanzada, y que luego se limite su ejecución y, por tanto, su posicionamiento o empoderamiento en estas comunidades. Una somera mirada a los programas de formación profesional inicial de profesores de matemáticas revela que no han existido muchas acciones que se vinculen de manera coherente e intencional a estrategias formativas para que los egresados se desempeñen idóneamente en las comunidades de práctica y para que logren efectivas interacciones con las comunidades académicas.

Otro de los retos es entonces formar al profesor de matemáticas para que pueda pertenecer activa y permanentemente a las asociaciones gremiales, así como a la comunidad de práctica, y logre establecer fuertes vínculos con las comunidades académicas.

Presentamos ahora la primera esfera, en la que se ubican las acciones del profesor con él mismo o sobre sí mismo, que es quizá la más compleja de las esferas de acción docente. Allí se ubican las acciones del profesor reconociéndose a sí mismo, estudiándose a sí mismo o reflexionando sobre lo que es, hace y sabe (o sobre lo que no es, no hace y no sabe). En esta esfera se ubican la introspección y la reflexión como formas del hacer profesional. A través de estas y otras acciones, el profesor reconoce que pensarse, examinarse, evaluarse, aprender de sí mismo, proyectarse, transformarse, etc., son un hacer. Reconoce así, en el marco del hacer, el poder de sus acciones, las implicaciones que tienen sobre los otros y lo otro, la capacidad de imputación sobre sus propias acciones, sus detonantes e intenciones (sean tácitas o explícitas), entre otros asuntos. Potencialmente, para el marco del saber y del ser se logra una conciencia semejante sobre aspectos similares. La mirada que hemos logrado a través de nuestro ejercicio profesional como formadores de profesores e investigadores en el campo de la formación de profesores de matemáticas nos conmina a afirmar que las acciones formativas que propenden por

la formación del yo, del yo profesor de matemáticas, son exiguas o al menos muy limitadas. Ello puede deberse al interés que existe en que el profesor conozca aquello que lo rodea y le es pertinente para el ejercicio de su profesión docente, dejando un tanto de lado la necesidad de conocimiento y comprensión de sí mismo. Si nuestra mirada es acertada y condensa una perspectiva de la realidad en la formación de profesores de matemáticas, nos encontramos frente al reto/oportunidad de generar estrategias formativas en los programas de formación que reivindiquen y posicionen, en su justa medida, acciones profesionales docentes como la introspección y la reflexión.

Una de tales estrategias, que a través de la investigación se ha mostrado con una potencialidad considerable, se relaciona con las narrativas autobiográficas (Salazar-Amaya, 2021a; 2021b). En esta estrategia de investigación narrativa se propone a los profesores un autoestudio desde el enfoque biográfico-narrativo de corte hermenéutico. En las narrativas y el proceso de triple mímesis (desarrollado en la preconfiguración, configuración y reconfiguración de la trama narrativa) se reconoce una oportunidad para la reflexión genuina del profesor. La posibilidad de moverse no solo en el tiempo de la historia, sino en el tiempo de las fases de la triple mímesis, permite al profesor entrar en modo subjuntivo. Además, favorece una mirada retrospectiva crítica sobre su quehacer docente y una mirada prospectiva para transformar sus prácticas profesionales a partir de sus propias fortalezas, debilidades y atributos como protagonista de esa historia. La triple mímesis permite a los profesores reflexionar sobre lo obviado en la inmediatez de la experiencia y alienta el extrañamiento y la sorpresa sobre sí mismos. Habría que decir también que el juego del triple presente característico de la narración autobiográfica (pasado-presente, presente-presente y presente-futuro) permite a los profesores la identificación de su manera cambiante de ser, estar y posicionarse en su práctica profesional, lo que finalmente contribuye a tener conciencia de la constitución de su subjetividad. Por último, podemos decir que la narrativa proporciona una oportunidad de vínculo entre su yo y los demás en el mundo social.

Esta estrategia se apoya en una forma de pensar la formación humana que se denomina el "modo de pensar narrativo", desde el cual se asigna un lugar destacado a la palabra en relación con el pensamiento, la acción y el sentimiento humanos. Desde este nuevo y complejo paradigma se reconoce el valor del discurso sobre sí mismo

en los procesos de "refiguración" del yo del profesor, se advierte sobre la sensibilidad que habilita la narración hacia los otros y se plantea la posibilidad de acceso a otras historias, construidas con las voces de profesores, que permiten comprender los procesos de enculturación/alfabetización matemática en los que se participa. Este modo de pensar permite la exaltación de la experiencia estudiantil y profesional del profesor en formación como detonante para los procesos de configuración de su identidad.

Para finalizar este apartado debemos precisar que esta mirada de ámbitos o esferas de acción docente pretende asignar el lugar que corresponde al hacer del profesor de matemáticas, no limitándolo al hacer en el aula y ampliando, así, la conceptualización del hacer como dimensión profesional.

EL SABER DEL PROFESOR DE MATEMÁTICAS

La discusión en relación con el saber, y específicamente sobre qué debe saber el profesor de matemáticas, se ha dado durante mucho tiempo y desde muy diversas posturas. Una perspectiva de investigación ha discutido fundamentalmente el lugar de las disciplinas. Así, se ha indagado en torno a qué matemáticas, qué didáctica, qué pedagogía o qué psicología debe saber el profesor. También se ha intentado develar el lugar de "discursos" metamatemáticos, como la historia de las matemáticas (Guacaneme-Suárez, 2016; Bello-Chávez, 2021) o la filosofía de las matemáticas, en el saber de un profesor de matemáticas (Morales, 2016). Más recientemente, se ha incorporado a la discusión la pregunta sobre si el profesor debe tener un conocimiento de los saberes matemáticos artesanales de las comunidades y sobre cómo estos se incorporan a su propio saber profesional. Más adelante desarrollaremos las anteriores ideas a través de algunos ejemplos.

Otra perspectiva de investigación ha procurado elaborar modelos del conocimiento del profesor que procuran describir analíticamente su complejidad;[2] naturalmente, la complejidad, integralidad y profundidad de los modelos ha sido cada vez mayor, lo cual revela

2 Al respecto, es pertinente mencionar que en el seminario doctoral "Aproximación panorámica a la educación del profesor de matemáticas como campo de investigación", llevado a cabo en el segundo semestre del 2021 en el DIE-UPN, se estudiaron con relativa profundidad varios de los modelos.

un nivel de avance investigativo y ofrece un panorama para evaluar críticamente la configuración de los programas de formación de profesores de matemáticas. La investigación también ha permitido evidenciar que la decisión sobre qué es lo que debe saber el profesor (o qué debe constituir su saber) y cómo lograr que este saber se configure para favorecer la acción docente no es para nada simple y se complejiza aún más cuando se incorporan otros ámbitos del conocimiento (por ejemplo, el ámbito lingüístico, comunicativo, estético, artístico), que ofrecen perspectivas complementarias sobre el conocimiento matemático y sus características.

Para profundizar en algunas de las ideas de los párrafos anteriores y evidenciar la complejidad de la decisión, inicialmente tomemos, por ejemplo, el caso del conocimiento matemático como parte del saber del profesor de matemáticas. Aunque hay un consenso, casi axiomático, en que el profesor de matemáticas tiene que saber matemáticas, es muy difícil decidir, bajo argumentos sólidos y consensuados, qué matemáticas debe saber y qué debe saber de matemáticas.[3] La dificultad se justifica por varias razones. En primer lugar, porque no es fácil definir qué o cuál es ese conocimiento matemático, y al intentar dilucidar una respuesta surge un sinnúmero de preguntas de respuesta no absoluta ni consensuada, tales como: ¿es el conocimiento construido y legado por la humanidad (o conocimiento sabio desde una cierta perspectiva y denominación de la escuela francesa en didáctica de las matemáticas) al que nos referimos como conocimiento matemático?; ¿incluye este conocimiento matemático su carácter teratológico (*i. e.*, los caminos transitados que no condujeron a elaboraciones matemáticas "exitosas" o trascendentales, las versiones imperfectas de las matemáticas, los resultados no demostrables de cada teoría, la relatividad de la verdad matemática, entre otros aspectos)?; ¿los procesos cognitivos, las heurísticas empleadas para resolver un problema, los procesos metacognitivos, las convenciones establecidas por la comunidad, etc., hacen parte de este conocimiento?, entre otras. En segundo lugar, porque para fines educativos es totalmente pertinente aceptar que existe una gran variedad de expresiones de las matemáticas o tipos de ella (*v. g.*, matemáticas teóricas, aplicadas, antiguas, modernas,

3 En el capítulo escrito por Guacaneme-Suárez (2013) se encuentra una discusión minuciosa de este asunto, auspiciada por una mirada histórica y filosófica sobre las matemáticas.

contemporáneas, escolares, socioculturales, etnomatemáticas, hegemónicas, no hegemónicas); no reconocer tal carácter variopinto es desconocer la naturaleza fenomenológica de las matemáticas. En tercer lugar está el problema metodológico para la elección, es decir cómo se hace la elección y con base en qué fundamentos y métodos se toman las decisiones.

Tomemos ahora como ejemplo los discursos metamatemáticos y, dentro de ellos, específicamente el lugar que tienen (o tendrían) la historia y la filosofía de las matemáticas en el conocimiento del profesor de matemáticas. Los trabajos reseñados anteriormente, lejos de "sentar cátedra" al respecto de esta relación, constituyen puertas de acceso a su discusión en la medida en que decantan un panorama investigativo y unos posibles caminos para las decisiones. Desde estos trabajos se reconoce la necesidad de ponderar, con objetividad y sensatez, la argumentación esgrimida a favor de incluir una perspectiva histórica y filosófica de las matemáticas en los currículos de formación de profesores de matemáticas, bien sea como objeto de estudio o como organizador curricular. Se reconoce así que la historia y la filosofía de las matemáticas contribuyen de muy diferentes maneras al conocimiento del profesor de matemáticas, dentro de las cuales destacamos el aporte a la construcción de conocimiento sobre las estructuras sintácticas de las matemáticas (relacionadas con la demostración, el rigor y la verdad, como inherentes a la naturaleza de las matemáticas mismas y como entrada a esas otras matemáticas que circulan en la escuela y no se corresponden con las llamadas matemáticas académicas) y sobre las estructuras sustantivas (que aluden a las formas de organización del conocimiento matemático), ampliando con estas últimas la perspectiva usual de organización por subdisciplinas a organizaciones por problemas, por formas de pensamiento matemático, por paradigmas o por la naturaleza epistémica y ontológica de los objetos matemáticos, entre otras. Merece un lugar especial también la idea de que una aproximación histórica a las matemáticas (e incluso una aproximación desde las "filosofías inconformistas", como las denomina Mancosu (2016), que promueven, más que un "fundacionismo de las matemáticas", un análisis de las matemáticas más fiel a su desarrollo histórico) favorece la humanización de estas y de la actividad y práctica matemática; tal carácter humano incluye reconocer que las matemáticas fueron construidas por hombres y mujeres, y que por tanto, más que exaltar su carácter

de genialidad sobrenatural, hay que reconocer que la fragilidad e imperfección humana es consustancial a la actividad matemática y a sus resultados. Ello no solo conlleva una visión de las matemáticas en sí mismas y de la actividad y práctica matemática, sino, sobre todo, una visión de mundo y del hacer humano.

Un último ejemplo, que permite aportar a la profundización en las ideas presentadas y sirve de evidencia de la no simplicidad de la decisión sobre el conocimiento del profesor, se refiere al "saber matemático artesanal". Desde múltiples vertientes, se presentan evidencias de que el ser humano y las comunidades que configura (e históricamente ha configurado) desarrollan una serie de actividades que exigen y promueven prácticas matemáticas. Estas se van convirtiendo en saber matemático de los individuos y sus comunidades con estatus epistémico, que no les conmina a requerir una teoría que lo soporte para ser puesto en uso y cuya existencia y ontología no necesariamente lo subsume en el conocimiento que usualmente se denomina "matemáticas". Este saber, ligado a las prácticas y actividades matemáticas, se ha denominado "saber matemático artesanal" y ha sido objeto de estudio desde disciplinas científicas como la antropología, la arqueología y más recientemente la etnomatemática, o desde algunas líneas de investigación socio-histórico-culturales del campo de la educación matemática, cuyos estudios han comenzado a establecer tanto la existencia de este saber como su valor en los procesos de aprendizaje y enseñanza de las matemáticas, en cuanto que hace parte del bagaje con el que los niños y jóvenes de las comunidades abordan los procesos educativos. Bajo esta óptica, cada vez viene siendo más evidente que el profesor de matemáticas que oriente tales procesos requiere de una aproximación sustancial o conocimiento profesional sobre dichos saberes y sobre sus implicaciones en el aprendizaje y enseñanza de las matemáticas o a través de estas. Una de las implicaciones que viene tomando fuerza se refiere al reconocimiento del "diálogo de saberes" como aspecto caracterizador del aula de matemáticas, más que a la adopción de un saber matemático hegemónico que desconoce o apabulla cualquier otra forma de saber matemático presente en el aula, como el artesanal. Una expresión singular de este diálogo de saberes se presenta cuando la racionalidad de las matemáticas (que establece que "todo" debe ser demostrado a través de la argumentación razonada sistemática, a pesar de que desde la lógica hace poco más de un siglo se estableció que no

todo puede ser demostrado) entra en contacto con la racionalidad de la educación matemática que establece que, en ocasiones, para un número plural pero finito de casos basta con comprobaciones empíricas y con la "racionalidad" de la comunidad, la cual establece que basta con que el "geronto-sabio" o "sabedor" lo haya dicho para que se establezca un enunciado como verdad. Estas maneras usuales y no usuales de la racionalidad en matemáticas, que también hacen parte de la naturaleza de las matemáticas y de la actividad y práctica matemática, seguramente determinan un sentido de apreciación de lo que se es y hace en relación con el saber y de lo que ese saber permite ser y hacer; además, condiciona la visión del mundo y de su funcionamiento no tan lógico ni tan perfecto como se quisiera.

Como hemos intentado ilustrar hasta este momento, decidir qué es lo que debe saber el profesor de matemáticas reviste un problema mayor que, a pesar de haber sido abordado desde la investigación, aún no tiene una respuesta contundente o consensuada. Quizá por ello terminan tomándose decisiones atendiendo a la tradición y no a la necesidad social y educativa, que impone condiciones *sine qua non* a la identidad del profesor, en general, y a la dimensión del saber, en particular.

Bajo esta tradición, desde muchos programas de formación de profesores de matemáticas se ha creído que se forman profesores porque se les enseña matemáticas elementales desde un punto de vista superior y porque ponen en contacto a los futuros profesores (o eventualmente a los profesores en ejercicio) con los discursos resultantes de la investigación en educación matemática, sin atender de manera suficiente que luego de su proceso de formación vuelven a la escuela a desempeñar un papel que nunca han tenido y que les implica, más allá de enseñar matemáticas, ser generadores de conciencia social y política a través de las matemáticas, así como de conocimiento matemático en la escuela a través de los diseños que implementan en el aula y de los proyectos que realizan incluso fuera de ella, etc. Bajo esa tradición, que no considera suficientemente el hecho de que el profesor tiene muchas tareas educativas que trascienden la enseñanza temática y que su trabajo no se reduce al trabajo de aula, se ha formado a los profesores para que dicten clase, para que repitan clases (ojalá de manera muy "didáctica") y para que puedan "entusiasmar" a los niños y jóvenes a que aprendan algo.

Las preguntas sobre el para qué, para quién, por quién, en qué mundo, en qué sociedad, en qué contexto, etc., formar el saber del profesor de matemáticas no parece haber tenido mayor trascendencia en las decisiones sobre el saber. La cuestión sobre si las matemáticas y su aprendizaje pueden estar imbricados con la posibilidad de disminuir la brecha social, con la posibilidad de construir oportunidades de generar bienestar o con la incorporación de visiones críticas del mundo, no parecen ser lo que en esencia guíe la acción formativa del saber. Parece que bajo esa tradición ha interesado que los profesores aprendan a enseñar matemáticas muy bien para que los otros aprendan matemáticas muy bien; parece que ha interesado abordar problemas de instrucción, pero no de formación. Ahora bien, siendo altamente autocríticos, debemos advertir que si como comunidad de formadores de profesores ni siquiera hemos logrado consensos sobre cuál es el saber para la instrucción, mucho menos lo hemos logrado para la formación.

INTERACCIONES E INTERRELACIONES ENTRE EL SER, HACER Y SABER

Después de haber precisado algunos aspectos de las tres dimensiones de la identidad del profesor de matemáticas (el ser, el hacer y el saber), es necesario realizar algunas observaciones en cuanto a sus interacciones e interrelaciones, entendidas como parte sustancial del modelo, que dejan entrever su carácter holístico. Las interacciones o interrelaciones se conciben como un conjunto de acciones o relaciones dialógicas, no necesariamente unidireccionales, entre las dimensiones.

Con respecto a las *interacciones e interrelaciones entre el saber y el hacer* del profesor de matemáticas, se reconocen varias expresiones. Una de ellas se refiere a la manera en que la actividad docente es influenciada o condicionada por el conocimiento del que el profesor disponga y use; un ejemplo de ello puede advertirse en la no enseñanza de temas de estadística, probabilidad, transformaciones geométricas o pensamiento métrico, por carencias de conocimiento sobre estas temáticas por parte del profesor. Otra alude al nivel de coherencia que existe entre la acción efectivamente realizada y su conocimiento discursivo o prescriptivo; quizá una situación ilustrativa al respecto se dé cuando el profesor es quien termina validando la producción de un estudiante o haciendo uso de su

jerarquía para establecer "la verdad", a pesar de que en su discurso exprese que la validación en matemáticas procede por medio de la argumentación razonada y lógica, más que por autoridad. Una más se refiere a la manera como las condiciones de la actividad docente exigen un determinado conocimiento; a modo de ejemplo, se puede citar que va siendo cada vez más habitual que en un curso existan alumnos con alguna necesidad educativa especial (por ejemplo, una discapacidad o síndrome) y que el profesor deba generar ambientes de aprendizaje que no los excluyan, es decir, apropiados para atender tal expresión de la diversidad en el marco del conjunto de la clase (y no de manera marginal a ella), lo cual le exige un conocimiento específico. Cercana a esta última se ubica la relación que se establece entre el aprendizaje profesional logrado a través de la praxis de la actividad docente; al respecto, se puede evocar la reflexión crítica de un profesor que, en el desarrollo de una clase sobre la definición de un conjunto por extensión y comprensión, advirtió las dificultades implicadas en definir el conjunto de los números naturales, pues al hacerlo por extensión se debe incorporar en el listado de elementos un símbolo que no es un elemento (*i. e.*, "...") y al definirlos por comprensión se debe incorporar un conjunto de enunciados (*v. g.*, los axiomas de Peano para conjuntos inductivos). Desde algunas perspectivas, una relación singular entre el saber y el hacer ha sido denominada con el término "competencia", que puede referirse al uso idóneo de un conocimiento en la acción docente; así, por ejemplo, un profesor puede conocer el recíproco del teorema de Pitágoras y ser consciente de su exiguo empleo en la escolaridad y su uso en ambientes no escolares, lo cual lo lleva a diseñar tareas que exijan la construcción de ángulos rectos y que impliquen el uso de tal recíproco como "teorema en acto".

Las *interacciones e interrelaciones entre el hacer y el ser* contemplan también varias expresiones. Una de ellas alude a la manera en que los aspectos del ser (*v. g.*, actitudes o valores, emociones o conciencia) determinan la actividad docente y repercuten en prácticas de reconocimiento o menosprecio; así, por ejemplo, un nivel desarrollado de empatía seguramente es determinante en el tipo y calidad de las interacciones que el profesor propicie para vincularse en la actividad matemática de sus estudiantes y comprenderla, o el desarrollo de la persistencia y empeño en que sus estudiantes logren aprender matemáticas condiciona el número y variedad de tareas matemáticas

que el profesor propone y gestiona en sus clases. Por otra parte, la actividad docente instaura aspectos del ser; a modo de ejemplos, se puede reseñar que el desarrollo de una clase auspicia en el profesor distintas emociones (*v. g.*, júbilo, congoja, autoadmiración), el trabajo cooperativo o colaborativo con colegas que enseñan otras disciplinas o artes genera el reconocimiento de la otredad/alteridad, o vivenciar dificultades en los procesos de enseñanza y aprendizaje de las matemáticas permite la reconstrucción de ego y de la consciencia sobre sí mismo. Además de los ambientes en los que discurre la práctica docente de enseñanza, que constituyen los escenarios por excelencia en los cuales ubicar los detonantes de las emociones que el profesor experimenta, existen otros ambientes, como los eventos de la comunidad académica de profesores de matemáticas, en los que las acciones del profesor son fuente de emociones y de conciencia sobre los diferentes aspectos de su identidad profesional.

En el marco de las *interacciones e interrelaciones entre el ser y el saber* se advierten relaciones robustas entre el saber y el ser, así como otras relaciones entre el ser y el saber. Hoy sabemos que determinadas formas de conocer instauran ciertos rasgos en las formas de ser. De igual modo, los discursos que prevalecen en la experiencia de formación de los profesores condicionan los modos de ser, estar y situarse como profesores de matemáticas en relación con la educación matemática. En las primeras relaciones se ubican, por ejemplo, las emociones que se generan a propósito de creerse poseedor de un conocimiento aparentemente ajeno a la mayoría, complejo, infalible y completamente sostenido por una racionalidad lógica y, en ese sentido, creerse superior y con una cierta autoridad por sobre los demás; o la consciencia sobre la dualidad conocimiento/ignorancia que se sigue del estudio de un objeto en profundidad y amplitud. En las segundas, por su parte, se incluyen asuntos tales como lo benéfico de una actitud de humildad versus una actitud de prepotencia al momento de encarar acciones que propendan por el aprendizaje de un saber de orden profesional, así como la necesidad de un conocimiento sobre el carácter político y social de la educación en matemáticas que surge de la conciencia activa de que el trabajo educativo y matemático no puede ser, ni ha sido, neutral a este respecto.

Ampliar y profundizar las visiones y descripciones sobre las interacciones e interrelaciones entre las dimensiones de la identidad del profesor de matemáticas constituye un objetivo del trabajo en

formación de profesores de matemáticas que adelanta la comunidad que investiga. Asimismo, valorar en su justa medida y reivindicar el aporte sustancial que tiene para los procesos formativos esta aproximación holística, que puede llegar a ser acompañada por la aproximación analítica de las dimensiones, constituye uno de los mayores retos que tienen las comunidades de investigadores y las comunidades de formadores de profesores.

ALGUNAS CUESTIONES ABIERTAS

Si bien disponer del modelo ofrece un panorama retador y esclarecedor para la formación de la identidad del profesor de matemáticas, a la vez proyecta un marco en el que emergen nuevas preguntas y retos no previstos. A continuación presentamos brevemente algunas de ellas. Una de las cuestiones se refiere a la manera en que un nuevo conjunto de conocimientos y disciplinas asociadas al saber del profesor permite construir nuevos sentidos o visiones de mundos posibles en los que la justicia social, el respeto por la diferencia y una ética del cuidado se abran camino en y a través del estudio de las matemáticas.

Otra de las cuestiones emergentes se refiere a la incorporación de racionalidades alternativas a las usuales promovidas en los programas de formación de profesores de matemáticas, que privilegian la racionalidad hipotético-deductiva y los discursos unidireccionales. La racionalidad hipermedial característica de la comunicación digital, expresada en dinámicas ligadas a la hipertextualidad, la interactividad y la construcción y uso de simuladores y simulaciones, es ejemplo ilustrativo de racionalidad alternativa. Bajo esta racionalidad hipermedial se han ido constituyendo los sujetos, nativos digitales, que comienzan a ser formados como profesores de matemáticas; sus racionalidades comienzan entonces a interactuar con las racionalidades clásicas y aún no es claro si estas interacciones son dialógicas, dialécticas, dominantes, etc., o las consecuencias que tienen para la reconfiguración de la identidad del profesor de matemáticas.

Por otra parte, las nuevas realidades sociales parecen estar indicando que hoy en día los profesores se deberían formar para la impermanencia, la contingencia y lo inesperado, y no precisamente para el control absoluto, la inercia y lo previsible. Los movimientos sociales de la última década, la pandemia, las nuevas racionalidades

y arquitecturas de participación se constituyen en hitos ilustrativos de realidades emergentes y de los retos y oportunidades que estas imponen.

Adicionalmente, el cuestionamiento a la idea de un sujeto cognitivo universal, propuesto por algunas líneas de investigación en educación matemática, ha alcanzado los horizontes de la investigación en el campo de la formación de profesores de matemáticas y, en consecuencia, ha impuesto nuevos retos y oportunidades. En efecto, como lo advierten Santos-Fernandes y Marafioti-Garnica (2020), en la investigación sobre la formación del profesor se ha aludido típicamente a la existencia de un maestro genérico, pero en realidad este no existe, y habitualmente no se ha considerado la pluralidad de sesgos, tiempos y espacios en los procesos de formación docente. En una vía semejante, hace menos de una década Lopes y Jaramillo (2017) acuñaron los términos "insubordinación creativa" y "subversión responsable" para describir prácticas de enseñanza o de investigación en las que los profesores manifestaban cómo, cuándo y por qué actuar en desacuerdo con procedimientos, directrices o prácticas establecidas en la educación matemática; con ello pusieron en evidencia otras formas de producir investigación en educación matemática en América Latina, que permiten la construcción de conocimientos-otros para lugares, espacios, tiempos y mundos otros. Estos proyectos académicos y prácticas de investigación sobre el profesor permiten nuevas comprensiones sobre los problemas que hoy enfrentan los profesores de matemáticas, sus maneras de habitar lugares, espacios, tiempos y mundos y las formas en las que se atreven a soñarlos.

A MODO DE SÍNTESIS

La identidad del profesor de matemáticas, entendida como categoría y descrita a través de un modelo analítico/holístico, brinda una perspectiva en la cual es posible identificar oportunidades y retos para la formación de profesores de matemáticas. La constitución de una cosmovisión desde la cual se conciba la formación de profesionales de la educación matemática desde una óptica que supere la idea de una formación centrada en el saber al margen de las dimensiones ser y hacer, y que pondere de manera equitativa estas tres dimensiones, configura un reto mayor, en cuanto desafía la tradición o el paradigma instaurado socialmente en las instituciones y, por tanto, en sus sujetos.

Desde una cosmovisión tal, la formación del profesor de matemáticas en los ámbitos emocional, actitudinal, axiológico y sociopolítico se manifiesta como condición imprescindible y propósito inaplazable para los programas de formación, a la vez que valora y posiciona la subjetividad del profesor como elemento sustancial de su carácter profesional. Precisamente, desde tal cosmovisión pierde sentido la usual división expresada en la dicotomía "ser buen profesional" y "ser buena persona", pues impone a la primera involucrar la segunda. Ahora bien, trascendiendo la constitución de dicha cosmovisión, en el marco de los programas de formación profesional o avanzada deben diseñarse y ejecutarse estrategias y acciones concretas que favorezcan la "refiguración" de la subjetividad del profesor de matemáticas, lo cual constituye un reto de orden pragmático.

La recontextualización y correspondiente reconceptualización de una actividad docente que trascienda el aula como único lugar de acción profesional e incorpore las esferas de las prácticas personales, institucionales/comunitarias y de comunidades de práctica o académicas es una excelsa oportunidad y un reto mayor para empoderar socialmente, como corresponde, el quehacer profesional de los profesores de matemáticas. Diseñar y poner en marcha estrategias que propendan por una formación para un desempeño idóneo de la profesión docente en cada una de las esferas del quehacer profesional es asimismo un reto mayúsculo que se impone a los programas de formación de profesores de matemáticas; la sostenibilidad en el tiempo de las acciones profesionales en las distintas esferas es una condición deseable que complementa el reto en cuestión. Así, por ejemplo, los procesos de introspección y reflexión que favorecen la conciencia profesional sobre sí mismos deben llegar a ser objeto y objetivo de la formación profesional docente en los currículos de los programas de formación; del mismo modo, mantener en el tiempo el desarrollo de estos procesos de conocimiento del yo profesor como parte del quehacer profesional docente constituye un ideal en y para la acción educativa.

Acopiar, organizar y sistematizar el vasto cúmulo de investigaciones sobre el conocimiento deseable para configurar el saber del profesor de matemáticas es una acción necesaria para disponer de marcos de referencia desde los cuales instaurar una fundamentación y establecer consensos sobre los cuales delinear especificidades y

decisiones curriculares para la formación del saber del profesor en los programas de formación profesional inicial, avanzada y continua de profesores de matemáticas. Este es un reto mayor y a la vez una oportunidad de superar un vetusto paradigma que no responde hoy a las necesidades y exigencias que el presente y el futuro social dejan advertir y prever.

Nuevos retos y a la vez nuevas oportunidades emergen cuando se reconoce que, más allá de cada una de las tres dimensiones de la identidad del profesor de matemáticas, las interacciones e interrelaciones entre estas pueden llegar a ser más trascendentales para la configuración de tal identidad. Si bien la comunidad que investiga en el campo de la formación de profesores de matemáticas ha avanzado en la identificación de estas interacciones e interrelaciones, aún los resultados no impactan de manera consistente y profunda las propuestas de los programas de formación de profesores; conocer los resultados de investigación y convertirlos en producto de desarrollo para la formación es pues un reto principal.

Además de los retos anteriores, emergen otros que se refieren a los nuevos modos de ver los mundos que emergen de nuevos conocimientos que se integran al saber del profesor, las interacciones entre racionalidades alternativas y racionalidades usuales que de manera inexorable ingresan a las prácticas formativas de profesores, la formación profesional para lo inesperado e impermanente y para la actuación en ambientes de contingencia, y la inexistencia de sujetos cognitivos universales.

REFERENCIAS

Bello-Chávez, J. H. (2021). *Diagramas y práctica matemática en la geometría cartesiana (1637-1750). Contribución de la historia de la matemática a la formación de profesores.* (Tesis de doctorado). Universidad del Valle. https://bibliotecadigital.univalle.edu.co/handle/10893/21329

Guacaneme-Suárez, E. A. (2013). Conflictos para precisar el conocimiento disciplinar del profesor de matemáticas. En C. Dolores, M. de S. García, J. Hernández y L. Sosa. (Eds.), *Matemática educativa: La formación de profesores* (pp. 77-95). Ediciones Díaz de Santos S. A.

Guacaneme-Suárez, E. A. (2016). *Potencial formativo de la historia de la teoría euclidiana de la proporción en la constitución del conocimiento del profesor de matemáticas.* (Tesis de doctorado). Universidad del Valle. https://bibliotecadigital.univalle.edu.co/handle/10893/10093

Lopes, C. E. y Jaramillo, D. (2017). Reflexiones sobre el escenario de investigación subversivamente responsable. En C. E. Lopes y D. Jaramillo (Eds.), *Escenas de la insubordinación creativa en las investigaciones en educación matemática en contextos de habla española* (pp. 118-122). Lulu Press Inc.

Mancosu, P. (2016). Algunas observaciones sobre la filosofía de la práctica matemática. *Disputatio. Philosophical Research Bulletin, 5*(6), 131-156.

McLeod, D. (1992). Research on affect in mathematics education: A reconceptualization. En D. A. Grouws (Ed.), *Handbook of research on mathematics teaching and learning* (pp. 575-596). Macmillan.

Morales-Rozo, N. (2016). *La filosofía de las matemáticas en el conocimiento del profesor de matemáticas.* (Tesis de maestría). Universidad Pedagógica Nacional. http://repository.pedagogica.edu.co/handle/20.500.12209/225

Salazar-Amaya, C. (2021a). *Narrativas de profesores de matemáticas sobre su experiencia profesional y de formación: aproximación a las subjetividades emergentes.* (Tesis de doctorado). Universidad Distrital Francisco José de Caldas.

Salazar-Amaya, C. (2021b). ¿Qué aporta la investigación narrativa a los currículos de formación de profesores de matemáticas? *Tecné, Episteme y Didaxis: TED, 49,* 107-122. https://doi.org/10.17227/ted.num48-12375

Santos-Fernandes, F. y Marafioti-Garnica, A. V. (2020). Metodologia de pesquisa em Educação Matemática: éticas e políticas na inserção de novos sujeitos, cenários e conhecimentos. *Revista Perspectivas da Educação Matemática, 14*(34), 1-16. https://doi.org/10.46312/pem.v14i34.12785

Capítulo 16. El deporte como disciplina científica y su enseñabilidad

Luz Amelia Hoyos Cuartas
Universidad Pedagógica Nacional

ORIGEN DEL DEPORTE

Para establecer un momento histórico del origen del deporte es necesario entrar en discusión con las diversas teorías que lo explican. Así, desde una perspectiva antropológica, Blanchard y Cheska (1986) sustentan cómo en varias culturas antiguas es posible identificar prácticas lúdicas y de competencia que recrean algunas características propias de los deportes que conocemos en la actualidad. Para Torres (2017), desde una visión más estructural del deporte moderno, una concepción ahistórica del deporte se fundamenta erróneamente, ya que las prácticas luctatorias o dancísticas tenían un carácter religioso, y por ende no pueden equiparse con prácticas deportivas surgidas en la modernidad como respuesta a un momento histórico particular.

En la modernidad, un referente ineludible es Thomas Arnold (1795-1842), quien, a partir de la incorporación de deportes de conjunto como el *soccer* y el *rugby* en las *public schools* de la Inglaterra victoriana, no solo contribuyó a la estructuración de prácticas deportivas con un

carácter competitivo, que podían ser replicadas de manera sistemática por sus practicantes, sino que, especialmente, justificó su presencia en el contexto de la escuela otorgándoles un carácter educativo y moralizante que pervive hasta nuestros días.

Para entender el origen del deporte es necesario recurrir a un análisis etimológico. Así, para Rodríguez (2003), a la acepción actual de la palabra "deporte" se le pueden atribuir varios orígenes, entre ellos el término francés *desport,* que designaba ejercicios corporales realizados al aire libre, acepción que se empleó posteriormente en su forma reducida, *sport*.

Rodríguez (2003) también señala que, en la lengua castellana, la evolución del término "deporte" se da a partir del vocablo "depuerto", que hacía referencia a diversión o entretenimiento. Por su parte Olivera-Beltrán y Torrebadella (2015), en un análisis etimológico, semántico y conceptual que indaga por el origen del término en la lengua castellana, identifican la presencia del término "deportarse" con el significado de "divertirse" en el *Cantar de mio Cid*, escrito hacia el año 1140. A partir de ese momento, y hasta finales del siglo XVIII, las acepciones de la palabra varían hasta situarse como un juego o forma particular de pasatiempo, en una acepción más cercana al término inglés *sport*.

LA EVOLUCIÓN DEL JUEGO AL DEPORTE

Con el fin de comprender no solo el origen del deporte sino también su evolución, resulta imprescindible, en términos de Huizinga (1957), pensar que todas las formas del deporte que conocemos actualmente son precedidas de alguna manera por juegos o prácticas lúdicas presentes en el bagaje cultural de las civilizaciones antiguas y los pueblos originarios. El autor describe cómo algunos ritos y valores presentes en los torneos, eventos festivos y justas medievales permanecen vigentes en las formas propias de la competencia del deporte moderno.

En su objetivo de analizar la manera como el juego contribuye a la construcción cultural de los pueblos, Huizinga explica que el juego social no es una acción reservada de forma privilegiada y exclusiva a los seres humanos, sino que, por el contrario, es también fácilmente identificable en algunos animales, guardando rasgos distintivos como la exhibición, la competencia y la simulación:

> Los rangos fundamentales del juego, el jugar juntos, el luchar, el presentar y exhibir, el fanfarronear, el hacer "como si" y las reglas limitadoras, se dan ya en la vida animal […] La competición y la exhibición no surgen, pues, de la cultura como sus diversiones, sino que, más bien, la preceden. (Huizinga, 1957, p. 68)

Para Huizinga (1957), el juego tiene además un carácter antitético por el hecho de involucrar generalmente a dos bandos que se enfrentan, pero también por su alto grado de incertidumbre, característica que usualmente mantiene en vilo a sus participantes. Al comprender el juego en esta perspectiva de Huizinga, es inevitable transpolar dichas características al deporte moderno y comprender que, en muchas de las prácticas actuales, permanece la esencia del juego, pese a la predominancia que se otorga al triunfo, especialmente en el deporte de rendimiento.

El deporte moderno, y su versión más estructurada, *el deporte de altos logros,* recogen en gran medida la esencia del juego, por su carácter agonista y porque, en palabras de Huizinga (1957), "la seriedad con la que se verifica una competición, en modo alguno, significa la negación de su carácter lúdico" (p. 70). Por supuesto que el deporte moderno enaltece el afán por ganar, y seguramente en este tránsito del juego al deporte la participación de los espectadores contribuye de manera notable a la búsqueda de eficiencia, favoreciendo el producto que el deporte-espectáculo entrega a sus seguidores.

Así, si el jugador pone quizá mayor interés en el disfrute del juego, sin importar su resultado, en la actualidad el espectador deportivo delega su capacidad de triunfo en el "otro", ese otro que tiene que ganar por mí y para mi goce personal. De este modo, las sociedades contemporáneas han volcado la pirámide con respecto a la práctica deportiva, en el sentido de que una inmensa mayoría de personas actúan como espectadoras mientras que un puñado de deportistas se responsabiliza de proporcionarles un triunfo, por el cual no tuvieron que trabajar. Este fenómeno lo relata perfectamente Osúa (2018) cuando plantea, refiriéndose al deporte-espectáculo, que:

> Este hecho, juntamente con las dificultades sociales y materiales para ofrecer un acceso masivo hacia la práctica deportiva, condujo a los gobiernos a apostar por la participación pasiva del público a través del deportista, llamado a convertirse en un intermediario entre el

> espectador y la victoria. Sin embargo, la delegación de la responsabilidad individual en la relación con algunos valores como la victoria o la verdad no solo se produce en el deporte, sino también en la vida política de culturas tan críticas como la occidental. (p. 160)

EL DESARROLLO DE LAS INDUSTRIAS DEL DEPORTE Y SU INCIDENCIA EN EL SURGIMIENTO DE LAS CIENCIAS DEL DEPORTE

Desde finales del siglo XIX, el deporte moderno propuesto por Pierre de Coubertin, fundamentado en valores morales como el esfuerzo y la resiliencia y sustentado en los principios olímpicos de *citius, altius, fortius*, "más rápido, más alto, más fuerte", se convierte en deporte de masas, respondiendo a las necesidades sociales, de espectáculo, nacionalismo y representación propias de las sociedades modernas e inclusive brindando a las clases marginales una válvula de escape o un mecanismo de ascenso social.

Este contexto fue el ambiente perfecto para que las llamadas ciencias del deporte, que habían surgido en el siglo XVI al amparo de un campo disciplinar extenso como la medicina y otras ciencias básicas, fijaran su mirada en el deporte y aportaran una visión científica a una práctica interesada en la mejora constante y en la obtención de récords.

A propósito, Vargas y Rittner (2017), plantean que:

> Después de un tránsito por enfoques propios de disciplinas que ya tenían definido su objeto de estudio y que se ocupaban del deporte como un capítulo adicional, se llegó a una fase en la que desde las denominadas ciencias madres desarrollaron disciplinas científicas que tienen al deporte como objeto de estudio, activando sus propios marcos teóricos, adaptando y adecuando métodos de enseñanza e investigación que han permitido generar conocimientos, mejorar prácticas, desarrollar tecnologías y encontrar soluciones o formas de atención a problemas físicos, sicológicos y sociales de la humanidad. (p. 6)

En la misma vía, el campo de las ciencias del deporte se desarrolló a lo largo del siglo XX, consolidando procesos de construcción de conocimiento científico relacionados con la mejora de la

cualidad física, el perfeccionamiento de los procesos de enseñanza y entrenamiento, los análisis biomecánicos, la caracterización biotípica de los deportistas e inclusive la prevención de lesiones deportivas, que reconfiguran el aporte de las ciencias biomédicas al deporte de rendimiento. Así pues, en la actualidad no hay mucha discusión en torno al impacto de las ciencias del deporte en la optimización de los deportes ni en torno al mito que considera al deporte de rendimiento como una carrera "hasta el infinito y más allá".

Para Bishop *et al*. (2006) las ciencias del deporte se constituyen en un campo multidisciplinario, es decir, que incorpora disciplinas como fisiología del ejercicio, biomecánica, control y desarrollo motores, psicología del deporte, nutrición deportiva, entre otras, las cuales se ocupan de la comprensión y desarrollo del rendimiento deportivo y de la identificación de las mejoras adecuadas que permiten a los sujetos mejor dotados genéticamente desarrollar su potencial deportivo.

Las ciencias del deporte se relacionan de manera tangencial con las ciencias del ejercicio físico, que para Hoffman (2002) son un campo enfocado en estudiar los efectos del ejercicio físico sobre la salud de la población en general y en analizar su incidencia en la calidad de vida de personas de distintos grupos etarios. Sin embargo, en el medio del deporte, en ocasiones estos dos campos de estudio se yuxtaponen o se emplean ambas denominaciones, indistintamente, para referirse a los mismos procesos.

Desde una mirada epistemológica, que explica el desarrollo del campo de las ciencias del deporte, Vargas (2012) reconoce varias fases: en la primera se constituyó un diálogo entre diferentes disciplinas de las ciencias básicas con los profesionales del deporte, expertos en la enseñanza y entrenamiento del deporte. Una segunda fase se caracteriza por:

> El "préstamo" de métodos de investigación para la atención, estudio y solución de problemas relacionados con el deporte, y de otro, el desarrollo de terminologías y nomenclaturas (propias) específicas, lo que redundó en una mejora cualitativa en la formación de profesionales en deporte para responder a la diferenciación sociológica del hecho deportivo. (Vargas, 2012, p. 154)

En una tercera fase del desarrollo de las ciencias del deporte se distingue una pretensión por construir un solo cuerpo teórico, e inclusive se aprecia una tendencia a fortalecer los enfoques metodológicos alrededor del deporte como objeto de estudio. Este momento puede ser considerado fundamental en la evolución del área, ya que la inclusión del deporte al campo de las ciencias catapultó la oferta de programas universitarios a nivel mundial enfocados en el estudio del deporte y las ciencias afines.

En la actualidad se pueden identificar dos grandes campos que constituyen las ciencias del deporte: el deporte visto desde las ciencias sociales y humanas y el deporte analizado desde las ciencias naturales. Bajo esta lógica, en las universidades algunos programas de formación de científicos del deporte surgen al amparo de las ciencias naturales, por ejemplo en la Universidad de Caldas (Colombia) el programa de formación de profesionales del deporte pertenece a la Facultad de Medicina, mientras que en otras universidades del país el programa de ciencias del deporte se articula a las facultades de ciencias sociales.

APORTE DE LAS CIENCIAS BIOMÉDICAS AL CAMPO DEL DEPORTE

Desde comienzos del siglo xx es posible encontrar importantes aportes desde la psicología experimental al campo del deporte, entre los cuales se destacan los estudios sobre el aprendizaje motor y el desarrollo de las destrezas motoras, que se consideran precursores de los estudios sobre el aprendizaje de los gestos y técnicas deportivas. A partir de la década de los sesenta se formaliza el campo de la psicología deportiva, con la celebración del I Congreso Mundial de Psicología del Deporte en 1965 (Pérez y Estrada, 2015).

Por otra parte, la primera publicación de un texto sobre fisiología del deporte se le atribute a Fernand Lagrange, en 1889; posteriormente, en 1921, Archibald V. Hill realiza estudios sobre el metabolismo energético, y ya para 1927 se construye el primer "laboratorio de fatiga" en la Universidad de Harvard, estudios que resultaron pioneros para el desarrollo de la fisiología del deporte y la actividad física a lo largo del siglo xx. En la actualidad se encuentran aportes significativos de investigadores como P. O. Astrand, egresado de la escuela escandinava (Kenney, Wilmore y Costill, 2014).

La biomecánica, disciplina responsable del estudio del movimiento humano, se desarrolló en Alemania en 1887, donde se empleaba en el campo de la medicina y la rehabilitación física. Posteriormente, a partir de 1970 hubo un auge en la aplicación de los análisis biomecánicos al campo del deporte, y en lo corrido del siglo xxi el desarrollo tecnológico de *software* ha revolucionado los estudios que emplean el análisis del movimiento y su aplicación en el campo del deporte de alto rendimiento.

En suma, desde el siglo xix, y hasta la fecha, las ciencias biomédicas han contribuido al desarrollo del deporte como campo científico, consolidando no solo objetos de estudio específicos, sino también generando comunidades académicas y científicas a nivel global enfocadas en el estudio del deporte como práctica y sus relaciones con la actividad física y la salud.

DESARROLLO DE LA SOCIOLOGÍA DEL DEPORTE

Si bien en la primera mitad del siglo xx es posible determinar cómo el desarrollo de la industria del deporte se dio de manera exponencial, acompañado de las ya descritas ciencias del deporte, es principalmente a partir de los años cincuenta que las ciencias humanas y sociales asumen una postura crítica frente al deporte, por considerarlo un fenómeno de altas implicaciones sociales, económicas, políticas y culturales a nivel global.

Sin embargo, en disciplinas como la sociología, la mirada sobre el deporte implicó para los pioneros de este campo señalamientos de la comunidad académica, que consideraban a la sociología del deporte como un campo menor, cuestionando inclusive la pertinencia de emplear métodos de intervención cualitativos y valiosos recursos humanos en un tema "banal" como el deporte, que poco o nada le aportaba al desarrollo social del momento.

Con la intención de comprender la configuración del campo de estudio de la sociología del deporte, Barbero (1991) explica que durante los siglos xvi y xix autores como Erasmo de Rotterdam, Rousseau o Spenser trataron de manera tangencial el tema del cuerpo y del tiempo del ocio. Sin embargo, para Barbero es Th. Veblen, en 1899, en su libro *Teoría de la gente ociosa*, quien establece por primera vez relaciones entre las actividades de ocio y los deportes como

símbolos de estatus para las clases pudientes de la sociedad americana, cuestionando también el espíritu consumista que se genera en la práctica deportiva.

Así pues, el deporte y el tiempo de ocio fueron comprendidos desde una perspectiva sociológica en tanto "el juego se hace trabajo, en forma del deporte, y el espectador parece como subvencionador de esta actividad" (Vélez, 1992, p. 4). Para el autor citado esto representa un punto crucial en la manera de entender el deporte, distinta del enfoque de la sociología, que en un primer momento desestimó el fenómeno deportivo fundamentada en un desprecio casi sistemático por las miradas sobre el cuerpo en un contexto distinto al cuerpo productivo. Es decir, en un principio toda referencia al cuerpo sensible, placentero y estético, como se concibe desde el juego, las prácticas corporales, el ocio y por supuesto el deporte, no acreditaban su inclusión en los estudios sociales. Vélez considera que:

> Este punto, bastante problemático en el orden epistemológico y conceptual, confiere en un nivel empírico múltiples significaciones sociales a la actividad físico-deportiva, pues es en ese juego de tensiones donde se origina la viabilidad del deporte espectáculo, donde se estructuran las complejas relaciones entre deportistas y público, y donde emergen y caen los ídolos e ideales deportivos; donde, en fin, echan raíces las pasiones colectivas por el deporte y donde surgen los rituales cuasi religiosos que hoy día constituyen ciertos eventos deportivos. (Vélez, 1992, p. 4)

El desarrollo de la sociología del deporte se catapulta, a nivel mundial, a partir de la consolidación de redes de académicos y revistas especializadas en la perspectiva sociológica y antropológica del deporte como hecho social y cultural. Así, en 1965, se constituyó la International Sociology of Sport Association (ISSA), organización que ha tenido a su cargo la realización de congresos y el desarrollo de la revista *International Review for the Sociology of Sport* (IRSS). En el contexto de América Latina, en el año 2007 se constituyó la Asociación Latinoamericana de Estudios Socioculturales del Deporte (Alesde), promotora de la revista *The Journal of the Latin American Sociocultural Studies of Sport.*

Desde una apuesta epistemológica más audaz, autores como Araujo (1998) plantean que es necesario trascender de las ciencias del deporte hacia una "ciencia del deporte", postulado que implica

la migración de un modelo multidisciplinar, a través del cual los académicos e investigadores del deporte acuden a las ciencias básicas para tomar sus métodos y postulados (como se planteó previamente), a un modelo transdisciplinar, enfocado en el deporte como hecho y práctica social, que desarrolla métodos propios de investigación, y que,

> […] representa la necesidad de nuevas formas de racionalidad, o sea, definir un espacio teórico donde se puedan elevar cuestiones, recoger, centralizar e interpretar las afirmaciones e investigar de forma rigurosa en función de la propia práctica deportiva. Un espacio amplio, donde se pueda percibir al deporte como un objeto en permanente construcción. (Araujo, 1998, p. 96)

LA INVESTIGACIÓN EN LA CIENCIAS DEL DEPORTE EN LA ACTUALIDAD

En la actualidad, el deporte como objeto de estudio genera una amplia producción académica, soportada en grupos de investigación que, desde procesos de intervención multidisciplinar, aportan a un campo de conocimiento en pleno desarrollo. Este auge de la investigación desde las ciencias del deporte puede corroborarse con la variada oferta de programas de formación posgradual en el área y con el gran número de revistas científicas especializadas en la investigación del deporte de rendimiento. En otra perspectiva, es posible también identificar varias revistas académicas enfocadas en el análisis del deporte como fenómeno sociocultural que debe ser mirado en una perspectiva antropológica, histórica, sociológica o educativa.

Por ejemplo, considerando únicamente el contexto de los Estados Unidos, es posible identificar más de 300 programas de maestría y doctorado enfocados en el deporte. En este amplio panorama, se encuentra que la formación posgradual del área tiene una gran influencia de las ciencias biomédicas, lo que se refleja en programas de ciencias del deporte, fisiología del ejercicio, psicología del entrenamiento deportivo o planificación y periodización del rendimiento en el deporte, que se ofertan en universidades estatales o privadas con altos estándares de formación.

En Europa, el proceso de desarrollo de programas posgraduales que tienen como eje el estudio del deporte se dio a lo largo del siglo xx, por lo que ya para la década de los ochenta un alto porcentaje

de universidades estatales de España, Francia, Alemania, Inglaterra, Suiza, entre otros países, contaban con programas doctorales enfocados en el desarrollo de las ciencias del deporte y la actividad física. Al consultar en la plataforma de medición de calidad de las revistas científicas Scimago, se encuentran más de 400 revistas especializadas en la divulgación de la productividad científica desde las ciencias del deporte. Por su parte, en el índice de revista científicas para Hispanoamérica Latindex es posible acceder a más de 100 revistas enfocadas en el estudio del deporte, tanto desde perspectivas cuantitativas como cualitativas.

TRABAJO CONJUNTO ENTRE ACADÉMICOS E INVESTIGADORES

Es habitual encontrar discusiones sobre el papel de la investigación en el campo del deporte en relación con su capacidad para impactar el trabajo de campo que realizan los entrenadores con sus deportistas. En esa vía, se considera fundamental articular la producción académica con los resultados de las investigaciones y, como lo sugiere Kelly (2018), que desde las ciencias del deporte los investigadores puedan trabajar de manera conjunta con los entrenadores y formadores, quienes no necesariamente tienen una trayectoria académica, pero cuyo vasto ejercicio puede aportar a otros colegas a partir de la construcción teórica basada en la experiencia.

Inclusive, en algunos casos el interés de realizar trabajos de investigación conjunta surge de los entrenadores y clubes de deporte de rendimiento, quienes identifican problemáticas concretas en los procesos de entrenamiento o en la ejecución técnica de gestos deportivos, por lo cual acuden, para buscar soluciones, a equipos de investigación en ciencias del deporte de las universidades. Esta perspectiva podría contribuir en la pretensión de su consolidación científica, como lo afirma Vargas (2012):

> La característica del objeto de estudio —deporte— no permitía la construcción de un solo cuerpo teórico y menos la aplicación de un solo método. Por ello, no deja de calificarse como una pretensión para acreditar un estatus científico a nivel público y de respetabilidad en el medio científico. (p. 156)

ENSEÑABILIDAD DEL DEPORTE

No es posible hablar de la enseñanza del deporte sin hacer referencia a su presencia en la escuela y, desde una perspectiva más amplia, a la relación entre deporte y educación. Como se describe en un texto anterior (Hoyos, 2022), es a partir de las aportaciones de Thomas Arnold, a comienzos del siglo xix en la Inglaterra victoriana, que el deporte se incluye en el contexto escolar con un propósito moralizante. A partir de ese momento, socialmente se considera al deporte como una práctica con capacidad para incidir en la formación de los sujetos, especialmente de niños y adolescentes.

De esta manera, se estable una relación entre deporte y escuela que pervive hasta la actualidad, generando diversas interacciones, cuestionamientos y procesos operativos, a partir de los cuales el deporte se viene configurado como uno de los contenidos al que acude la educación física escolar con mayor recurrencia. Sin embargo, la presencia del deporte en la escuela genera tensiones importantes entre las formas propias de la enseñanza de las disciplinas escolares y la naturaleza misma de la práctica deportiva, proveniente del deporte de rendimiento.

Podemos decir entonces que la relación entre deporte y educación se fundamenta, de manera inicial, en el desarrollo de la educación física como disciplina escolar enfocada en la formación integral de los niños y jóvenes escolares a través de diversas prácticas corporales que incluyen al deporte. En segunda instancia, esta relación se formaliza y desarrolla en una perspectiva académica e investigativa en la medida en que el deporte se constituye en objetivo de estudio de programas académicos a nivel universitario desde finales del siglo xix en Europa y en países de habla inglesa, y de manera más tardía a comienzos y mediados del siglo xx en Latinoamérica, Asia y África.

En la primera perspectiva se entiende la escuela como un escenario propicio para la reproducción cultural; el deporte escolar, en términos de enseñanza, se ocupa de los elementos técnicos propios de las disciplinas deportivas, y solo de manera reciente, desde una mirada más amplia, se establecen contenidos que articulan el aprendizaje y la práctica deportiva con la potenciación de todas las dimensiones del desarrollo del sujeto. Con tal fin se establecen,

a partir de evidencias científicas, relaciones entre el aprendizaje deportivo y habilidades motoras, sociales, cognitivas y morales de los escolares (Pastorino y Sarni, 2010).

La formación de un licenciado en deporte o profesional en las ciencias del deporte, desde una perspectiva educativa, puede contribuir a aportar un enfoque multidisciplinar al entrenador o formador, facilitando la interacción, desde las ciencias del deporte, con médicos, fisioterapeutas, fisiólogos y preparadores físicos que tienen el objetivo de analizar los problemas del deportista de alto rendimiento de manera estructural, optimizando los recursos humanos y materiales, en pro de la mejora del deportista. Así, "las soluciones son de naturaleza multidisciplinaria y el entorno de resolución de problemas fomenta el pensamiento fuera de los límites tradicionales de cada área de las ciencias del deporte" (Wayne, 2018, p. 12).

Desde la mirada del formador en deporte, el conocimiento didáctico posibilita al profesional un reportorio de modelos que deben ajustarse a las características de cada población. De este modo, la edad, el género, el grupo poblacional, la intencionalidad de la práctica deportiva, entre otros aspectos, serán determinantes a la hora de elegir la puesta en escena de las situaciones de enseñanza y aprendizaje que se brindan al practicante.

En tal sentido, el componente didáctico se constituye en un eje articulador que permite a los profesionales del deporte aprovechar conocimientos desarrollados desde las ciencias del deporte y decantarlos hasta constituirse en saberes enseñables, práxicos y tangibles para el practicante del deporte. En esta perspectiva, afirma Gómez (2019):

> El conocimiento de la materia implica haber aprendido un quantum disciplinar necesario para la enseñanza, en cuanto a conceptos y procedimientos típicos del campo, que esté balanceado con conocimientos sustantivos y sintácticos acerca del dominio disciplinar y haber podido poner en perspectiva critica las creencias previas referidas a dichos conocimientos y a los modos de justificación y legitimación de estos. Esta vuelta reflexiva sobre el saber disciplinar está en la base de la generación de condiciones para producir conocimiento didáctico, es decir, el complejo de representaciones, modelos, situaciones, tareas y secuencias que escenifiquen el saber en condiciones enseñables. (p. 15)

La tarea de formar a los maestros y entrenadores que se ocupan del deporte, tanto de iniciación como de rendimiento, implica partir de la formación en lo disciplinar, desde el aporte de las ciencias del deporte, manteniendo la perspectiva interdisciplinar y estructural que permita diluir las líneas que separan a los campos disciplinares de las ciencias del deporte. En palabras de Wayne (2018), la supraespecialización de algunos académicos del deporte puede alejarlos de los problemas reales que tienen deportistas y entrenadores. En tal sentido, los maestros y entrenadores en formación no podrán desconocer la importancia del contexto como elemento fundamental para el diseño de situaciones de aprendizaje.

COMO CONCLUSIÓN

El deporte es un fenómeno que despierta en la actualidad el interés de diferentes disciplinas biomédicas, económicas y humanísticas, enfocadas en explicarlo desde su carácter práctico o su incidencia como hecho social. Como campo de desarrollo científico, pese a ser considerado como una disciplina joven, demuestra en la actualidad un alto nivel de producción científica, reflejada en el significativo número de revistas de alto impacto, programas de formación universitaria para profesionales del campo y en la constitución de redes y asociaciones de académicos e investigadores.

A la par de su desarrollo científico, siguen vigentes las discusiones sobre su objeto de estudio y sobre la necesidad de definir métodos propios y particulares para el campo científico del deporte. Tal como se ha dado el proceso en la consolidación de otras disciplinas científicas, el deporte sigue siendo no solo objeto de estudio, sino que continúa generando debates respecto a su capacidad para incidir en los procesos formativo de las personas de diferentes grupos etarios, por lo que su presencia en el campo educativo genera grandes controversias y expectativas relacionadas con su carácter enseñable.

REFERENCIAS

Araujo, A. (1998). *De las ciencias del deporte a la ciencia del deporte*. Educación física e deporte no século xxi: Simposio Internacional de Consenso José María Cacigal: Obxeto de estudio das ciencias da actividade física e o deporte. https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=1231427

Barbero, J. (1991). Sociología del deporte, configuración de un campo. *Revista de Educación, 295*, 345-378.

Bishop, D., Burnett, A., Farrow, D., Gabbett, T. y Newton, R. (2006) Sports-science roundtable. Does sports-science research influence practice? *International Journal of Sports Physiology and Performance, 1,* 161-168.

Blanchard, K. y Cheska, A. (1986). *Antropología del deporte.* Bellaterra.

Gómez, R. (2019). *Escenificar el saber en contexto enseñables. El papel del conocimiento de la materia en la construcción de competencias didácticas en la Educación Física*. 13 Congreso Argentino de Educación Física. Facultad de Humanidades y Ciencias de la Educación Ensenada, 30 de septiembre al 4 de octubre.

Hoffman, J. R. (2002). *Physiological aspects of sport. Training and performance*. Human Kinetics.

Hoyos, L. (2022). La influencia de Comenio en los modelos didácticos para la enseñanza actual del deporte escolar. En M. Prada y D. Rubio (Eds.). *Comenio, 350 años después. Cátedra Doctoral 12*. (pp. 289-309). Universidad Pedagógica Nacional.

Huizinga, J. (1957). *Homo ludens*. Emecé Editores.

Kelly, V. (2018). Sport science: Many are getting it right. *Move magazine* [en línea]. https://www.researchgate.net/publication/329197561_sports_science_many_are_getting_it_right

Kenney, W., Wilmore, J. y Costill, D. (2014). *Fisiología del deporte y el ejercicio.* Human Kinetics.

Olivera-Betrán, J. y Torrebadella-Flix, X. (2015). Del sport al deporte. Una discusión etimológica, semántica y conceptual en la lengua castellana. *Revista Internacional de Medicina y Ciencias de la Actividad Física y el Deporte, 15*(57), 61-91.

Osúa, J. (2018). Manuel Vázquez Montalbán: una teoría crítica del deporte. *Monografías de la Revista CCD, 14*(13), 157-166.

Pastorino, I., Sarni, M. (2010). ¿Qué deporte en la Escuela?. *Revista Universitaria de la Educación Física y el Deporte, 3*(3), 41-48.

Pérez, E. y Estrada, O. (2015). Historia de la psicología del deporte. *Apuntes de Psicología, 33*(1), 39-46.

Rodríguez, L. P. (2003). *Compendio histórico de la actividad física y el deporte*. Masson.

Torres, F. (2017). *El deporte, aspectos sociales de una práctica corporal*. Obra Abierta Ediciones.

Vargas, C. (2012). Ciencias del deporte: evolución de aspectos teóricos científicos. *Entramado, 8*(1), 140-165.

Vargas, C. y Rittner, V. (2017). *Teoría científica del deporte. el deporte como objeto de estudio y sistema social.* Editorial Grin.

Vélez, B. (1992). Sociología del deporte, algunos problemas teóricos y epistemológicos. *Educación Física y Deportes, 14*, 2-8.

Wayne, G. (2018). *Sports science: observations of philosophies in sports science and sports medicine in high performance sport*. WG Coaching. https://wgcoaching.com/sports-science-observations-of-philosophies-in-sports-science-and-sports-medicine-in-high-performance-sport/ }

Sobre los autores

Ángel Daniel López y Mota

Ph. D. en Science Education por el Institute of Education, University of London. Docente normalista, estudios de química, Licenciatura en Pedagogía en la UNAM. Profesor-investigador titular en la Universidad Pedagógica Nacional-Ajusco (México) desde 1981, integrante del cuerpo académico Educien; se ha desempeñado como coordinador de posgrado en la UPN. Es miembro del Sistema Nacional de Investigadores del Conacyt desde el año 2000 y es parte del Consejo Mexicano de Investigación Educativa. Ha formado recurso humano en licenciatura, maestría y doctorado, presentado ponencias en congresos nacionales e internacionales y publicado artículos en revistas especializadas y de difusión, así como diversos capítulos de libros relativos a la didáctica de la ciencia. Actualmente está dedicado a investigar acerca del diseño y validación de secuencias didácticas en el campo de las ciencias naturales, con sustento teórico en modelos y modelización y sus correlatos en epistemología y ciencias cognitivas.

Correo electrónico: alopezm@upn.mx
Orcid: https://orcid.org/0000-0003-3065-557X

Claudia Salazar Amaya

Doctora en Educación del Doctorado Interinstitucional en Educación sede Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Magíster en Docencia de las Matemáticas de la Universidad Pedagógica Nacional. Especialista en Educación Matemática con énfasis en Básica Secundaria y Licenciada en Matemáticas de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Profesora de planta de la Universidad Pedagógica Nacional, adscrita al Departamento de Matemáticas desde el 2003. Desempeño docente en la Licenciatura en Matemáticas, la Maestría en Docencia de la Matemática y el Doctorado Interinstitucional en Educación. Integrante del grupo de investigación Didáctica de la matemática en la línea Educación matemática, diversidad y subjetividades. Sus publicaciones y experiencia investigativa se relacionan con: investigación narrativa en educación matemática; resolución de problemas y modelación matemática desde la perspectiva crítica y sociopolítica; escenarios y ambientes de aprendizaje en la clase de matemáticas; subjetividades e intersubjetividades de distintos actores de la red de prácticas de la educación matemática.

Correo electrónico: csalazar@pedagogica.edu.co
Orcid: http://orcid.org/0000-0003-0147-0349

Diana Lineth Parga Lozano

Profesora titular, en carrera docente desde el 2006 en la Universidad Pedagógica Nacional, en los programas del Departamento de Química (Licenciatura en Química y Maestría en Docencia de la Química) y en el Doctorado Interinstitucional en Educación. Es licenciada en Biología y Química por la Universidad del Tolima. Magíster en Docencia de la Química por la Universidad Pedagógica Nacional (UPN), con especialización en Epistemología del Sur. Doctora en Educación en Ciencias por la Universidad Estadual Paulista, UNESP, Júlio de Mezquita Filho-Bauru (SP, Brasil). Su experiencia docente, investigativa y sus publicaciones se han centrado en el campo de la didáctica de las ciencias, en las líneas del conocimiento didáctico del contenido (CDC) y ambientalización curricular; ciencia, tecnología, sociedad y ambiente (CTSA), desarrolladas en

el grupo de investigación Alternativas para la enseñanza de las ciencias, Alternaciencias (grupo A1), del que es investigadora senior y coordinadora. Actualmente, Editora de la Revista *Tecné, Episteme y Didaxis* (TED).

Correo electrónico: dparga@pedagogica.edu.co
Orcid: https://orcid.org/0000-0002-7899-0767

Edgar Alberto Guacaneme Suárez

Doctor y magíster en Educación con énfasis en Educación Matemática de la Universidad del Valle (Cali, Colombia) y licenciado en Ciencias de la Educación, especialidad en Matemáticas de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas (Bogotá, Colombia). Profesor de planta de la Universidad Pedagógica Nacional, adscrito al Departamento de Matemáticas desde el 2003. Desempeño docente en la Licenciatura en Matemáticas, la Maestría en Docencia de la Matemática y el Doctorado Interinstitucional en Educación. Líder del equipo de investigación Research on Mathematics Teacher Education (RE-MATE) y director/asesor de 20 tesis de formación avanzada y 22 trabajos de grado de pregrado. Líder en la conformación de la Red Colombiana de Formadores de Profesores de Matemáticas (Redforma). Sus principales temáticas de trabajo son la relación historia de las matemáticas-educación matemática, la formación del profesor de matemáticas, la proporcionalidad y el pensamiento variacional.

Correo electrónico: guacaneme@pedagogica.edu.co
Orcid: https://orcid.org/0000-0002-3131-1579

Édgar Orlay Valbuena Ussa

Doctor en Didáctica de las Ciencias Experimentales por la Universidad Complutense de Madrid (España), magíster en Biología por la Universidad de los Andes (Colombia), licenciado en Biología por la Universidad Pedagógica Nacional (Colombia). Coordinador del grupo de investigación Conocimiento profesional del profesor de ciencias. Profesor de los programas de Licenciatura en Biología y Maestría de Estudios Contemporáneos en Enseñanza de la Biología de la

Universidad Pedagógica Nacional (Colombia) y del Doctorado Interinstitucional en Educación (Universidad Pedagógica Nacional, Universidad Francisco José de Caldas y Universidad del Valle, Colombia). Editor de la revista científica *Bio-grafía, escritos sobre la biología y su enseñanza*. Experiencia investigativa en los campos del conocimiento didáctico del contenido, relaciones entre el conocimiento profesional del profesor de ciencias y el conocimiento escolar, trabajos prácticos en la enseñanza de las ciencias y enseñanza de las ciencias en primaria.

Correo electrónico: valbuena@pedagogica.edu.co
Orcid: https://orcid.org/0000-0003-4185-3862

Fidel Antonio Cárdenas Salgado

Licenciado en Educación con estudios principales en Química por la Universidad Pedagógica Nacional, magíster en Enseñanza de Ciencias y Matemáticas por la Universidad Estatal de Campinas (Brasil). Ph. D. Chemistry por la Strathclyde University-Glasgow (Reino Unido). Visiting Scholar Graduate School of Education, University of Queensland-Brisbane (Australia). Teaching Training in Science Education, University of East Anglia-Norwich (Reino Unido). Science Evaluation Research Fellow, Centre for Science Education Chemistry Department University of Glasgow (Glasgow. UK). Profesor titular del Departamento de Química de la UPN. Cofundador del Programa Interinstitucional de Doctorado en Educación y del grupo de investigación Ciencia, acciones y creencias, categoría A de Minciencias. Investigador emérito Minciencias. Ha sido docente e investigador en los programas de Licenciatura en Química, Maestría en Docencia de la Química y Doctorado Interinstitucional en Educación. Tiene experiencia y publicaciones nacionales e internacionales en el campo de la educación en ciencias en temas como aprendizaje de los conceptos científicos, preconcepciones de los alumnos e implicaciones didácticas, evaluación del aprendizaje, alineamiento constructivo y dificultades de aprendizaje.

Correo electrónico; cardenas@pedagogica.edu.co
Orcid: http://orcid.org/0000-0002-4051-7894

Irma Catherine Bernal Castro

Doctora y magíster en Filosofía de la Ciencia por la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), licenciada en Biología por la Universidad Pedagógica Nacional de Colombia (UPN). Profesora de la UPN, adscrita al Departamento de Biología. Integrante del grupo de investigación Conocimiento profesional del profesor de ciencias, categoría A de Minciencias. Tiene experiencia y publicaciones nacionales e internacionales en el área de historia, filosofía y estudios sociales de la ciencia naturales, la evolución del comportamiento prosocial, cognición social y moralidad, filosofía de la biología y relaciones entre la historia, la filosofía y la enseñanza de las ciencias naturales.

Correo electrónico: icbernalc@pedagogica.edu.co
Orcid: https://orcid.org/0000-0003-1912-0312

Isabel Garzón Barragán

Doctora en Didáctica de las Ciencias Experimentales, Universidad de Valencia (España), magíster y especialista en Ciencias Físicas de la Universidad Nacional de Colombia y licenciada en Física de la Universidad Pedagógica Nacional (UPN). Profesora asociada de planta del Departamento de Física de la UPN, en los programas de Licenciatura en Física, Maestría en Docencia de las Ciencias Naturales y Doctorado Interinstitucional en Educación. Integrante del grupo de investigación Alternaciencias, categoría A1 de Minciencias. Tiene experiencia y publicaciones nacionales e internacionales en enseñanza de la física, educación en ciencias con enfoque CTSA, formación de profesores, cuestiones sociocientíficas, cuestiones socioambientales y formación ecociudadana.

Correo electrónico: igarzon@pedagogica.edu.co
Orcid: https://orcid.org/0000-0001-5348-6153

Jenny Johanna Duarte Díaz

Doctora en Educación del Doctorado Interinstitucional de Educación, sede Universidad Pedagógica Nacional. Magíster en Estudios Amazónicos de la Universidad Nacional de Colombia, sede Amazonia. Especialista en Enseñanza de la Biología y Licenciada en Biología de la Universidad Pedagógica Nacional. Docente activa de la Secretaría de Educación Distrital, en educación básica secundaria y media fortalecida. Líder del grupo de investigación Innovación e investigación-concepción, avalado por el Instituto para la Investigación Educativa y el Desarrollo Pedagógico (IDEP). Integrante del grupo de investigación Conocimiento profesional del profesor en ciencias, categoría A de Minciencias. Investigadora junior. Ha publicado diversos artículos en temas relacionados con la educación ambiental escolar, conocimiento didáctico del contenido en educación ambiental, epistemología de la educación ambiental y experiencias de innovación en la escuela sobre la educación ambiental.

Correo electrónico: jjduarte@educacionbogota.edu.co
Orcid: https://orcid.org/0000-0002-3770-3768

Julio Alejandro Castro Moreno

Doctor en Filosofía de la Ciencia por la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), magíster en Docencia de la Química y especialista en Docencia de las Ciencias para el Nivel Básico por la Universidad Pedagógica Nacional de Colombia (UPN) y licenciado en Biología por la Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Profesor de planta de la UPN, adscrito al Departamento de Biología y al Doctorado Interinstitucional en Educación (énfasis de Educación en Ciencias). Integrante del grupo de investigación Conocimiento profesional del profesor de ciencias, categoría A de Minciencias. Investigador junior. Ha publicado diversos artículos en revistas nacionales e internacionales, en temas como las relaciones entre la historia, la filosofía y la didáctica de las ciencias y los vínculos entre bioética, educación y enseñanza de la biología.

Correo electrónico: jcastro@pedagogica.edu.co
Orcid: https://orcid.org/0000-0002-5864-0954

Leonardo Fabio Martínez Pérez

Doctor en Educación en Ciencias por la Universidad Estadual Paulista-UNESP (Brasil). Licenciado en Química y magíster en Docencia de la Química por la Universidad Pedagógica Nacional (UPN). Profesor titular del Departamento de Química de la UPN. Fundador del grupo de investigación Alternaciencias, categoría A1 de Minciencias. Investigador senior 2016-2021, actualmente investigador asociado. Fue editor de la revista *Tecné, Episteme y Didaxis* en el periodo 2015-2017, decano de la Facultad de Ciencia y Tecnología en 2016-2018 y rector de la Universidad Pedagógica Nacional en 2018-2022. Actúa como docente e investigador de los programas Licenciatura en Química, Licenciatura en Ciencias Naturales y Educación Ambiental, Maestría en Docencia de la Química y en el Doctorado Interinstitucional en Educación. Tiene experiencia y publicaciones nacionales e internacionales en el área de la enseñanza de las ciencias en los temas del enfoque CTSA, la formación de profesores, las cuestiones sociocientíficas, la argumentación, la epistemología de las ciencias y educación superior.

Correo electrónico: lemartinez@pedagogica.edu.co
Orcid: https://orcid.org/0000-0001-8884-8847

Leonor Camargo Uribe

Doctora en Didáctica de la Matemática de la Universidad de Valencia (España). Magíster en Docencia de las Matemáticas de la Universidad Pedagógica Nacional. Especialista en Educación Matemática de la Universidad Pedagógica Nacional. Licenciada en Química y Matemáticas de la Universidad Pedagógica Nacional. Profesora titular e investigadora del Departamento de Matemáticas de la Universidad Pedagógica Nacional. Desempeño docente en la Licenciatura en Matemáticas, la Maestría en Docencia de la Matemática y el Doctorado Interinstitucional en Educación. Líder del equipo de investigación Didáctica de las matemáticas, clasificado en B por Minciencias. Su trabajo investigativo ha estado centrado en las líneas de argumentación y prueba en geometría, tecnología y educación matemática y aprendizaje y enseñanza de la geometría.

Correo electrónico: lcamargo@pedagogica.edu.co
Orcid: https://orcid.org/0000-0002-2237-7306

Libia Stella Niño Zafra

Doctora en Pedagogía por la Universidad de Valencia (España). Magíster en Science Educational Psychology, University of Wisconsin (Milwaukee-USA), licenciada en Psicopedagogía de la Universidad Pedagógica Nacional. Fundadora del Grupo Evaluándo_nos, categoría A de Minciencias e investigadora emérita, 2015. Ha sido jurado y directora de tesis de la Maestría y del Doctorado Interinstitucional en Educación. Tiene publicaciones en revistas nacionales en el área de currículo, evaluación y políticas educativas en evaluación. Ha participado en investigaciones con el Ministerio de Educación y el Instituto de Investigaciones en Educación y Pedagogía, de la Secretaría de Educación del Distrito Capital de Bogotá, desde miradas críticas y formativas.

Correo electrónico: libias@pedagogica.edu.co,
Orcid: https://orcid.org/0000-0001-9082-1221

Luz Amelia Hoyos Cuartas

Doctora con Mención Europea en Ciencias de la Actividad Física y el Deporte. Trabajos principales en deporte escolar, actividad física y discapacidad, estudios sociales del deporte y bioética y deporte. Autora de libros y artículos científicos relacionados con deporte escolar, actividad física, discapacidad y estudios sociales del deporte. Miembro del comité editorial y el comité científico en revistas internacionales arbitradas. Presidenta de la Asociación Latinoamericana de Estudios Sociales y Culturales del Deporte (Alesde). Representante para Colombia de la International Association of Physical Education and Sport for Girls and Women (IAPESGW). Miembro de la Comisión de Equidad de Género del Comité Olímpico Colombiano (COC), par evaluadora de Colciencias. Directora del posgrado en Discapacidad, Educación Física, Recreación y Deporte de la Corporación Universitaria Cenda. Docente del Doctorado en Educación y coordinadora de la Licenciatura en Deporte, Universidad Pedagógica Nacional. Investigadora asociada (I) en Colciencias. Par internacional, Sistema Nacional de Acreditación de la Educación Superior-Sinaes (Costa Rica).

Correo electrónico: lhoyos@pedagogica.edu.co
Orcid: https://orcid.org/0000-0001-5362-5272

María Rocío Pérez Mesa

Doctora en Educación del Doctorado Interinstitucional en Educación sede Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Magíster en Educación por la Universidad Pedagógica Nacional. Especialista en Educación Ambiental por la Universidad El Bosque. Licenciada en Biología por la Universidad Pedagógica Nacional. Profesora titular de planta adscrita al Departamento de Biología en los programas de Licenciatura en Biología y Maestría en Estudios Contemporáneos en Enseñanza de la Biología y al Doctorado Interinstitucional en Educación en el énfasis de Educación en Ciencias. Coordinadora de la línea de investigación Educación en ciencias y formación ambiental, que hace parte del grupo Educación en ciencias, ambiente y diversidad, categorizado en A por Minciencias. Ha publicado artículos en revistas nacionales e internacionales en temas relacionados con educación ambiental, didáctica de las ciencias, formación de profesores de ciencias y educación en biodiversidad.

Correo electrónico: mperez@pedagogica.edu.co
Orcid: https://orcid.org/0000-0001-8951-1488

Óscar Javier Molina Jaime

Doctor en Educación Matemática de la Universidad de Los Lagos (Chile), magíster en Docencia de la Matemática y licenciado en Matemáticas con énfasis en Computación de la Universidad Pedagógica Nacional (Colombia). Profesor de planta e investigador de la Universidad Pedagógica Nacional, adscrito al Departamento de Matemáticas desde el 2009. Desempeño docente en la Licenciatura en Matemáticas, la Maestría en Docencia de la Matemática y el Doctorado Interinstitucional en Educación. Líder del grupo de investigación Aprendizaje y enseñanza de la geometría, subgrupo del equipo de investigación Didáctica de las matemáticas, clasificado en B por Minciencias. Sus trabajos e intereses investigativos, sus publicaciones y asesorías de trabajos de grado se han focalizado en las líneas de argumentación y prueba en geometría, tecnología y educación geométrica, aprendizaje y enseñanza de la geometría y formación de profesores de geometría.

Correo electrónico: ojmolina@pedagogica.edu.co
Orcid: https://orcid.org/0000-0003-4797-1173

Pedro Nel Zapata Castañeda

Doctor en Educación, magíster en Docencia de la Química y licenciado en Química de la Universidad Pedagógica Nacional, y especialista en Docencia de la Química de la Universidad Javeriana. Profesor asociado de planta del Departamento de Química de la Universidad Pedagógica Nacional. Integrante del grupo de investigación Ciencias, acciones y creencias, con categoría A de Minciencias. Profesor de psicología cognitiva en el programa de Licenciatura en Química y profesor del Doctorado Interinstitucional en Educación. Sus áreas de trabajo e interés investigativo son el aprendizaje de las ciencias, evaluación del aprendizaje, epistemología genética, psicología cognitiva, estilos de aprendizaje y cognitivos, habilidades de pensamiento y políticas de educación en ciencia, tecnología y sociedad.

Correo electrónico: pzapata@pedagogica.edu.co
Orcid: https://orcid.org/0000-0001-7042-8983l

Pedro Rocha dos Reis

Biólogo y doctor en didáctica de las ciencias por la Facultade de Ciências da Universidade de Lisboa (Portugal). Actualmente es profesor asociado con habilitación para catedrático del Instituto de Educação da Universidade de Lisboa. Se dedica hace varios años a la formación inicial y continua de profesores de todos los niveles de enseñanza, de infantil a secundaria. Dirige trabajos de maestría y de doctorado en las áreas de: desarrollo profesional de los profesores; discusión de temas controvertidos como metodología educativa; capacitación de profesores y alumnos para una ciudadanía activa sobre problemas sociales y medioambientales; e integración de las herramientas Web 2.0 en la educación en ciencias. Participa en proyectos de investigación, formación docente y desarrollo curricular en Portugal y otros países europeos, Angola, Cabo Verde, São Tomé y Príncipe y Brasil (financiados por la Comisión Europea, el Banco Mundial, la Fundación Calouste Gulbenkian y diversos gobiernos). Actúa como profesor invitado en programas de maestría y doctorado en

la Universidad Internacional de Andalucía (España), Universidad de Huelva (España), Universidad Pedagógica Nacional (Colombia), Universidad Distrital Francisco José de Caldas (Colombia) y Universidade Estadual Paulista-UNESP (Brasil)

Correo electrónico: preis@ie.ulisboa.pt
Orcid: https://orcid.org/0000-0002-9549-2516

Rosa Nidia Tuay-Sigua

Doctora en Lógica, Historia y Filosofía de la Ciencia por la Universidad Nacional de Educación a Distancia-UNED (España). Licenciada en Física y magíster en Docencia de la Física de la Universidad Pedagógica Nacional-UPN (Colombia). Profesora de planta del Departamento de Física de la UPN. Líder del grupo de investigación Educación en ciencias, ambiente y diversidad-EduCADiverso, categoría A de Minciencias. Ha actuado como docente e investigadora de los programas de Licenciatura en Física, Maestría en Docencia de las Ciencias Naturales y Doctorado Interinstitucional en Educación. Tiene experiencia y publicaciones nacionales e internacionales en el área de la enseñanza de las ciencias en los temas del enfoque CTSA, la formación de profesores, historia y filosofía de las ciencias y educación en ciencias.

Correo electrónico: rtuay@pedagogica.edu.co
Orcid: https://orcid.org/0000-0002-2040-2854

William Manuel Mora Penagos

Licenciado en Química y magíster en Docencia de la Química por la Universidad Pedagógica Nacional, especialista en Análisis Orgánico Estructural por la Pontificia Universidad Javeriana, y doctor en Educación Ambiental por la Universidad de Sevilla (España). Integrante de los grupos de investigación Didaquim (UD) y Alternaciencias (UPN). Su experiencia docente e investigativa se ha desarrollado en el campo de la didáctica de la química, en las líneas del CDC (PCK), e historia y epistemología de la química. A partir del 2012, en el Doctorado Interinstitucional en Educación (DIE-UD) de la Universidad Distrital Francisco

José de Caldas, lidera la línea de investigación sobre Inclusión de la dimensión ambiental en la educación en ciencias, específicamente en proyectos de: cuestiones socioambientales, justicia socioambiental y bioética ambiental: diseño curricular y formación docente; y compromiso ambiental de las instituciones de educación superior: inclusión de la dimensión ambiental a la función docente.

Correo electrónico: wmmorap@udistrital.edu.co
Orcid: https://orcid.org/0000-0003-4289-4842

Yair Alexander Porras Contreras

Doctor en Innovación e Investigación en Didáctica por la Universidad Nacional de Educación a Distancia-UNED (España). Magíster en Docencia de la Química de la Universidad Pedagógica Nacional de Colombia. Licenciado en Química de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Profesor de planta del Departamento de Química de la Universidad Pedagógica Nacional, docente e investigador de los programas de Licenciatura en Química, Maestría en Docencia de la Química y Doctorado Interinstitucional en Educación. Pertenece al grupo de investigación Educación en ciencias, ambiente y diversidad-EduCADiverso, categoría A de Minciencias. Su experiencia investigativa y productividad se circunscriben a la didáctica de las ciencias experimentales, la educación ambiental y la formación de profesores de ciencias.

Correo electrónico: yporras@pedagogica.edu.co.
Orcid: https://orcid.org/0000-0002-7111-0632

Índice Temático

A

Acción sociopolítica, 145, 149, 151, 154, 319, 321, 451

Actitud científica, 451

Actividades de Enseñanza aprendizaje, 451

Activismo juvenil, 29, 144, 150–152, 155, 157–158, 451

Activismo responsable, 451

Alfabetización ambiental, 208, 216, 451

Alfabetización científica, 149–151, 192, 202, 206–207, 224, 308–309, 451

Alineamiento Constructivo, 32–33, 343–344, 347, 442, 451

Ambientalización curricular, 27, 208, 440, 451

Aprendizaje y neuroeducación, 451

C

Cambio conceptual, 27, 38, 41–43, 126, 186, 451

Cambio global ambiental, 174, 182, 451

Campo científico, 429, 435, 451

Carácter práctico de la ciencia, 451

Ciencia post normal, 451

Ciudadanía ambiental, 25, 27, 29, 117, 144–145, 156, 158, 176, 192, 294, 451

Confianza pública en la ciencia, 451

Conocimiento científico, 28, 35, 37, 41–42, 47, 49–55, 61–62, 74–75, 88, 94–95, 105, 133, 178–179, 181, 275, 282, 297–298, 345, 426, 451

Conocimiento declarativo, 32–33, 452

Conocimiento del profesor de matemáticas, 411, 452

Conocimiento Didáctico del Contenido, 27, 31, 35, 128, 192–193, 204, 214, 224, 232–233, 240, 244, 247, 440, 442, 444, 452

Conocimiento escolar, 35, 42, 125, 127–128, 442, 452

Conocimiento funcional, 452

Conocimientos docentes, 452

Constructivismo, 43, 45, 47, 52, 122–123, 127, 347, 452

Contexto educativo, 35, 452

COVID-19, 23, 25, 27–28, 32, 67–70, 76–77, 81, 83–90, 92–94, 97, 103, 171, 273–275, 284, 310, 319, 322, 452

Crisis Ambiental, 104, 114, 187, 256–257, 274–275, 279, 302, 317, 452

Crisis planetaria, 27, 29, 122, 125, 134, 452

CSC, 32, 127, 190–192, 210–211, 216, 307–319, 321–322, 452

Cuestiones socialmente vivas, 32, 194, 310, 318, 452

Cuestiones socioambientales, 452

Cuestiones sociocientíficas, 27, 32, 127, 151, 190–192, 210, 219, 307, 310–311, 313, 322, 443, 445, 452

D

Deporte moderno, 34–35, 423–426, 452

Didáctica de las ciencias, 27–29, 35–42, 44, 47, 49, 52–53, 55, 61, 65, 122–127, 129–130, 132, 188, 193, 357, 440–441, 443–444, 447–448, 450, 452

Didácticas puente EC/EA, 452

Dimensión afectiva, 11, 104, 112, 115, 117, 266, 452

E

Educación Ambiental, 26–27, 29–30, 32, 35, 108, 115, 169, 175, 182, 184–186, 192–194, 201–204, 222–223, 231–232, 236–240, 242, 258, 260, 294, 309–310, 313–317, 321, 444–445, 447, 449–450, 452–453

Educación ambiental escolar, 444, 452

Educación ambiental y sustentable, 182, 193, 452

Educación científica, 28, 69, 98, 103, 105, 117, 144, 150, 181–182, 185, 187, 190–191, 206, 213, 223–224, 452

Educación científica filosóficamente fundamentada, 28, 69, 452

Educación en ciencias, 25–31, 38, 40–41, 45, 62, 67–69, 94, 96–97, 104–105, 121–122, 130, 133, 138, 143, 157, 169, 184–185, 187, 191–193, 201, 204–205, 214, 217, 222–223, 273, 275–280, 285, 289, 292–302, 343, 347, 396, 440, 442–445, 447–450, 452

Educación resiliente, 27, 29, 169, 174, 182, 184, 195, 452

Educción química, 452

Ejes potenciadores, 452

Enfoque de competencias, 32, 280–282, 288, 293, 295–296, 452

Enseñabilidad, 32, 34, 423, 433, 452

Enseñanza CTSA, 32, 310, 313, 315, 452

Enseñanza de las ciencias, 30, 32, 41, 46, 53, 61–62, 125–127, 144, 208, 214, 307, 309–310, 312–315, 317–319, 321–322, 345, 350, 353, 441–443, 449, 452

Evaluación auténtica, 32–33, 343, 346–347, 352–356, 452

Extinción, 134–135, 155, 171, 195, 275, 312, 453

F

Formación avanzada, 407, 441, 453

Formación ciudadana, 104, 109, 295–296, 308–309, 315, 318, 453

Formación de Profesores, 26, 32–34, 124, 128–129, 195, 203, 205, 207–208, 213, 218, 243, 307–308, 312, 322, 363, 365, 396, 398, 402–405, 407–408, 410–411, 413, 417, 443, 445, 447, 449–450, 453

Formación ecociudadana, 27, 31, 273, 443, 453

Formación inicial, 34, 129, 192, 207, 248, 257, 365, 382–383, 385–386, 448, 453

Formación profesional, 125, 386–387, 404, 407, 419–420, 453

G

Geometría dinámica, 382, 385, 388–389, 453

H

Habilidades de pensamiento, 33, 133, 358, 448, 453

I

Ideas previas, 27, 37–39, 453

Identidad Ambiental, 27, 31, 107–108, 115–116, 253, 255–257, 261–269, 453

Identidad docente, 32, 453

Inteligencia artificial, 27, 29, 121–122, 135, 170, 177, 453

Investigación, 26–27, 29, 32, 34–42, 45–52, 58, 61–65, 74, 76, 83, 85, 90, 92, 103–104, 106, 112, 122, 124–126, 132–133, 138, 145, 149, 151–153, 156–157, 182, 184–186, 191–192, 202, 204–205, 207, 209, 217, 221–222, 231–232, 235–236, 240–243, 245, 247–249, 253, 260, 273, 281, 294, 307, 309–312, 317–318, 321–322, 329–330, 346, 351, 357, 383, 389, 398–399, 406–410, 412–413, 418, 420, 426–427, 431–432, 439–445, 447–450, 453

J

Justificación de creencias, 88, 453

L

Libertades fundamentales, 285–288, 293–294, 453

M

Modelización, 27–28, 37–38, 46–47, 49–54, 62, 235, 439, 453

Modelo 3P, 348, 453

Modelos, 20, 27–28, 30, 37–38, 40, 46–57, 59–62, 72, 123, 128, 147, 188, 207, 210, 212–213, 215, 219, 233–235, 277, 283, 317, 332–333, 409, 434, 439, 453

N

Neuroaprendizaje, 453

Nuevo contrato social de las ciencias, 30, 194, 453

P

Pandemia, 23, 25, 28, 67, 69, 77, 79, 81, 84, 86–87, 90, 94–98, 103, 130, 138, 273–275, 284, 319–321, 417, 453

Paradigma, 29, 110, 122–123, 127, 129–133, 172, 174, 188, 214, 278–280, 285, 330, 408, 418, 420, 453

Pensamiento espontáneo, 38–39, 41, 50, 52, 55–56, 58–61, 453

Perspectiva crítica, 109, 440, 453

Prácticas docentes, 187, 453

Profesor de matemáticas, 34, 395–414, 416, 441, 452–453

Profesores Área Ciencias Naturales, 453

Profesores de Educación Ambiental, 247, 453

Pruebas estandarizadas

R

Racionalidad, 28, 68–73, 76, 88–91, 94–97, 104, 110, 124, 172–173, 176, 178–180, 184, 274, 276–277, 281, 314, 338, 367–368, 399, 412–413, 416–417, 431, 453

S

Saber, 2 4, 33–34, 59, 71, 74, 96, 110, 125, 153, 178–180, 184–185, 204, 242, 247, 256, 275, 278, 281–282, 296, 305, 317, 326, 330, 332–333, 335–340, 346, 383–384, 396–399, 407, 409–410, 412–420, 434, 453

Secuencias didácticas, 38, 47–50, 52–53, 55, 58, 439, 453

Ser, 15–17, 19–24, 33–34, 41, 43, 46–47, 50, 54, 56–59, 67, 70, 73–77, 80–83, 89, 92–94, 98, 109, 134–136, 138, 143, 146–147, 149–150, 153, 155–157, 175, 177, 179, 181, 183–184, 187, 191, 195, 202, 204–206, 210–212, 214–216, 220, 223–224, 232, 237, 244–245, 248, 256, 261, 263–269, 277–279, 281, 283, 285–288, 290–296, 298–300, 302, 307, 319–321, 326, 328, 330, 332, 334, 343–345, 348–349, 351, 354–355, 357, 364, 366, 372–375, 379, 383, 387, 396–405, 407–408, 412–420, 424, 428, 431, 435

Sostenibilidad, 26–27, 29–30, 125–126, 134, 151, 169, 172, 174, 180, 182, 184–187, 193, 206–207, 209–210, 214–215, 253, 316, 419, 453

Subjetividad docente, 453

Sustentabilidad, 27, 30, 32, 109–110, 169, 172–173, 182, 184–185, 188, 193–195, 201–202, 204–205, 208–209, 211–220, 224, 253, 256, 261–262, 307, 309–310, 312–313, 316–319, 321–322, 403, 454

Sustentabilidad ambiental, 27, 30, 32, 109–110, 188, 194, 201–202, 204, 208, 211–213, 217, 219–220, 222–225, 307, 309–310, 312–313, 316, 318–319, 321–322, 454

T

Taxonomía SOLO, 348–349, 351, 353, 454

TIC, 7, 27, 29, 121–122, 127, 129–131, 133, 154, 185, 190, 309, 345, 454

Tipos de argumentos, 364, 368, 375, 454

Toma de decisiones, 68–69, 88–90, 95, 105, 144–147, 151, 158, 170, 173, 176, 180, 186–187, 189, 193, 195, 210, 216, 223, 295, 308, 315, 321, 333, 348, 454

Transdisciplinariedad, 133, 180, 336, 454

Transformación social, 27, 29, 143, 157, 454

V

Vacuna, 68–69, 81–84, 86–89, 91–94, 98, 454

Índice Onomástico

A

AAAS, 96, 98,
Abell, 233,
Abric, 255, 259
Adams, 149,
Adar, 346,
Adúriz-Bravo, 48–49, 54–55, 62
Agostinho, 153
Aguilera, 126,
Albujar, 238
Alcaraz, 329, 333
Alier, 109
Al-Naeme, 345
Alsop, 148–152
Andler, 74, 98
Andrade, 152
Andraos, 208–209
Ángel-Maya, 115, 117
Anscombre, 366
Araujo, 430–431
Araya, 258
Arcuri, 47, 53, 58, 65
Arias, 174, 281–282
Artigue, 48, 62
Arzarello, 385
Ashley, 154
Atkinson, 122
Auler, 318
Ausubel, 122–123, 344

B

Bader, 156
Baker, 349
Ballenilla, 243
Barbadilla, 134
Barbero, 429

Barbosa de Oliveira, 180, 220
Barrenechea, 326, 329–331, 337, 340
Bartolini Bussi, 366
Bartolini-Bussi, 385
Barton, 146, 149 –457
Bauman, 104, 117
Bazzo, 318
Beck, 117
Bello-Chávez, 409
Benítez-Eyzaguirre, 154
Bennett, 155
Berger, 254, 268
Bermúdez, 257, 268
Bernal, 28, 67, 443
Berry, 233
Berthiaume, 346
Bieda, 364
Biga, 256
Biggs, 347–349, 352
Bishop, 427
Blanchard, 35, 423
Bloom, 345, 349
Boero, 366–367, 369–370
Boff, 223–224
Bonilla Mendoza, 294
Bonilla y Garzón, 294, 312
Borko, 232–234
Böschen, 209
Boulter, 46
Braun, 206
Braund, 153
Britton, 150
Broadbent, 353
Brody, 185, 187
Broniatowski, 91
Bruner, 122
Bulger, 154
Bunge, 53
Burgui, 256
Burmeister, 205, 207, 210, 213, 216, 220
Buty, 48, 62

C

Caamaño, 62
Cabrera, 257
Calabrese-Barton, 146, 149
Calina, 83–84, 98
Camacho, 238
Camargo, 33, 363–364, 383, 385, 445
Camino, 38, 149, 334, 346, 348, 417
Candón-Mena, 154,
Caponi, 90, 92, 98
Cárdenas, 33, 343, 350, 442
Caride, 175
Carlsen, 233, 236
Carrillo, 126, 129
Carruthers, 65
Carson, 313
Carter, 156
Carvalho, 205
Casallas, 308, 318
Cebrián, 152
Cebrián-Robles, 152
Chen, 235
Cheska, 35, 423
Choudhury, 146–147
Clayton, 116–117, 256, 266
Cobb, 366, 368, 384
Colding, 348

Colucci-Gray, 149
Comboni, 132
Conceição, 152, 156
Corcoran, 185
Cornbleth, 151
Costill, 428
Couso, 51, 62
Cruz, 153, 372

D

Damião, 153
Davies, 147–148, 156
Davis, 80, 98
Davison, 154
de Freitas, 187
De Sousa Santos, 179, 220
de Villiers, 364
Del Monte, 95, 98
Depaepe, 346
Derakhshan, 154
Désautels, 156
DesJardins, 177
Dewey, 157, 344
Di Fabio, 253–254
Diamond, 145
Díaz Barriga, 328
Díaz–Salazar, 183
Dicks, 208–209
Diéguez, 70, 138
Dillon, 185–187, 202, 204, 219
diSessa, 38–40, 42–45, 52, 62
DNP, 278, 280–281
Docea, 98
Domínguez, 254, 338
Douady, 62
Douek, 366–367
Driel, 235
Driver, 38–39, 52–53, 62
Duarte, 30–31, 35, 231–232, 234–241, 243, 245, 247, 444
Dubé, 93, 95
Ducrot, 366
Dueñas, 235
Duit, 40, 43, 45, 48, 50–51
Duque, 129
Durand-Guerrier, 367
Duval, 365–367, 369
Dyches, 192

E

Easley, 38, 53
Echeverry, 383
Egorov, 98
Eilks, 207–210, 213, 216, 220
Eisner, 326, 334
El Ágora, 275
El Espectador, 275, 287, 425, 430
El Tiempo, 57, 73, 76, 93, 121, 148, 189, 206, 265, 337, 348, 353, 356, 408, 419, 430
Elbaz, 232
Eldredge, 135
Elster, 89
Entwistle, 351
Epp, 367
Escobar, 312
España-Ramos, 152
Estrada, 428

F

Fagot, 74, 98
Farhud, 84–85
Fazio, 150

Fedoruk, 356
Feldman, 217
Fernandes, 418
Fernandes-Jesus, Fernández, 131, 329, 333
Ferri, 366
Filho, 215, 440
Flanagan, 253–254
Fleck, 73, 76, 313
Flores, 40, 258
Font, 368, 375
Franco, 112, 114
Freire, 148–149, 157, 187
Funtowicz, 180, 216

G

Gabibov, 98
Gagné, 345
Gallay, 253–254
Gallego, 124
Galvis Solano, 53, 59–60
García, 59, 152, 155, 277, 294
García, 53, 65
García Bermúdez, 107, 110, 115, 152, 155
García-Calvo, 294,
Garuti, 366
Garzón, 31, 273, 294, 312, 443
Garzón Barragán, 31, 273, 294, 443
Gericke, 35, 153
Gertzog, 45
Gess-Newsome, 233–234
Giddens, 103, 117
Giere, 53–54
Gil, 124–126, 346
Gilbert, 45–46, 53, 62
Ginwright, 148
Giraldo, 312
Giroux, 331
Godino, 365, 388
Gómez, 62, 124, 136, 277, 328, 434
González, 115, 117, 204, 237, 258
González-Gaudiano, 117, 204, 237, 258
Goodey, 146
Gøtzsche, 81, 87
Gough, 185
Gould, 135
Gowin, 348
Gramsci, 148
Grant, 356
Gray, 145, 149
Greene, 148
Grinberg, 282
Grossman, 232–233, 236
Guacaneme-Suárez, 396, 409–410
Guba, 346, 353
Gudynas, 110, 117
Guerrero, 189, 215
Guerris, 206
Guimelli, 259
Gutiérrez, 53, 56–59, 123–124
Guzmán, 258

H

Hadjichambis, 25, 35, 145, 149, 157
Hamidah, 206
Hammond, 344
Hanessian, 122
Hanna, 364
Harari, 170
Harris, 344

Hart, 147–148
Hartigan-Go
Hastings, 345
Haverkos, 150
Hayward, 295, 301
Herman, 219, 308
Hernández, 375–376
Hewson, 45
Hinojo, 131
Hochel, 136
Hodson, 145–146, 149, 151, 153, 182, 308
Hoffman, 427
Hovland, 112
Howes, 308
Huizinga, 424–425

I

ICFES, 33, 326, 338–339
Ideam, 201
Ireton, 154
Ishmukhametov, 98
Ismail, 207–208, 210
Izquierdo, 48–49, 53–55, 62, 123–124, 180
Izquierdo-Aymerich, 48–49, 54–55, 62

J

Jackson, 145
Jamie, 355
Jaramillo, 418
Jickling, 182
Jiménez, 179
Johnson, 53, 85, 98
Johnstone, 345–346
Juárez, 132
Justi, 62

K

Kahne, 155
Kariotoglou, 48
Karpudewan, 207–208, 210, 216
Karrow, 150
Kates, 125
Kelchtermans, 346
Kellner, 154–155
Kelly, 432
Kenney, 428
Kicker, 153,460
Kim, 155
Kirby, 147
Klein, 202
Knippels, 35
Knipping, 365–366, 369, 373, 375
Kolb, 344
Kolstø, 153
Koretz, 326–327, 330
Kowasch, 151, 153
Krajcik, 232–234
Krasny, 156
Krstovic, 155–156
Krummheuer, 366–370, 375
Kuhn, 42–43, 52, 123, 313
Kurzweil, 137–138

L

Laberge, 156
Lagman, 96
Lanier, 154
Largeault, 74, 98
Larson, 91

Laughlin, 353
Lausselet, 215
Laws, 147
Le Maréchal, 48, 62
Leach, 48
Leal, 215
Lecaros, 264
Lederman, 233
Lee, 150, 156
Leff, 104, 117, 179, 237, 269, 316–317, 321
Lemut, 366
Lenoir, 209
Lepage, 135
Leung, 385
Levinson, 153, 219
Lewicka, 266
Li, 256, 264
Liaqat, 348
Lincoln, 346, 353
Lindberg-Sand, 349
Linhares, 153
Linjse, 46–48
Linn, 123
Longino, 74
Lopes, 154, 418
López, 27, 37, 39, 47, 53, 55, 58–60, 74, 170, 235, 335, 439
López y Mota, 27, 37, 39, 47, 53, 59–60, 439
Loughlin, 349
Loughran, 233
Lozano, 30, 201, 440
Lubchenco, 176
Ludwik, 73
Luhman, 117
Luna, 98
Luque, 364
Lyotard, 278

M

Macdonald, 207, 213–214, 217
Macías, 125
MacLean, 344
Madaus, 345
Mads, 202
Magnusson, 232–234, 236
Malm, 77, 80, 87
Malmö, 215
Mammino, 207, 215
Manassero, 104, 107, 114–115, 117
Manassero-Más, 117
Mancosu, 411
Marafioti-Garnica, 418
Marinelli, 274
Mariotti, 363–364, 366, 385
Marques, 153, 155–156
Martinez, 150
Martínez, 31–32, 35, 109, 125, 243, 307–308, 310–311, 313–314, 318, 445
Maruggi, 86
Mascarrel, 218
Masías, 179
Mathieu, 68
Matthews, 94, 96
McDonnell, 146, 156
McLeod, 399
McNeal, 368
Meira, 175

MEN, 25–26, 35–36, 202, 283, 293, 295, 337, 351
Menezes, 147
Merchán, 125
Merritt, 202
Miller, 122
Mohamed, 207, 210
Molina, 33, 363–364, 368, 375, 383, 385, 388, 447
Monroy, 463
Mora, 30, 128, 169, 173, 183–185, 188–189, 191–192, 204, 207, 215–216, 344, 355, 449
Morales, 35, 95, 186, 189, 191, 312, 400–401, 409, 426, 434
Moreno, 28, 47, 53, 58, 62, 65, 67, 311, 313, 333–334, 350, 444
Morselli, 364, 366
Mortimer, 308
Moscovici, 258
Mosterín, 70–71
Mueller, 149–150, 355

N

Nation, 217
Naustdalslid, 181
Nazir, 190–191
Nersessian, 53, 56, 58–59
Newman, 344
Nickerson, 133
Niño Zafra, 32, 325, 328, 446
Nixon, 148
Novak, 122–123, 129, 348
Nowell, 356
Nussbaum, 32, 267, 285–286, 288–290, 292, 294, 296–300

O

OCDE, 16–18, 22, 105, 325, 338
Olbrechts-Tyteca, 366
Oldstone, 87, 97
Olivé, 68, 70–71, 74, 88, 96, 110
Oliver, 233, 235
Olivero, 385
OMS, 76, 82, 95
Opotow, 117
Oreskes, 75–76
Ortega, 128
Ortiz, 65
Ovalle, 129

P

Padilla, 235, 346
Pancer, 146
Paola, 385
Paraskeva-Hadjichambi, 35
Parga, 25, 30, 128, 185, 188, 201–202, 204, 206–208, 211–220, 222–223, 308, 311, 313, 440
Park, 233, 235
Paskevicius, 348
Pauw, 35
Pedemonte, 366, 375
Pedretti, 190–191
Pells, 147
Peña, 95, 310
Perales, 126
Percy-Smith, 146–147
Pereda-García, 53, 65
Perelman, 366–369
Pérez, 28, 31–32, 103, 112, 114–115, 124, 133, 238, 253, 257–258, 268, 307, 428, 445, 447

Pérez-Manzano, 112
Perkins, 133
Perry, 364, 370, 383
Petrakis, 98
Philip, 345
Pinker, 68, 87
Pino-Fan, 365, 368, 375, 388,
Pintó, 58
Piñeros, 219
Popham, 329, 331–332
Porlan, 29, 122, 125, 127–129, 132
Porras, 28, 31, 103–104, 107, 111, 115, 253, 257–258, 260, 268–269, 450
Posentti, 154
Posner, 45
Pozo, 344
Pro-Bueno, 112
Psillos, 47–48, 55
Pykett, 253–254

Q

Quammen, 77–78, 80, 97

R

Rauch, 205, 207, 210, 215–216, 220
Ravanal, 235
Ravela, 326, 329
Ravetz, 177, 180, 216
Ravitch, 326–327, 329
Reid, 186, 365–366, 369, 373, 375
Reis, 29, 35, 143, 145, 149–150, 152–153, 155–157, 294, 448
Reiss, 153
Remolina, 332, 340
Rescher, 88
Revista Dinero, 329
Riechmann, 174–175
Rieckmann, 215
Robayo, 364
Robutti, 385
Rodríguez, 150, 184, 301, 424
Rogoff, 147
Rojas, 129, 310, 364
Romero, 351
Rosario, 348
Rosch, 122
Rosen, 253
Rosen- berg
Rosenberg
Roth, 146, 149–150, 156, 207–208, 210
Rouquette, 259
Ruiz, 312
Rutherford, 46

S

Sabahelzain, 90
Sachs, 170
Sacristán, 203
Sadler, 53, 308
Saint-Sernin, 74, 98
Salazar-Amaya, 397, 408
Samper, 364, 368, 370, 375, 383, 385, 388
Sanmartí, 39, 65
Sant'anna, 259, 261
Santos, 179, 220, 278, 308, 418
Sarmiento, 96
Sauvé, 115, 185, 237, 296, 300–301
Schalk, 156
Scheid, 152, 155

Scheringer, 209
Schön, 232
Schreiner, 104–105, 114
Schulz, 145–146
Schusler, 156
Schutz, 145
Scott, 48, 186
Scranton, 171
Segerberg, 155
Sen, 284–286, 303
Sepúlveda, 192
Shayer, 345
Shiffrin, 122
Shuell, 354
Shulman, 128, 232–233, 346
Siemens, 130–131, 133
Sierra, 209, 216
Simmons, 308
Simonneaux, 32, 149, 190–191, 194, 310, 317–318, 322
Sjøberg, 104–105
Sjöström, 207–209, 215
Sjöström, 207
Smith, 133, 146–147, 277, 375
Sola, 87, 171, 209, 277, 329, 333
Soler, 350–351
Sorden, 131
Sotillo, 172
Sperling, 149
Sridharan, 355
Stegmann, 155
Sterling, 182, 277, 280
Stets, 256
Stevenson, 185–187, 385
Stich, 65
Stobart, 329
Stratton, 213–214
Strike, 45
Stylianides, 364, 368

T

Tan, 59, 76, 135–136, 255, 276, 295, 299, 333, 345, 347, 352–354, 413, 426
Tang, 347
Tanguay, 367
Tardif, 232
Thagard, 45
Thomas, 146, 354, 423, 433
Tiberghien, 38–39, 48, 62
Tilbury, 218
Tinoca, 152, 156
Tippins, 149–150
Torres, 220, 423
Toscano, 125
Toulmin, 42–44, 52, 123, 243, 366–373, 375
Tram, 93, 98
Tsai, 126–127
Tsatsakis, 98
Tuay, 25, 28, 103–104, 257–258, 449
Tulving, 122
Twum-Danso, 147

U

Unesco, 16, 25, 29, 122, 125, 202, 218–219, 223, 274, 279, 314
Ussa, 30, 231, 441

V

Valbuena, 232, 234, 235, 236,
Valencia, 443, 445–446

Valsiner, 147
van Eijck, 149
Vare, 215
Vázquez, 104, 107, 114–115, 117
Vázquez-Alonso, 117
Vélez, 430
Ventura, 187
Vergara, 96
Verger, 93, 95
Vergès, 259–261
Verschaffel, 346
Viennot, 38–39
Vilches, 125–126, 218
Vílchez, 126
Villamil, 310
Villoro, 70, 73, 96
Vosniadou, 44–45
Vygotsky, 147

W

Walker, 294
Wals, 185–187, 202, 204, 219
Wardle, 154
Watanabe, 152
Wayne, 434–435
Weakland, 185
Wen, 126–127
Wenger, 255, 264
Wesselink, 180
White, 146–147
Wilmore, 428
Wood, 345, 368

Y

Yackel, 366, 368–369, 384
Yamashita, 147
Ye, 78–79
Yepes, 328

Z

Zaki, 345
Zapata, 25, 29, 121, 129, 131, 448
Zapata-Ros, 131
Zeidler, 191, 307–308
Zhou, 236
Zokaei, 84–85
Zonenszain, 83
Zoras, 155–156
Zuin, 207–209, 214–215
Zuluaga Cometa, 305

Universidad Pedagógica Nacional

Este libro se termino de imprimir en los talleres
de Estudio 45-8 S.A.S., 2024.

Editado por el Grupo Interno de Trabajo Editorial

En un contexto pospandémico, articulado a la crisis climática y de emergencia de escenarios de crisis bélica, con potenciales implicaciones en la seguridad alimentaria, pérdida de democracia y vigilancia de la IA, es evidente el llamado a la reflexión educativa. Esta debe tener en cuenta el desarrollo sostenible (EDS), los ODS-2030, la ciudadanía global, científica y ambiental, a partir de abordajes como las cuestiones sociocientíficas y ambientales y la inclusión de las TIC y la IA en la educación, entre otras, que tendrían el desafío de garantizar una educación pertinente e incluyente y la promoción de oportunidades de aprendizaje para todos en un contexto de participación fundamentada y democrática.

En el énfasis en Educación en Ciencias del Doctorado Interinstitucional en Educación, sede Universidad Pedagógica Nacional, este reto educativo motivó a plantear y desarrollar la "XVII Cátedra Doctoral en Educación y Pedagogía", que tuvo como objetivo pensar en los desafíos y oportunidades de diversas propuestas de formación que tienen en cuenta las problemáticas descritas. Este libro es el resultado de distintas reflexiones en torno a la pregunta: ¿en qué medida la educación en ciencias y matemáticas se está pensando frente a estos desafíos, que son emergencias que amenazan nuestro planeta y generan retos formativos a nivel pedagógico y didáctico?

ISBN: 978-628-7651-66-1