



Alineamiento constructivo y enseñanza de la química

Fidel Antonio Cárdenas Salgado Ph. D.

Alineamiento constructivo y enseñanza de la química

Alineamiento constructivo y enseñanza de la química

Fidel Antonio Cárdenas Salgado Ph. D.



Cárdenas Salgado, Fidel Antonio

Alineamiento constructivo y enseñanza de la química / Fidel Antonio Cárdenas Salgado. – Primera edición.
Bogotá: Universidad Pedagógica Nacional, 2026.
334 páginas.

Incluye: Referencias bibliográficas.

Incluye: Anexos.

ISBN impreso: 978-628-7851-56-6

ISBN PDF: 978-628-7851-57-3

ISBN ePub: 978-628-7851-58-0

1. Enseñanza de la Química – Colombia. 2. Química – Enseñanza – Metodología. 3. Tabla Periódica de los Elementos. 4. Prácticas en la Enseñanza – Química. 5. Química – Capacitación Docente. 6. Química. 7. Química – Aprendizaje – Investigación – Colombia. 8. Química – Enseñanza – Currículo. 9. Asimilación del Conocimiento. I. Tit.

540.72 21edc.

Alineamiento constructivo
y enseñanza de la química

Fidel Antonio Cárdenas Salgado

© Universidad Pedagógica Nacional

ISBN impreso: 978-628-7851-56-6

ISBN PDF: 978-628-7851-57-3

ISBN ePub: 978-628-7851-58-0

Primera edición, 2026

Helberth Augusto Choachí González
RECTOR

Paola Acosta Sierra
VICERRECTORA DE INVESTIGACIÓN,
EXTENSIÓN Y PROYECCIÓN SOCIAL

Víctor Espinosa Galán
VICERRECTOR ACADÉMICO

Yaneth Romero Coca
VICERRECTORA ADMINISTRATIVA Y FINANCIERA

Gina Marcela Duarte Fonseca
SECRETARIA GENERAL



**UNIVERSIDAD
PEDAGÓGICA
NACIONAL**

PREPARACIÓN EDITORIAL

Grupo Interno de Trabajo Editorial
Universidad Pedagógica Nacional

Calle 72 # 12-77

editorial.upn.edu.co

Teléfono: (57-601) 594 1894, ext. 190

Bogotá, Colombia

Alba Lucía Bernal Cerquera

COORDINACIÓN

Maritza Ramírez Ramos

EDICIÓN

Nicolás Jiménez Ariza
CORRECCIÓN DE ESTILO

Wilson Marulanda Muñoz Salamanca
DIAGRAMACIÓN

Fredy Johan Espitia B.
DISEÑO DE CUBIERTA

Carvajal Soluciones de Comunicaciones S. A. S.
IMPRESIÓN

Bogotá, D. C., 2026

Fechas de evaluación: 11-07-2025 / 17-07-2025

Fecha de aprobación: 20/12/2024

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



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

Mi gratitud

Cuando, en una competencia, en el ascenso a una montaña o en la culminación de un trabajo como el presente, con criterios propios y profesionales, se es consciente de que se ha hecho lo mejor —aunque no sea lo perfecto—, solo resta mirarse a sí mismo y mirar a los alrededores para decir, al interior de la conciencia: *es mi mejor*, y, a los alrededores: *mil gracias*.

En esta dirección, mi gratitud toma varias rutas: una hacia la naturaleza divina, que, si bien un día todo nos da y en otro todo nos quita, me ha permitido culminar este trabajo; otra hacia la institución, la Universidad Pedagógica Nacional, por el espacio y el tiempo brindados para la escritura; una tercera hacia mis compañeros de labores, docentes y administrativos del Departamento de Química —Pedro Nel Zapata, Diego Blanco, Yolanda Ladino, Rodrigo Rodríguez—, y, en general, a todos los profesores de planta y ocasionales, por su interés constante en conocer el avance del trabajo y colaborar con él.

De manera muy especial, mis agradecimientos se extienden a mi compañero y amigo Rafael Mora Forero, por la gentileza de enviarme dos de los epígrafes que aparecen en las siguientes páginas. Una cuarta gratitud se dirige a mi familia, en particular a mi madre, quien con paciencia y tolerancia ha disculpado que no la visite con más frecuencia; a mis hermanos —en especial a Enrique y Leoncio—, que en todo momento han asumido parte de mis responsabilidades en el cuidado de ella. Finalmente, la quinta, predominante, se orienta a mi círculo familiar cercano: Ximenita, mi esposa; Angélica; y mis hijos Allan y William. Con cada uno de ellos mi gratitud se expresa de diferente manera, pero con igual intensidad y desde el mismo corazón que la proyecta.

A Ximenita, no solo por su cariño y amor de esposa, sino también por sus sabias y oportunas orientaciones académicas, fruto de su amplia trayectoria como docente en secundaria y universidad; a Angélica, por las alegrías y satisfacciones que me brinda al verla crecer personal y académicamente hasta rozar los límites de las radiaciones nucleares; a Allan, por la alegría de verlo consagrado a su profesión y familia; y a William Andrés, por la satisfacción de reconocer su dedicación, constancia y persistencia para escalar niveles académicos y laborales, así como por la deferencia de leer y prologar este texto.

Sin mengua de la importancia que amerita, mis sentimientos de gratitud se extienden a quienes han dedicado tiempo a la lectura crítica del manuscrito y a ofrecer comentarios y sugerencias en beneficio del mismo: Manuel Guillermo Soler Contreras, Ignacio Abdón Montenegro, William Andrés Cárdenas, Enrique Diógenes Cárdenas y Diego Alexander Blanco. Asimismo, mi más alto sentido de gratitud con los diferentes autores de la literatura citada, de quienes he aprendido mucho, y en particular con John Biggs, porque desde mis primeros contactos con el alineamiento constructivo ha sido fuente continua de interés e inspiración para mi labor docente.

No puedo cerrar este apartado sin mencionar mi gratitud de manera especial al personal de la Biblioteca Central, por la cordial y frecuente colaboración prestada, y a Alejandro Guzmán Yopasá, por la oportuna y profesional asesoría técnica para la preparación final del manuscrito.

Contenido

Prólogo.....	19
Introducción	27
Capítulo I.	
La evaluación y el alineamiento constructivo	35
Introducción.....	35
La evaluación como medición y la evaluación auténtica.....	41
La evaluación se expande.....	45
Sobre la evaluación del desempeño	47
La evaluación del desempeño y los equipos integrales de docencia.....	51
Miniproyectos y evaluación	52
Consideraciones sobre el formato de miniproyectos	58
Una comparación entre las tareas de evaluación del desempeño y los miniproyectos.....	61
El alineamiento constructivo y la evaluación auténtica.....	64
Los límites en la evaluación	75
La información obtenida mediante la evaluación de los estudiantes.....	81
Algunas formas de llevar a cabo la evaluación auténtica.....	83
La complejidad de la evaluación auténtica.....	87
Una visión panorámica de las ideas principales expuestas en el capítulo I.....	92
Capítulo II.	
El alineamiento constructivo.....	99
Introducción.....	99
De la educación basada en resultados (OBE) a la educación enseñanza aprendizaje basada en resultados (OBETL).....	101
La educación como sistema.....	104

Sobre el alineamiento constructivo	106
Ideas centrales del alineamiento constructivo.....	108
Sobre el origen y la evolución del alineamiento constructivo.....	113
La taxonomía SOLO.....	117
El modelo 3P.....	119
El alineamiento constructivo y las didácticas activas.....	134
El alineamiento constructivo en la Universidad Pedagógica Nacional	149
Una visión global de las ideas descritas en el capítulo II.....	150

Capítulo III.

La química, su enseñanza y aprendizaje: un proceso continuo de

búsqueda de relaciones157

Introducción..... 157

Una breve descripción sobre la situación actual en la docencia de la química en Colombia 160

Acerca de los sujetos del saber..... 162

¿Dónde está el objeto de la enseñanza? 165

De los conceptos relacionales a las grandes ideas científicas 167

Conceptos nucleares en química..... 167

Camino hacia la selección de los conceptos nucleares o relacionales..... 175

En relación con el apoyo contextual..... 176

Un esquema teórico para la enseñanza de la química 180

El alineamiento constructivo como fundamento para una enseñanza alineada de la química 182

¿Qué han hecho los científicos para entender y explicar el mundo y su devenir? 192

El alineamiento constructivo: de la teoría a la práctica 194

Acerca del planteamiento de los objetivos observables de aprendizaje .. 224

Lección 1. Las sustancias..... 232

Introducción..... 232

Objetivo general..... 233

Actividad de presagio o preparación..... 233

Actividades de proceso 234

Actividades de producto..... 242

Lección 2. Distribución de los elementos químicos en la tabla periódica 247

Introducción..... 247

Actividades de presagio o preparación..... 247

Actividades de proceso 250

Actividades de producto..... 256

Lección 3. Periodicidad química y propiedades periódicas 257

Introducción..... 257

Objetivos generales..... 258

Actividades de presagio o de preparación 258

Actividades de proceso 259

Actividades de producto..... 269

Lección 4. Ley periódica y variación de algunas propiedades de los elementos en los periodos.....	272
Introducción.....	272
Actividades de preparación o presagio.....	273
Actividades de proceso.....	273
Actividades de producto.....	274
Lección 5. La importancia de un conocimiento profundo de las relaciones tabla periódica y notaciones espectrales de los elementos.....	279
Introducción.....	279
Objetivo general.....	280
Actividad de preparación.....	280
Actividades de proceso.....	282
Actividades de producto.....	287
Lección 6. Tabla periódica y enlaces químicos.....	289
Introducción.....	289
Actividades de preparación o de presagio.....	289
Actividades de proceso.....	291
El valor de la función del docente y de la responsabilidad de los estudiantes.....	295
Actividades de producto.....	296
Implicaciones del enfoque de enseñanza anterior en los diseños curriculares.....	301
Una visión panorámica de las ideas presentadas en las páginas anteriores.....	303
 Referencias	 309
 Anexo 1	 323
Anexo 2	327

Índice de figuras

Capítulo I

Figura 1. Evolución cronológica de la evaluación en términos de épocas y generaciones.....	42
Figura 2. Componentes de una evaluación de desempeño	49
Figura 3. Formato de presentación de un miniproyecto	58
Figura 4. Representación de los límites de la evaluación en ciencias.....	79
Figura 5. Representación de la complejidad de la evaluación auténtica	88
Figura 6. Perspectiva general de las ideas descritas en el capítulo I	93

Capítulo II

Figura 7. Representación de algunos componentes del sistema educativo en un contexto social.....	108
Figura 8. Subsistema aula en un contexto social y el sistema educativo	109
Figura 9. Representación de un subsistema aula alineado (SA)	110
Figura 10. Representación de un subsistema aula no alineado (SNA).....	110
Figura 11. Representación de la taxonomía solo en términos de algunos verbos y operaciones cognitivas.....	117
Figura 12. Esquema del modelo 3P.....	120

Figura 13a. Variación del número de estudiantes en el Departamento de Química: activos (E Activos) y no activos (E no Activos) semestre a semestre para la cohorte que inició estudios en el 2009-II	123
Figura 13b. Variación del número de estudiantes graduados (E Graduados) para la cohorte que inició estudios en el 2009-II, y porcentaje de deserción (% Deserción) en el Departamento de Química	124
Figura 14. Intensidad de frecuencia de mención para las razones por las cuales los docentes en formación de las cohortes 2018-I a 2022-I quieren ser docentes.....	129
Figura 15. Esquema relacional asociado a las funciones de docentes-estudiantes y evaluación	131
Figura 16. Relaciones de complementariedad entre una forma de enseñar para lograr los conocimientos declarativo, funcional y el compromiso requerido de los estudiantes para lograrlos.....	133
Figura 17. Esquema de la heurística como aproximación general a la resolución de problemas.....	146
Figura 18. Producción académica relacionada con el AC en la Universidad Pedagógica Nacional, 2015-2023.....	150
Figura 19. Ideas principales sobre el AC y sus perspectivas para la educación en química	151

Capítulo III

Figura 20. Ideas asociadas a los conceptos nucleares.....	169
Figura 21. Representación de conceptos relacionales asociados a los símbolos de los elementos plata y sodio.....	170
Figura 22. Representación de conceptos e ideas adicionales asociados a los símbolos de plata y sodio	171
Figura 23. Representación del horizonte del pasado con proyección al futuro de la educación en química.....	173
Figura 24. Cinco ideas centrales desde el AC que orientan una enseñanza de la química por productos observables.....	182
Figura 25. La taxonomía SOLO como contexto orientador de la enseñanza de la química	183

Figura 26. Conceptos asociados al oxígeno como núcleo relacional, en estado elemental y combinado	188
Figura 27. Síntesis del modelo 3P simplificado, aplicado a la enseñanza de la química	198
Figura 28. Aspectos relevantes a tener en cuenta sobre el conocimiento de los estudiantes	201
Figura 29. Dinámica de la búsqueda de información, su transformación en conocimiento y aplicación	204
Figura 30. Modelo de portafolio para el seguimiento del desarrollo de un curso	208
Figura 31. Esquema general de una hoja de trabajo para diligenciar por los participantes de un curso durante la fase de proceso.....	211
Figura 32. Modelo para el diseño de un diario personal de aprendizaje.....	212
Figura 33. Panorama de los miniproyectos como punto orientador de la experimentación en química	214
Figura 34. Rejilla de conceptos para fortalecer operaciones cognitivas básicas en química.....	217
Figura 35. Visión general de la estrategia I4C y algunas ideas didácticas asociadas	220
Figura 36. Diagrama para orientar una evaluación auténtica en la enseñanza de la química con base en el AC.....	223
Figura 37. Dimensiones de la química y desarrollo de las operaciones cognitivas.....	225
Figura 38. Relaciones entre tipos de aprendizaje esperados, actividades de enseñanza-aprendizaje y evaluación	226
Figura 39. Relaciones entre la formulación de objetivos observables, las actividades de enseñanza y la evaluación del aprendizaje	230
Figura 40. Actividad de preparación para el inicio de un proceso de aprendizaje.....	233
Figura 41. Actividad de proceso correspondiente a la enseñanza y aprendizaje del tema "Las sustancias químicas"	235
Figura 42. Paisaje que ilustra la forma en que los materiales se encuentran mezclados en el ambiente natural.....	236

Figura 43. Procedimientos físicos para separar mezclas: destilación, decantación y filtración.....	238
Figura 44. Ejercicio de aplicación sobre la identificación de los primeros diez elementos químicos.....	240
Figura 45. Relaciones entre conceptos de sustancias químicas y su aprendizaje.....	241
Figura 46. Dimensiones orientadoras sobre el uso de conocimientos sobre sustancias químicas en distintos contextos.....	243
Figura 47. Paisaje con diferentes materiales mezclados en el ambiente natural	244
Figura 48. Convenciones para identificar propiedades de los elementos en la tabla periódica	249
Figura 49. Croquis general de la tabla periódica como apoyo al desarrollo de actividades	251
Figura 50. Esquema para realizar la actividad sobre metales alcalinos	252
Figura 51. Esquema para realizar la actividad sobre metales alcalinos y alcalinotérreos.....	253
Figura 52. Esquema para la realizar la actividad sobre elementos de la región d	255
Figura 53. Esquema para realizar la actividad sobre elementos de la región p.....	256
Figura 54. Visión global de la tabla periódica en términos de la información de propiedades de los elementos.....	257
Figura 55. Esquema para realizar la actividad sobre la variación del carácter metálico en el grupo IVA-14	260
Figura 56. Croquis de la tabla periódica para realizar la actividad sobre elementos que, en algunos casos, actúan como ácidos y en otros como bases, según la teoría de Arrhenius.....	261
Figura 57. Esquema para realizar la actividad sobre la variación del comportamiento metálico y no metálico en los elementos del grupo IVA-14	263
Figura 58. Esquema para realizar la actividad sobre el radio atómico del grupo IVA-14	264

Figura 59. Esquema para realizar la actividad sobre la energía de ionización en el grupo IIA-2.....	265
Figura 60. Esquema para realizar la actividad sobre la variación del radio iónico en los elementos del grupo IA-1.....	266
Figura 61. Esquema para realizar la actividad sobre la afinidad electrónica y su variación en los elementos del grupo VIIA-17.....	267
Figura 62. Esquema para realizar la actividad sobre el concepto de electronegatividad y su variación en los elementos del grupo IVA-14.....	268
Figura 63. Panorama global de la tabla periódica y variación de algunas propiedades periódicas.....	269
Figura 64. Diagrama para el desarrollo de la actividad sobre elementos anfóteros	270
Figura 65. Rejilla con información química para ejercitar operaciones cognitivas.....	275
Figura 66. Rejilla para realizar actividades de producto.....	277
Figura 67. Esquema de comprensión de lectura en la fase de preparación.....	280
Figura 68. Representación de una situación particular del intercambio de especies químicas entre los nutrientes del suelo y las plantas.....	288
Figura 69. Panorama de la tabla periódica y relaciones con otros temas de la química como los enlaces químicos.....	293
Figura 70. Tabla periódica y relaciones internas de la química para realizar actividades de producto.....	297
Figura 71. Síntesis de ideas expuestas en el capítulo III.....	304

Índice de tablas

Tabla 1. Actividades de enseñanza-aprendizaje que conducen a la generación de productos susceptibles de incluirse en una evaluación auténtica y algunos comentarios.....	86
Tabla 2. Resultados preliminares relacionados con la deserción en las cohortes 2018-I a 2020-I	124
Tabla 3. Producción académica relacionada con el AC en la Universidad Pedagógica Nacional de Bogotá.....	149
Tabla 4. Instrumento tipo inventario de dificultades para el seguimiento del progreso del curso	175
Tabla 5. Orientaciones para redactar objetivos de aprendizaje en función de resultados esperados.....	231
Tabla 6. Guía para elaborar objetivos observables de aprendizaje sobre elementos y tabla periódica	247

Prólogo

En el mundo en el que se desenvolverán las nuevas generaciones de profesionales recién graduados, ya no basta con conocer a fondo, o incluso de memoria, una disciplina. Es necesario convertir ese conocimiento declarativo en un activo útil que aporte el máximo valor a la sociedad. Se trata de transformar la información existente en la memoria del estudiante en un conocimiento funcional que tenga significado para sí mismo y que le permita mejorar su entorno. Estar en la capacidad de realizar operaciones complejas con la información previa a su transformación en conocimiento, con el fin de aportar soluciones creativas a problemas y retos relevantes para la sociedad, es hoy una habilidad indispensable en un mundo cada vez más competitivo e incierto.

Asimismo, dada la velocidad a la que cambian el mundo y las necesidades de las personas, esa transformación, que busca añadir valor, debe ser permanente. Requiere que el profesional incorpore el conocimiento emergente, tanto en su propia disciplina como en otros campos del saber, para mantenerse actualizado después de terminar la universidad. Dicho de otro modo, el estudiante debe desarrollar estrategias de autoaprendizaje de manera permanente.

Dada la importancia de lograr que los estudiantes evolucionen del conocimiento declarativo al funcional mediante la adquisición de operaciones cognitivas de alto nivel, vale la pena preguntarse: ¿cuál es la mejor forma de conseguirlo? Desde mi posición de ingeniero electroacústico, con poca experiencia docente pero con una amplia trayectoria como estudiante en diferentes universidades de Colombia, España, Francia y Alemania, puedo intuir que la respuesta abarca muchos aspectos. Desde la adaptabilidad de las instituciones educativas, de los docentes y de sus actividades didácticas, hasta la capacidad de responder a los desafíos de la llamada cuarta revolución industrial¹ y a las nuevas expectativas de los estudiantes frente a la universidad, por mencionar algunos. Por esta razón, está en manos de las entidades educativas y de sus profesores la ardua tarea de acelerar la transición de una educación basada en el conocimiento declarativo a una educación basada en el conocimiento funcional.

Es en este contexto donde *Alineamiento constructivo y enseñanza de la química*, del doctor Fidel Antonio Cárdenas, ofrece una perspectiva complementaria y de gran valor práctico para responder a este reto.

Este libro aporta al lector elementos esenciales para consolidar un sistema educativo en el cual las metas establecidas por el docente y el estudiante, los contenidos, las actividades didácticas y su evaluación, junto con un proceso de autorreflexión sobre el propio desempeño en el aula, se encuentren altamente alineados, permitiendo así una experiencia de aprendizaje más eficiente y satisfactoria. El texto, dirigido especialmente a los nuevos docentes en química, ofrece elementos teóricos y prácticos basados en el alineamiento constructivo de John Biggs, quien plantea que los estudiantes se conviertan en protagonistas activos de la construcción de sus conocimientos y que sean sus acciones, y no las del docente, las responsables de su aprendizaje.

1 Schwab, K. (2016). *La cuarta revolución industrial*. Penguin Random House Grupo Editorial.

El libro enfatiza cómo el docente puede orientar a sus estudiantes a pensar de forma relacional en química, permitiendo la construcción de ideas más complejas a partir de conceptos nucleares, piezas fundamentales del lenguaje a través del cual se organizan los contenidos en esta ciencia. El autor ofrece perspectivas para que el estudiante trascienda la memorización y sitúe la química en un contexto global que le permita relacionarla con otros campos del conocimiento.

Considero que las ideas planteadas por el autor sobre la implementación del alineamiento constructivo en el sistema educativo colombiano y en la Universidad Pedagógica Nacional no solo son interesantes, sino también necesarias para responder a las expectativas de los estudiantes actuales y de la sociedad frente a estos futuros profesionales, en especial de los docentes. Si bien el énfasis está puesto en la enseñanza de la química, los planteamientos principales del libro pueden extrapolarse a otras ramas de la ciencia y disciplinas profesionales.

Muchas de las ideas discutidas aquí, así como las múltiples conversaciones que he tenido con el autor acerca de la enseñanza y el aprendizaje de las ciencias, han impactado directa e indirectamente mi trayectoria profesional, y estoy seguro de que también impactarán la de otras personas. Durante mi vida como estudiante, participé en procesos de aprendizaje altamente alineados en universidades de los países europeos mencionados anteriormente y evidencié cómo esta metodología es esencial para una experiencia de aprendizaje autónoma y efectiva. Reconocer la importancia de acordar los objetivos y expectativas al inicio de un curso —teniendo en cuenta que tanto el docente como el estudiante son seres humanos con contextos sociales, culturales, familiares e institucionales que impactan su formación— fue fundamental en mi caso para alcanzar el éxito como estudiante y, posteriormente, como profesional.

Tuve la fortuna de asistir a cursos en los que el profesor no era el protagonista encargado de transmitir información, sino que era yo, como

estudiante, quien asumía la responsabilidad de construir mi conocimiento de manera activa, a partir de la resolución de problemas relevantes desde el inicio del curso.

Desde mi perspectiva, aprender de manera eficiente, además de requerir un entorno adecuado, exige esfuerzo, dedicación y energía por parte de todos los actores involucrados, algo difícil de lograr en un mundo lleno de técnicas de distracción —redes sociales, celular, sobrecarga de información y, en muchos casos, trabajo—. En otras palabras, no se emprende una aventura educativa universitaria de semejante magnitud sin la certeza de que se aprovechará al máximo el esfuerzo titánico que implica culminar los estudios, más aún en un país como Colombia, donde las condiciones socioeconómicas lo hacen más complejo.

El motor que impulsa al estudiante a poner las condiciones internas necesarias para un aprendizaje efectivo es la motivación interna de saber, desde el inicio, que lo aprendido no solo le permitirá avanzar en su proyecto de vida, sino también transformar su entorno para mejorarlo. Esto se consigue mediante un pacto consigo mismo y con el docente, en el cual ambas partes fijan objetivos y se comprometen a trabajar responsablemente hasta lograrlos.

Dado el impacto —positivo o negativo— que puede tener la evaluación en la trayectoria de un estudiante, esta resulta esencial siempre que se utilice para valorar si efectivamente el estudiante puede aplicar el conocimiento con un fin concreto, como la creación de nuevo conocimiento o la resolución de problemas. Infortunadamente, con frecuencia no se usa en esta dirección, sino como herramienta para comparar a personas diversas y complejas frente a un patrón establecido por una norma general ineficaz para medir el nivel de funcionalidad del conocimiento alcanzado por cada estudiante.

De igual manera, alcanzar los objetivos exige del docente un alto grado de profesionalismo, que incluye no solo el dominio del tema y de

las actividades didácticas, sino también la pasión por la asignatura y por el progreso de sus estudiantes. Si el objetivo final es lograr que los estudiantes alcancen un conocimiento funcional que se convierta en un activo útil para la sociedad, es necesario que el docente añada valor, de forma simétrica, al conocimiento y a la didáctica que emplea para guiar a sus estudiantes. Precisamente de esto trata este libro, y por ello recomiendo sinceramente su lectura.

BSC, MSC, Ph. D. — Eng. William Andrés Cárdenas Patiño
Acoustic Engineer, Apple Inc.

Quisiera escribir las cosas que nunca fueron escritas. Pero... ¿cómo saberlas? Ya Salomón había dicho que no hay nada nuevo bajo el sol; por eso cuando decimos o escribimos algo, no somos más que vulgares repetidores de alguien que, en alguna parte, ya lo pensó o lo dijo. Y ¿saben por qué? Porque estamos hechos del mismo barro. Y al mirar la historia, podemos darnos cuenta de que Dios no escogió el mejor...

JORGE RAFAEL MORA FORERO, *Originalidad*

Introducción

A finales de los años setenta y comienzos de los ochenta del siglo xx, el mundo asistía a grandes ideas: la “aldea global” del sociólogo canadiense Marshall McLuhan; La humanidad en la encrucijada, del Club de Roma; y la denominada “explosión del conocimiento”, que, junto con los orígenes de la etnomatemática, analizaba el matemático brasileño Ubiratán D’Ambrosio. Muchas de estas ideas, con poco temor a equivocación, directa o indirectamente se apoyaban, o al menos consultaban, las antiguas perspectivas del economista británico Thomas R. Malthus sobre el crecimiento poblacional y la posible precariedad de los recursos para el sostenimiento humano.

En su conjunto, aquellos visionarios de hace 40 o 50 años vislumbraban muchos de los acontecimientos que hoy presenciamos: un mundo globalizado, atravesado por abrumadoras cantidades de información que se difunden en la población como moléculas de una sustancia soluble en agua en procura de homogeneidad; procesos de contaminación cada vez más acentuados que, como un microbio patógeno, atacan los subsistemas del sistema ambiental global y ponen a prueba la responsabilidad y el compromiso de la humanidad con su conservación y recuperación.

Estos son solo algunos ejemplos de situaciones a las que la sociedad actual responde con angustia.

En materia de educación, estaban a la orden del día ideas como el fortalecimiento del campo de la educación matemática, la naciente línea de investigación en etnomatemática, la respuesta institucional frente a la explosión del conocimiento y su alternativa de la educación mediante novedosos equipos audiovisuales y las incipientes “máquinas de enseñar”, construidas a partir de las ideas del psicólogo estadounidense B. F. Skinner. Estas dos últimas perspectivas se perfilaban como medios para ampliar la cobertura educativa, en general, y de las ciencias y matemáticas, en particular, a un mayor número de personas y a grandes distancias. Ejemplo de ello fue la Universidad de Pretoria, en Sudáfrica, que ya utilizaba tales recursos.

En América Latina y el Caribe, el contexto incluía los orígenes de la tecnología educativa, la educación por objetivos y la incipiente, aún poco generalizada, introducción de los computadores en la enseñanza.

Varias razones me han llevado a evocar estas ideas. En primer lugar, como podrán notar los lectores, en este texto aparecen ciertos ecos de aquella época, especialmente en lo relacionado con la enseñanza de las ciencias y, en particular, de la química. En segundo lugar, porque percibo la persistencia de muchas preguntas educativas que, hoy como ayer, se formulan en torno al uso de recursos pedagógicos y la búsqueda de alternativas de mejora. En tercer lugar, como una razón de Producto —para introducir la terminología del *alineamiento constructivo* (AC)—, porque este libro se fundamenta en el conocimiento profesional del autor, construido a lo largo de una extensa trayectoria académica en pregrado y posgrado, enriquecida por los resultados de investigación y los valiosos aportes de estudiantes de distintos niveles con quienes he tenido el privilegio de trabajar y aprender.

De estas tres razones, una merece especial mención: las preguntas constantes en el ambiente educativo. En las décadas mencionadas se discutía acerca del papel de los recursos que combinaban sonido e imagen y sus posibles efectos sobre el uso de recursos tradicionales como el libro y el cuaderno de notas. Hoy, guardando las proporciones de complejidad, sofisticación y rapidez, se cuestiona el papel que cumplen las tecnologías de la información y la comunicación (TIC) en el aula. En el contexto de los audiovisuales se analizaba con cierto temor el rol del docente frente a las “máquinas de enseñar”; hoy, frente a las pantallas y las redes sociales. Se debatía sobre la calidad de la educación a distancia; hoy, sobre la educación mediada por TIC. Se orientaba a los estudiantes en el uso adecuado del libro y la toma de apuntes; hoy, se discuten los derechos de autor y la toma de fotografías en clase, aun cuando rara vez se revisan posteriormente.

En aquel entonces se reclamaba la formación y el perfeccionamiento docente en el uso y preparación de materiales audiovisuales; hoy, se exige capacitación para el manejo de plataformas y entornos virtuales. También se debatía la igualdad de oportunidades para acceder a recursos audiovisuales; hoy, se plantea respecto de computadores, internet y celulares. La lista de semejanzas y diferencias podría extenderse y ameritaría un texto específico, fuera del alcance de esta introducción.

Sobre las tres razones mencionadas anteriormente, y más allá de la digresión previa, asumo como un hecho que, en la actualidad, la enseñanza de la química de manera unidisciplinaria y a través de métodos tradicionales difícilmente responde a las necesidades de las nuevas generaciones de estudiantes. Las tecnologías de la información y la comunicación han ingresado aceleradamente al aula; tanto el objeto de conocimiento como el de aprendizaje se han dinamizado; cada vez más los libros y los cuadernos de notas, junto con la lectura y la escritura, bien pueden considerarse “pacientes terminales”. La enseñanza de la química enfrentaba un contexto distinto antes de la pandemia al que enfrenta ahora. Existen ventanas para mirar el mundo más allá de los linderos del aula, y la enseñanza y el

aprendizaje, como parte de los complejos procesos educativos, reclaman con urgencia nuevas perspectivas y prácticas didácticas. En una palabra: la enseñanza y el aprendizaje de la química deben procurar aproximaciones a visiones, prácticas y condiciones laborales de naturaleza dinámica, global y multidisciplinar. Este texto representa un intento del autor por aportar algunas de esas perspectivas.

En la dirección de la panorámica anteriormente esbozada, y sobre una idea fuerza que sostiene la iniciativa de escribir este texto, se levanta una invitación a la comunidad académica vinculada con la enseñanza y el aprendizaje de la química —desde perspectivas teóricas, prácticas e investigativas— a encaminar sus acciones hacia la transformación de la pedagogía y la didáctica de esta ciencia, en procura de desarrollar las operaciones cognitivas de orden superior de sus estudiantes. Asimismo, esta invitación implica la búsqueda continua de formas particulares y propias de ver el mundo desde la perspectiva química, en relación tanto con los tejidos conceptuales que la constituyen como con sus vínculos con otros campos del conocimiento humano y los contextos sociales.

En la perspectiva anterior, desde las ideas iniciales de su diseño y los objetivos planteados para su elaboración, se ha mantenido la intención de presentar a los docentes y estudiantes —principalmente maestros en formación— algunas orientaciones que iluminen sus caminos de aprendizaje, no como un sendero a transitar de manera rígida, sino como ideas orientadoras para apoyar la transformación requerida.

Por ello, a lo largo del texto se enfatiza —aun a riesgo de ser repetitivo— la necesidad de que cada estudiante se responsabilice, de manera consciente y comprometida, primero de conocerse en profundidad en su forma de pensar, sentir y actuar y, en segundo lugar, de asumir la responsabilidad de construir su propio conocimiento. Este proceso debe estar mediado por el acuerdo de alcanzar y mostrar evidencias de resultados observables como producto de sus aprendizajes, junto con las orientaciones de un

docente. Subyace a esta afirmación otra idea fuerza del texto: en materia de aprendizaje, es más importante lo que hace el estudiante que lo que hace el docente.

En términos de organización, el texto se estructura en tres capítulos: el primero aborda la evaluación, en razón de su rol determinante en el contexto del alineamiento constructivo (AC); el segundo presenta las ideas centrales de esta orientación teórica y sus perspectivas como modelo orientador de la enseñanza y el aprendizaje de la química; y el tercero se divide en dos partes, una destinada a la construcción de una visión teórica de la enseñanza y el aprendizaje de la química desde los planteamientos del AC, y otra de carácter aplicado en la que se incluyen algunas lecciones de química a manera de sugerencia para llevar el AC a la práctica en el aula. Finalmente, el lector interesado encontrará dos anexos: uno con las notaciones espectrales de los elementos y otro con una bibliografía comentada, relativamente amplia, que ofrece orientaciones útiles tanto para el desarrollo de las actividades como para el autoconocimiento y la preparación de sesiones de trabajo en el aula.

Un complejo conjunto de factores parece ser responsable de conducir a muchos estudiantes hacia enfoques superficiales o estratégicos, y si esperas escapar de ellos para encontrar un enfoque en profundidad deberías entender estas fuerzas. Algunas de ellas aparecen ya en la escuela. Si te enfrentas, por ejemplo, a una dieta estricta de exámenes con preguntas de opción múltiple que únicamente te piden reconocer hechos aislados, no resultará sorprendente que acabes concluyendo que tu papel en la vida es memorizar hechos aislados y no buscar significados.

Los exámenes escritos que no esperan de los estudiantes otra acción que la de devolver lo mismo que pone el libro o lo que les dijo el profesor fomentan el aprendizaje poco profundo, el que no proporciona significado. Como lo expresó un antiguo colega: “Si una antropóloga de Marte aterrizara en este campus e intentara averiguar el propósito de la educación universitaria, podría concluir acertadamente que se trata de aprender a hacer exámenes sobre catálogos y directorios”.

KEN BAIN, *Lo que hacen los mejores estudiantes de universidad*

Capítulo I.

La evaluación y el alineamiento constructivo

Introducción

Cabe mencionar, en la perspectiva del desarrollo de este texto, que, de la misma manera en que ha sucedido a lo largo de los años con la concepción y puesta en práctica de las distintas aproximaciones al aprendizaje, no solo han cambiado, sino que también se han expandido y diversificado, la evaluación ha seguido una trayectoria similar. En realidad, algo semejante podría observarse en cada uno de los elementos que integran una experiencia educativa: un docente, el currículo, un estudiante, un contexto y la evaluación, además de los recursos y el tiempo, como señala Novak (1998).

A diferencia de los demás componentes mencionados, la evaluación reviste una importancia particular en el contexto educativo. Esta importancia radica en los posibles efectos que ejerce, no solo sobre el desarrollo académico, sino también sobre la vida de los estudiantes e incluso sobre cada ser humano.

Así, por ejemplo, en un contexto de formación profesional al cual pertenecí hace ya varios años, se conformó un grupo interdisciplinario de profesionales a quienes se encomendó la compleja tarea de acompañar,

como medio de “rescate” o “última oportunidad”, a estudiantes *ad portas* de abandonar la carrera por pérdida de espacios académicos en tres ocasiones consecutivas. Allí tuve la oportunidad de tratar con muchos estudiantes, pero recuerdo a uno de manera particular que, con altos niveles de desesperación y angustia, pedía casi como ruego que lo ayudara a salvar su carrera y, según él, su futuro como persona y profesional.

Con toda la argumentación física requerida en mano, demostraba haber desarrollado, en los tres cursos perdidos, literalmente todos los ejercicios de un texto de química analítica. Para mis adentros pensaba: yo no he desarrollado tantos ejercicios de lápiz y papel como él, ¿por qué no ha aprobado este curso? Tras varios intentos de enviarlo a descansar y a “bajarle la temperatura al sistema”, dados los altísimos niveles de angustia que presentaba, aceptó finalmente un receso de dos semanas. A su regreso, y gracias a diálogos reposados, logramos establecer la confianza suficiente para analizar la situación. Mientras tanto, revisé personalmente los ejercicios resueltos: todo parecía correcto y dentro de lo esperado.

Unas semanas más tarde, trabajando juntos, encontramos una tendencia general: en los ejercicios que implicaban cálculos exponenciales, los resultados aparecían multiplicados por 10 elevado al exponente respectivo. A manera de ilustración, si debía calcular $(3,75)^3$, en la calculadora ingresaba $3,75 \times 10 \text{EXP}^3$ y concluía que $R = 37\ 500$. El análisis conjunto permitió corregir el error y enfatizar la importancia de la formación matemática en la preparación de un buen ingeniero, así como la necesidad de reflexionar antes de actuar o tomar decisiones.

Con menos estrés, la continuación del trabajo permitió identificar una segunda tendencia: el uso mecánico y automático de los factores unitarios o factores de conversión como criterio de planeación y búsqueda de soluciones en química analítica por vía húmeda. Aunque en la mayoría de los ejercicios los factores estaban correctamente colocados, el estudiante carecía de la más mínima idea de su significado conceptual. Se confirmó,

una vez más, un nivel de aprendizaje matemático de baja calidad, centrado en la memorización y en la aplicación poco significativa de los factores de conversión.

En suma, este estudiante estuvo a punto de abandonar su carrera por bajo rendimiento en química analítica, cuando la dificultad real, evidenciada en las evaluaciones, radicaba en su débil conocimiento matemático y en el manejo inadecuado de la calculadora.

Más allá del carácter anecdótico de la situación, resulta interesante plantear preguntas y sugerencias que pueden aplicarse prácticamente a todos los componentes de una experiencia educativa:

Para el docente: ¿cómo identificar y apoyar a los estudiantes en sus dificultades particulares de aprendizaje? Un camino recomendable es la observación cuidadosa de las evidencias que dejan, en particular las pruebas de evaluación, que constituyen un escenario idóneo para detectar dificultades.

Para el estudiante: especialmente en el nivel universitario, la primacía de la razón sobre la desesperación; la confianza en sí mismo, en sus profesores y compañeros para buscar apoyo académico en situaciones apremiantes; el autocontrol y la reflexión permanente sobre lo que se hace y cómo se puede mejorar, mediante el uso de los llamados juicios de metamemoria (Montenegro, 2004).

Más allá de esta preocupación interna por los logros académicos, es necesario considerar los factores ambientales que, en muchos casos, ejercen un fuerte peso sobre los estudiantes. En este sentido, autores como Porlán (2018) han destacado la necesidad de un cambio en la enseñanza de las ciencias, íntimamente ligado a transformaciones en el contexto educativo. Parafraseando a Morán, Porlán plantea la urgencia de una “didáctica de las ciencias con consciencia” (p. 6).

No desconozco, por supuesto, que la confianza en el propio rendimiento académico de un estudiante disminuye en la medida en que los resultados predicen cada vez más de cerca, como desenlace, la pérdida de la calidad de estudiante en una institución, quizá acompañada de un cambio indeseado en la vida profesional prevista y anhelada por un individuo. Pero, precisamente por eso, el rendimiento académico basado en el compromiso y la responsabilidad no puede dejarse a merced del azar; es preciso tomar conciencia de un presente que se vive con la perspectiva de un futuro que se persigue.

He aquí una oportunidad para que el docente “ ejerza su función pedagógica”, incluso en el nivel universitario, al apoyar a sus estudiantes en la construcción de una sólida confianza en sí mismos y de un alto nivel de autoestima que los proyecte como profesionales eficientes y eficaces a lo largo de la vida, portadores de una autonomía autorregulada. Con toda la importancia que se le da al aprendizaje y al desarrollo de las operaciones de pensamiento como base del desempeño académico, esta última función docente implica estimular y fortalecer en los educandos la capacidad de ser; operar sobre el desarrollo personal del mismo modo que se aprende a aprender para toda la vida supone aprender a ser, descubriendo aquellos aspectos propios de cada persona que le permiten vivir y convivir en sociedad de manera crítica y con sentido. Esta es la perspectiva que subyace al carácter educativo que debe acompañar la enseñanza de la química durante la vida escolar.

Para el estudiante y el docente, como actores centrales de toda experiencia educativa en el aula, el desafío mutuo consiste en buscar alternativas de respuesta a una de las tantas preguntas que se pueden formular en este contexto: ¿cómo lograr lo que, según Novak, es una experiencia educativa empoderante? Tal vez la mejor respuesta sea que ambos miren hacia los mismos horizontes, no solo de manera teórica, sino también —y prioritariamente— de forma práctica. En este sentido, el alineamiento

constructivo (AC) y la evaluación auténtica podrían arrojar algunas luces para proceder.

Seguramente no muchas veces los docentes se detienen a pensar cómo aprenden sus estudiantes, cómo estudian, cómo se sienten después de una evaluación, cómo se autoevalúan —en caso de que lo hagan— y para qué lo hacen.

En suma, en relación con el hábito de reflexionar cotidianamente sobre lo que se hace, tal vez sea un aspecto con amplio margen de mejora, al menos en lo que respecta a nuestro contexto. Sencillamente procedemos a desarrollar las labores docentes cada día con responsabilidad y un alto sentido de profesionalismo. Sin embargo, una mirada reflexiva a nuestro alrededor y, con bastante seguridad, al interior de la evolución personal a lo largo de la vida de cada individuo, nos podría mostrar fácilmente que, a diferencia del currículo, por ejemplo, la evaluación nos ha acompañado desde el nacimiento y lo hará incluso más allá de la tumba en muchos casos.

Con el desarrollo del conocimiento humano y la tecnología actual, este acompañamiento comienza ya desde el vientre materno. Tal vez sea pertinente recordar que, poco tiempo después de la concepción, el bebé recibe una valoración médica a partir de un seguimiento clínico. No provienen de otra connotación hechos como el que, tan pronto como un bebé manifiesta su primera respiración fuera del vientre materno, el servicio médico le coloca una cinta en la mano con sus datos de nacimiento, mientras que en la historia clínica se registran la talla, el peso y otros datos biológicos.

Luego, este proceso de evaluación avanza con cada persona, haciéndose cada vez más complejo y riguroso, desde el servicio médico, la familia, los amigos y el ambiente social donde se crece. Ya en la edad escolar, la evaluación se orienta a los cánones propios de este contexto: desempeño académico, disciplina, comportamiento, puntualidad, nivel de compromiso, entre otras variables. A ello se suma poco a poco un proceso aprendido de

autoevaluación, que continúa hasta la culminación de la vida, aunque sus efectos suelen prolongarse en el tiempo.

Incluso después de los desenlaces naturales, algunas de las obras realizadas en vida suelen ser traídas a colación para juzgarlas, unas para considerarlas un adelanto en su época y otras para mostrar lo alejadas que estaban de la realidad. Es el proceso habitual de crecimiento del conocimiento humano y de la dinámica propia de la vida.

Las ideas expuestas buscan ilustrar la pesada tarea que recae sobre los docentes. Es cierto que el maestro ejerce su influencia durante un trayecto relativamente corto de la existencia del ser humano y que tal influencia decrece a medida que sus discípulos crecen intelectual y cronológicamente. Sin embargo, el impacto de su acción dura, en muchos casos, el resto de la vida.

De esta manera, la evaluación, desde una perspectiva individual y reflexiva, es en cada momento un indicador de desarrollo y de logros que permite dividir la vida en tres tiempos continuos: el pretérito, a partir del momento en que se autoevalúa; el presente, que suele ser transitorio y corresponde al que se vive; y el futuro, que es apenas una escena presagiada de la vida potencial.

En materia educativa, la evaluación, bajo diferentes perspectivas, concepciones y matices, acompañará la escuela por mucho tiempo. En esa dirección, lo único que se puede —y debe— hacer es incorporarla a las estrategias de enseñanza-aprendizaje en el aula, de tal manera que se convierta en una oportunidad más de enseñanza y de orientación de las dinámicas escolares hacia el logro de determinados resultados o productos del aprendizaje. Asumirla y llevarla a cabo con profesionalismo y compromiso ético de parte del docente, así como crear espacios donde los estudiantes poco a poco hagan de esta actividad un proceso de autoconocimiento y autoevaluación. Este proceso, de manera lenta pero continua y segura, les permitirá ganar confianza en sí mismos y, ante todo, tener una

idea clara del grado de reconocimiento interno del éxito alcanzado. A su vez, ello refuerza la satisfacción personal que, en últimas, es el combustible que mantiene viva la motivación para llevar a cabo un proyecto de vida como base de la superación personal.

Es pertinente destacar que una visión combinada del AC con los planteamientos de Izquierdo y Adúriz-Bravo (2021) puede conducir al establecimiento de un modelo de enseñanza de las ciencias en el cual, al considerar al estudiantado como seres pensantes que construyen y cuestionan argumentalmente las diferentes formas de explicar el mundo y su devenir, crezcan y se desarrollen en sistemas educativos estructurados en niveles altamente alineados hacia el ejercicio de una ciudadanía crítica y responsable. En términos de los autores, los estudiantes crecen y se desarrollan en

un modelo de enseñanza que los considera agentes capaces de pensar con rigor sobre el mundo porque aceptan compartir teorías a las que encuentran significado auténtico en lo que ellos pueden hacer en ese mundo de acuerdo con su propia perspectiva de intervención. (p. 75)

En este horizonte, la enseñanza de la química a lo largo de los diferentes niveles educativos en Colombia sería un factor adicional que contribuiría a la formación de futuras generaciones con una visión más rigurosa y científica, no solamente del sistema ambiental global, sino también —y quizá con mayor importancia— del ambiente social en el que habrán de vivir.

La evaluación como medición y la evaluación auténtica

Con el propósito de mostrar una panorámica general de la evaluación desde comienzos del siglo XIX hasta nuestros días, y construyendo sobre el trabajo de Escudero (2003), a continuación —a partir de la figura 1— se presenta una descripción de dos de las aproximaciones seguidas por este autor. En efecto, de acuerdo con Escudero, varios investigadores han

emprendido el desarrollo cronológico de este concepto, entre ellos Guba y Lincoln, por una parte, y Cabrera y Salvador, por otra.

A diferencia de los decenios planteados por Cabrera y Salvador, para Guba y Lincoln las etapas son más amplias en el tiempo y se agrupan en cuatro generaciones: las tres primeras hasta aproximadamente 1972 y la última desde entonces hasta la actualidad.

Por su parte, Cabrera y Salvador proponen describir la historia de la evaluación en tres épocas, cada una con lapsos temporales más extensos que los asignados a las generaciones de Guba y Lincoln. De este modo, una mirada a la figura 1 permite observar cómo, en términos de intervalos temporales, se pasa de los decenios (no representados en la figura por motivos de simplicidad) y las épocas, a las generaciones, estas últimas con espacios más acotados.

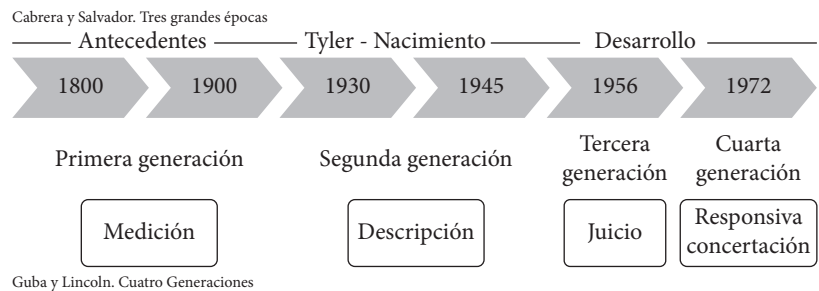


Figura 1. Evolución cronológica de la evaluación en términos de épocas y generaciones

Fuente: elaboración propia.

Ahora, al entrar en los comienzos de la línea de tiempo ilustrada en la figura 1 —ya sea en términos de épocas o generaciones—, lo que se encuentra es que características como la complejidad, la complementariedad y el carácter selectivo no solo se mantienen, sino que se incrementan. Asimismo, las concepciones de evaluación se hacen más abundantes y diversas, pero también incorporan nuevas perspectivas, como la evaluación por norma y por criterio, acompañada de objetivos (Frith y Macintosh, 1984).

Según estos autores, una evaluación con referencia a la norma está dirigida a observar el desempeño académico de un individuo en relación con el de todo un curso, y trata de establecer cuánto provecho obtuvo la persona que participó en un espacio o evento académico. A diferencia de la anterior, la evaluación con referencia a criterio se orienta a determinar cuántos individuos alcanzan un estándar dentro de un grupo o, a nivel individual, cómo se desempeñó un estudiante frente a una pregunta específica.

Un acontecimiento que merece destacarse en este contexto es el *Estudio de los ocho años*, liderado por Tyler en Estados Unidos. En él participó un grupo de escuelas secundarias con licencia para desarrollar currículos experimentales. El propósito fundamental del estudio de los ocho años era demostrar que los estudiantes preparados por estos currículos no ortodoxos serían, sin embargo, capaces de tener éxito en los colleges. El período de tiempo de ocho años se determinó para facilitar que, por lo menos, una cohorte de esos estudiantes alcanzara cuatro años completos de trabajo en educación secundaria (Guba y Lincoln, 1989, p. 27).

El cuidadoso desarrollo de este experimento, dirigido por Tyler y sus colaboradores, los condujo a proponer una forma distinta de evaluación y seguimiento tanto del funcionamiento del currículo como del rendimiento de los estudiantes. Se trataba de una experiencia en la que, durante su ejecución, los planes de estudio se ajustaban en la medida en que lo requerían, hasta alcanzar un nivel adecuado tanto de los currículos como del desempeño académico de los estudiantes. Dado que la metodología de enseñanza era diferente de la convencional, la evaluación también debía ser coherente con estas perspectivas, apartándose, al menos en principio, de la mera medición.

Para responder a este requerimiento, a medida que los estudiantes avanzaban en el programa se registraban aquellos factores que, como fortalezas y debilidades observadas, incidían positiva o negativamente en

su rendimiento académico. Producto de esta orientación, en el *Estudio de los ocho años* surgieron, por una parte, la evaluación curricular y, por otra, la evaluación formativa.

Con estos aportes, según Escudero (2003), nace la evaluación educativa orientada a responder a la necesidad de desarrollarse de manera más científica, de tal modo que sirviera para procurar un mejoramiento continuo de la educación a partir de la medición clara del cumplimiento de los objetivos establecidos previamente. Estos objetivos, además de elaborarse con antelación, servían como criterio para la evaluación de los estudiantes y permitían producir resultados individuales que se comunicaban tanto a los propios estudiantes y a sus familias como a las autoridades educativas, dentro y fuera de las instituciones.

De conformidad con autores como Bloom *et al.* (1975), Gagné y Briggs (1976), y Frith y Macintosh (1984), los objetivos debían formularse de manera que reflejaran claramente los cambios en las conductas que los estudiantes debían demostrar al finalizar un curso o un currículo. Para el contexto de la enseñanza y el aprendizaje de la química, Domínguez (1975), en su libro *As experiências em química*, describe una propuesta sobre la hidrólisis de las sales, en la que se observa un carácter netamente inductivo como aproximación a la enseñanza, con formulación de objetivos generales y particulares. Además, es de anotar que, en el pensamiento de Tyler, los objetivos eran el eje central de la evaluación, idea que, en términos del alineamiento constructivo como exponente de la educación por resultados, se mantiene vigente.

La línea de desarrollo de la evaluación, que progresaba fructíferamente hacia convertirse en un campo específico de investigación educativa, habría de experimentar un redireccionamiento político y académico poco después de terminada la Segunda Guerra Mundial. Aunque este giro puede considerarse un “retraso” en los avances del conocimiento en dichos

campos, también significó un fuerte impulso, desde Estados Unidos y Europa, tanto para las ciencias naturales como para su enseñanza.

La evaluación se expande

El período comprendido entre 1956 y 1972, de acuerdo con la figura 1, se conoce como la tercera generación de evaluación. Los desarrollos de la evaluación en este lapso se vieron enmarcados en el nacimiento de la conquista del espacio. Frente a la iniciativa de la entonces Unión Soviética de lanzar un cohete en dirección a la Luna, se despertó en los Estados Unidos —y en sus aliados, entre ellos el Reino Unido— un alto grado de interés por la investigación científica, tanto en las ciencias naturales como en su enseñanza. En cierta medida, se desestimularon los desarrollos de la evaluación en general y se concentraron los esfuerzos educativos en las ciencias naturales, pues era necesario preparar a los científicos que tendrían la misión de llevar un hombre a la Luna.

En este contexto, la evaluación como medición y descripción ya era blanco de críticas. Entre otros factores, se cuestionaba porque consideraba al estudiante como un objeto de evaluación y porque no resultaba claro si respondía a los esfuerzos nacionales de orientar la enseñanza de las ciencias hacia sus procesos de producción, es decir, hacia la enseñanza del llamado método científico, con prioridad en los conceptos.

En los medios educativos latinoamericanos, y particularmente en la Universidad Pedagógica Nacional, se entendía esta tendencia como una aproximación al supuesto de que, si al estudiante no se le daban los contenidos, pero se le enseñaba a producirlos, pronto la educación en ciencias mostraría resultados alentadores.

En esta dirección, las autoridades educativas de los Estados Unidos, lideradas por la National Science Foundation, confiaron la enseñanza de las ciencias a los propios científicos. Serían ellos los encargados de

formar a las nuevas generaciones para enfrentar las tareas derivadas de la conquista del espacio. En este marco nacieron los llamados proyectos alfabeto: entre ellos, para química, el Chemical Education Material Study (CHEM) (Pimentel, 1966).

Al igual que los aportes de Tyler y la educación por objetivos, estos proyectos pronto llegaron a América Latina y captaron gran parte del interés tanto de docentes como de instituciones educativas, especialmente aquellas dedicadas a la formación de maestros.

En relación con la evaluación, el énfasis en la enseñanza del método científico trajo consigo nuevas variables que no podían ser abordadas mediante pruebas estandarizadas. Era el caso, por ejemplo, del comportamiento de los estudiantes y de las destrezas requeridas para la experimentación y el trabajo de laboratorio. Se hizo entonces necesario redireccionar la evaluación para incluir el análisis de estas variables, que debían ir más allá de la memorización de procedimientos y de habilidades meramente operativas.

Esta perspectiva generó una evaluación más orientada a la observación *in situ* del desempeño de los estudiantes en el laboratorio, así como evaluaciones escritas de carácter más abierto, junto con el desarrollo de la agudeza docente para establecer criterios de valoración de los informes de laboratorio.

La enseñanza de las ciencias en general, y de la química en particular, se tornó más dinámica y fundamentada en el ejercicio de actividades (Pimentel, 1966). En coherencia con lo expuesto, y en el marco de la descripción de la evolución de la evaluación —centrada en el establecimiento de épocas y generaciones—, parece pertinente cerrar los comentarios sobre las generaciones de Guba y Lincoln con la publicación de su libro *Fourth Generation Evaluation* en 1989, y con el trabajo de Escudero en 2003. No obstante, resulta oportuno invitar a los lectores a

consultar este último texto, basado en una amplia revisión bibliográfica, que ofrece una mirada más detallada del tema.

En términos de la evaluación, los desarrollos se han prolongado hasta nuestros días, en la búsqueda de nuevos aportes a este campo. Básicamente, se observan dos orientaciones: la evaluación de los rendimientos académicos estudiantiles y una forma de evaluación más auténtica. En esta dirección, se avanza cada vez más hacia un enfoque sistemático y particular, tanto para las ciencias como para la química.

Sobre la evaluación del desempeño

Desde finales de los años ochenta y comienzos de la década de los noventa, los desarrollos en el campo de la evaluación se han orientado hacia la ejecución de proyectos investigativos y hacia perspectivas particulares. Algunas de estas investigaciones han tendido a la evaluación disciplinar, que constituye el interés principal de este texto, aunque sin perder de vista una cierta panorámica general del tema (Brown y Shavelson, 1996; Shavelson, 1992; Kempa, 1986; Head, 1985).

Como orientación específica, Shavelson y su grupo de investigación plantearon una forma distinta de concebir la evaluación en el ámbito de la educación en ciencias, que trasciende la aplicación de pruebas estandarizadas tipo *test*. Esta tendencia también se asocia con el desarrollo de habilidades científicas y se integra en los procesos metodológicos de enseñanza. Según los autores, su marco teórico identifica tres componentes de la evaluación (tarea, formato de respuesta y sistema de puntuación) y concibe la evaluación de desempeño como tareas que intentan recrear las condiciones en las cuales los científicos trabajan, así como evocar la forma de pensamiento y razonamiento que utilizan para resolver problemas (Solano y Shavelson, 1987, p. 23).

Esta perspectiva busca que los estudiantes desarrollen su capacidad de pensar, sentir y actuar como lo hacen los científicos. Bajo esta mirada, el aprendizaje de la química, en tanto ciencia, se orienta por los postulados del aprender haciendo. Y dado que se trata de aprender a investigar, la aproximación metodológica más coherente es partir de un problema.

De este modo, los estudiantes —según su edad, trayectoria académica y condiciones institucionales y personales— desarrollan y resuelven en el aula diferentes actividades de naturaleza didáctica, todas ellas directa o indirectamente orientadas a encontrar una solución idealmente individual y original a las situaciones planteadas.

En esta línea, Pessoa de Carvalho (1995), fundamentándose en diversos autores, destaca que: “Las actividades ocupan un papel fundamental en una enseñanza que tiene por objetivo proporcionarle condiciones al alumno para que él construya su conocimiento” (p. 61).

En ese mismo contexto, Cañal *et al.* (1993, citados en Pessoa de Carvalho, 1995) definen las actividades didácticas como: “Procesos de flujo y tratamiento de información (orientados, interactivos y organizados) característicos del sistema-aula” (p. 61).

En el marco del alineamiento constructivo, planteado por Biggs y Tang (2011), la función del docente es planear y diseñar buenas actividades de aprendizaje para que las realicen los estudiantes. Estas actividades, al relacionarse con la evaluación, deben ser isomórficas con las que se desarrollan en el aula y contribuir al logro de objetivos observables como evidencia de aprendizaje previamente definidos.

Dos aproximaciones empleadas en la organización de actividades para el aula son, por una parte, las tareas de desempeño, consideradas por Shavelson y su equipo en la Universidad de Stanford, y, por otra, los mini-proyectos planteados por Hadden y Johnstone en el centro de formación

de docentes en ciencias de la Universidad de Glasgow, en Escocia (Brown y Shavelson, 1996; Hadden y Johnstone, 1990; Hadden y Johnstone, 1989).

Reconociendo las dificultades derivadas de la compleja situación del aula —donde inciden variables como el número de estudiantes, las normas institucionales y los límites de los currículos—, Shavelson propone, de manera práctica, la evaluación del desempeño basada en tareas. En el contexto del alineamiento constructivo sería más pertinente denominarlas actividades de evaluación, fuertemente vinculadas a las actividades de producto, como se analizará más adelante.

Es claro que, al enfatizar en el desarrollo de estas actividades, no solo aprenden los estudiantes: también el docente aprende. De este proceso deriva conocimiento, fortalece su autoevaluación, incorpora aprendizajes vinculados al currículo, mejora la evaluación misma y el desarrollo metodológico de la clase, además de perfeccionar los sistemas de puntuación y el diseño de las tareas.

En esta perspectiva, Shavelson (citado en Brown y Shavelson, 1996) propone tres fases como horizonte de referencia para estructurar actividades de evaluación del desempeño: “una tarea, un formato de respuesta y un sistema de puntuación”. Estos planteamientos se ilustran en la figura 2.

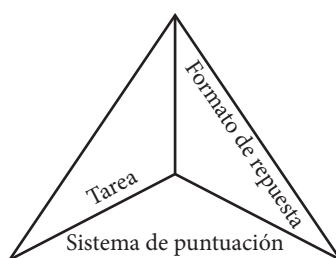


Figura 2. Componentes de una evaluación de desempeño

Fuente: tomado y adaptado de Brown y Shavelson (1996).

Obsérvese que en la figura 2 cada una de las fases se asocia con una parte del área del triángulo equilátero, lo cual se interpreta como un conjunto de tareas o actividades organizadas de acuerdo con algún principio o marco teórico que les brinde coherencia metodológica para su aplicación en el aula. En el caso de la enseñanza de la química, este principio puede ser la taxonomía SOLO (*The Structure of the Observed Learning Outcomes*) y su relación con lo que Daniel Gil denomina conocer la materia a enseñar, es decir, conocer la química. En palabras de White, podría afirmarse que quien enseña ha de ser competente en química (White, 1979; Biggs, 2010, 2011; Gil, 1991; Brown y Shavelson, 1996).

De igual modo, el formato de respuesta debe diseñarse en coherencia con la organización conceptual y metodológica de las actividades desarrolladas en el aula. En este sentido, el formato ha de permitir a los estudiantes dejar constancia de lo que aprendieron y de los procesos mediante los cuales alcanzaron ese aprendizaje o resolvieron el problema planteado.

Esta constituye la base de una evaluación del desempeño fundamentada en evidencias o, más recientemente en nuestro contexto, de la educación por resultados. Se busca que, al final de un curso o programa, el estudiante muestre qué sabe y qué sabe hacer que no sabía al inicio. En otras palabras, el formato de respuesta debe diseñarse de manera tal que la información recogida permita a dos evaluadores, bajo los mismos criterios, asignar juicios de valor iguales o, en la práctica, muy semejantes sobre el mismo trabajo o producto de un estudiante o grupo.

Algo similar ocurre con el sistema de puntuación. Su diseño debe ser coherente con los criterios de organización de contenidos y con los procesos metodológicos implementados en el aula. Además, ha de producir datos con la validez suficiente para reflejar los desempeños de los estudiantes, del docente y de los planes de estudio, garantizando justicia, equidad y transparencia.

En consonancia con el alineamiento constructivo, las variables de contexto tienen un peso alto en el diseño de tareas o actividades de desempeño, así como también en las de aprendizaje. Estas deben adecuarse al desarrollo cronológico de los estudiantes y a su trayectoria académica. No obstante, dado que aún persiste una tradición de evaluación basada en la primera generación, su aceptación e incorporación en la práctica educativa requerirá tiempo y deberá implementarse de manera gradual.

Como afirman Solano-Flores y Shavelson (1997): debido a las tensiones que se presentan entre las diferentes dimensiones, ninguna evaluación puede ser optimizada en todas ellas. Los diseñadores de evaluación deben buscar la mejor combinación de estas características en las cuales las ganancias sean maximizadas y las debilidades sean minimizadas (p. 20).

En este marco, el profesionalismo del docente, junto con el trabajo colectivo y coordinado dentro de una institución, facultad o departamento, constituye el camino más viable para definir lineamientos generales que, aplicados de manera sistemática, faciliten el proceso de transición hacia modelos más auténticos de evaluación del desempeño.

La evaluación del desempeño y los equipos integrales de docencia

Camino a la transición requerida, pueden servir de apoyo —en el caso concreto del Departamento de Química de la Universidad Pedagógica Nacional— los ya concebidos, normativa y prácticamente, equipos integrales de docencia establecidos en el Acuerdo 004 de 2003 (Universidad Pedagógica Nacional, 2003). En principio, estos equipos podrían incluir un especialista en evaluación tanto del aprendizaje como del currículo, cuya función principal sería la investigación en evaluación del aprendizaje y del desarrollo curricular, con énfasis en el seguimiento de cohortes a fin de identificar posibles dificultades que se presenten durante sus estudios y,

a partir de esta caracterización, implementar las acciones intencionadas pertinentes para cada cohorte, particularmente durante los primeros semestres.

Algunos pasos en esta dirección ya se han dado en el Departamento de Química, mediante los estudios de cohorte realizados en el contexto del Laboratorio de Observación de la Evolución de Cohortes (LOEC; Soler *et al.*, 2020; Cárdenas *et al.*, 2023).

La expresión *acciones intencionadas pertinentes* debe entenderse como la atención puntual a las necesidades que presente una determinada cohorte. Así, por ejemplo, si se identifican dificultades asociadas con la lectura o la escritura, la acción intencionada pertinente sería analizar la situación con los docentes de los espacios académicos de esa cohorte y, desde allí, apoyar el perfeccionamiento de la competencia lectora y escritural en ese grupo, independientemente del espacio académico.

La recolección sistemática de información sobre lo realizado por cada docente y los logros alcanzados podría constituir un insumo valioso para la producción de conocimiento acerca de los progresos de las diferentes cohortes en relación con sus aprendizajes, así como sobre posibles estrategias para procurar la retención de un mayor número de estudiantes en los programas. Esto, además de su relevancia para los procesos de evaluación y acreditación de alta calidad institucional.

Miniproyectos y evaluación

Como se ha establecido en otras oportunidades (Cárdenas *et al.*, 1995; Cárdenas y Manios, 2005; Cárdenas y Montealegre, 2001, 2002a), los miniproyectos en Colombia ya se han aplicado para la enseñanza experimental de la química a nivel de pregrado y maestría. En esencia, se trata de proyectos pequeños que tuvieron su origen en Escocia a finales de la década de 1980 (Hadden y Johnstone, 1989), propuestos como alternativa para transitar de una educación secundaria que culminaba en el quinto

grado —a partir del cual los estudiantes ingresaban a la universidad— y fortalecer las habilidades de resolución de problemas en los participantes con el apoyo de la industria química local.

Esta transferencia temprana llevó a las autoridades educativas de aquel país a concluir que se requería un año más de permanencia en el nivel secundario, de tal manera que los estudiantes llegaran a la universidad con un mayor nivel de madurez cronológica y mental. Para este propósito se incluyó el sexto grado, aunque no se buscaba un año lectivo adicional, sino algo distinto. Así, se organizó una alianza entre instituciones educativas y la industria local para que los estudiantes se vincularan a la industria con el acompañamiento de un profesor, desarrollando un proyecto durante ese año.

Puesto que los resultados de esta experiencia fueron positivos, el Centro de Educación en Ciencias de la Universidad de Glasgow extendió la idea de los miniproyectos a la educación secundaria de manera más general. El trabajo con miniproyectos buscaba estimular la creatividad, despertar el interés por la química y formar personas más seguras y capaces de adelantar trabajo independiente al llegar a la universidad (Cárdenas *et al.*, 1995).

Si bien en principio los miniproyectos no pretendían ser un escenario directo para la evaluación, sí constituían una forma de enseñar química experimentalmente. En su diseño, además, era inherente la posibilidad de emplear la información dejada por los estudiantes durante su desarrollo con fines de evaluación y emisión de juicios de valor sobre el trabajo individual o grupal. Es decir, el formato de presentación del miniproyecto podía cumplir una función doble: por un lado, servir como escenario de presentación del problema o situación a resolver y, por otro, funcionar como instrumento de recolección de información para evaluar los aprendizajes derivados de su ejecución, particularmente en el contexto experimental de la química.

Partiendo de los trabajos originales de Hadden y Johnstone (1989, 1990), y de las adaptaciones realizadas en Colombia (Cárdenas y Montea-
legre, 2000, 2001), a continuación se enumeran los principales pasos de la
formulación de los miniproyectos.

1. Un miniproyecto debe formularse en términos de un problema o actividad tan simple como sea posible, sin ninguna indicación del procedimiento a seguir para solucionarlo.
2. Su solución debe requerir, por parte de los estudiantes, prioritariamente la realización de un trabajo experimental en laboratorio, en el aula o, en algunas ocasiones, fuera de ella.
3. Deben exigir de los estudiantes el uso de conocimientos, habilidades prácticas y técnicas que sean consistentes con los contenidos teóricos desarrollados en el curso, es decir, en el contexto de un *syllabus*.
4. Deben ser susceptibles de desarrollarse en un tiempo determinado, incluyendo un reporte escrito.
5. Deben incluir problemas “cerrados y abiertos” (un problema cerrado se define como aquel que requiere un solo camino para alcanzar la solución). Deben basarse en los contenidos del *syllabus* del curso (ejemplo: los relacionados con reactivos químicos conocidos) o de la vida cotidiana (ejemplo: los que involucran líquidos o polvos de uso en el hogar) e incluir “simulaciones del mundo real”; es decir, situaciones en las cuales deban resolver problemas semejantes a los que enfrentan los químicos profesionales (ejemplo: contaminación del agua o corrosión).
6. Durante su desarrollo, los estudiantes pueden hacer uso de todas las fuentes de información existentes o disponibles, incluso consultar a los compañeros.
7. Deben ser oportunidades de aprendizaje para los estudiantes y oportunidades de enseñanza para los docentes (Hadden y Johnstone, 1990, p. 39).

Algunas consideraciones acerca de estas características, que han sido tenidas en cuenta en investigaciones y trabajos de maestría en el contexto colombiano, son, en orden descendente respecto a las características anteriores, las siguientes (Cárdenas *et al.*, 1995; Cárdenas y Montealegre, 2000, 2001).

La simplicidad del problema depende de los contenidos del *syllabus* y de las condiciones cronológicas y cognitivas de los estudiantes. Si bien los miniproyectos, en su origen, estaban ceñidos al *syllabus* y a la parte experimental (característica 3), en su aplicación en Colombia se han trabajado algunos de tipo teórico y, en su mayoría, de naturaleza abierta. El tiempo de duración para el desarrollo se amplió generalmente a dos horas e incluso podía incluir trabajo fuera del aula. La consulta de información también se amplió a todas las fuentes posibles, incluidos los compañeros y el profesor.

Como los estudiantes no tenían experiencia con miniproyectos, en los primeros ejercicios el desempeño fue bajo y los niveles de consulta al docente muy altos, a pesar de que los problemas planteados eran sencillos. Sin embargo, con el avance de los cursos, el rendimiento mejoró progresivamente.

Para los docentes, la experiencia resultó positiva, pues encontraron un ambiente más activo y motivante en sus estudiantes. No obstante, surgió la preocupación por el tiempo requerido para diseñar y calificar los miniproyectos.

La evaluación de los comentarios finales de los estudiantes en el formato de presentación, así como la observación rigurosa de los docentes, evidenció la necesidad de introducir modificaciones al formato, además de las ya previstas desde el inicio, con el fin de adaptarlo mejor al contexto local.

Una de las principales conclusiones de los primeros ejercicios fue la baja competencia lectora e interpretativa de los participantes, una

dificultad que prácticamente impedía el desarrollo de lo programado. Para mitigar este problema, se incluyó un apartado en el formato donde, antes de proceder, cada estudiante o grupo debía escribir con sus propias palabras la interpretación de la tarea y discutirla con el docente.

Este nuevo elemento, junto con los cuidados propios del trabajo en laboratorio, aumentó el tiempo de dedicación requerido por el docente en comparación con la supervisión tradicional de guías experimentales. Para los estudiantes de primeros semestres, sin embargo, representó una oportunidad para fortalecer los hábitos de lectura.

Otra dificultad inicial fue la excesiva dependencia de los estudiantes respecto al docente, evidenciada en preguntas recurrentes como: “¿Qué tengo que hacer si no me dice cómo hacerlo?”. Al comienzo esto fue preocupante para los profesores, algunos de los cuales estuvieron a punto de abandonar la experiencia debido a la presión de completar los contenidos del *syllabus* y entregar notas a tiempo para cumplir con los calendarios académicos y los plazos perentorios de “subir notas al sistema”. Una estrategia para superar esta situación fue complementar los miniproyectos con la recolección de materiales producidos por los estudiantes para analizarlos posteriormente.

En términos generales, la última dificultad señalada corresponde a una variable de contexto que suele limitar o desmotivar la realización y ejecución de proyectos de investigación.

Con referencia a la necesidad de mejorar la competencia lectora y escritural mencionada anteriormente, se trata de un imperativo apremiante, máxime luego de la pandemia. Esta necesidad ya había sido detectada por investigadores previos (Gallego *et al.*, 1995), pero se hizo más evidente durante el desarrollo de los miniproyectos y, con mayor fuerza, tras la pandemia.

La figura 3 muestra uno de los miniproyectos incluidos en una investigación adelantada con estudiantes de primer semestre de Química (Cárdenas y Montealegre, 2000).

1. Datos generales

Facultad: Semestre: Grupo:

Fecha: Subgrupo:

Profesor:

Integrantes del subgrupo:

2. La tarea

Con las sustancias que se encuentran sobre la mesa, se pueden realizar, en el laboratorio, diferentes tipos de reacciones químicas. Proponga el mayor número posible de ellas y represente cada reacción mediante su correspondiente ecuación. Establezca, además, el tipo de reacción al cual pertenece cada una.

3. Materiales y reactivos

Tubos de ensayo, pinzas para tubo de ensayo, pinzas para cápsula, mechero, cápsula de porcelana, vaso de precipitados, espátula, cuchara de combustión, soporte para placa de calentamiento, agitador, probeta de 500 ml, triángulo de porcelana, vidrio de reloj, gradilla, pipeteador, ácido clorhídrico (HCl), ácido nítrico (HNO₃), óxido de calcio (CaO), hidróxido de sodio (NaOH), magnesio (Mg), azufre (S), fósforo rojo (P), agua (H₂O), sodio (Na), sulfato cúprico (CuSO₄), hierro (Fe) y cobre (Cu).

4. Interpretación de la tarea

Lea cuidadosamente lo que debe hacer antes de comenzar la actividad, interprétela y escriba, con sus propias palabras, su interpretación a continuación.

5. Propuestas metodológicas

Diseñe y escriba algunas propuestas metodológicas para resolver la tarea. Consúltelelas con el profesor y, con su visto bueno, seleccione una para desarrollarla en el laboratorio.

6. Procedimiento

Escriba, a continuación, de manera clara el procedimiento de la propuesta seleccionada.

7. Desarrollo de la actividad

Durante la realización de la reacción química seleccionada en el laboratorio, escriba en el espacio siguiente sus descripciones del proceso, hallazgos y productos.

8. Opiniones y valoración

Describa sus opiniones en relación con la actividad terminada. Indique aspectos positivos y negativos e, incluso, las dificultades encontradas, si las hubiera.

9. Sugerencias

¿Qué sugerencias haría usted para mejorar esta actividad?

Figura 3. Formato de presentación de un miniproyecto

Fuente: tomado y adaptado de Hadden y Johnstone (1990).

Consideraciones sobre el formato de miniproyectos

En relación con el numeral 1, es preciso tener en cuenta que, si se está trabajando en el contexto de una investigación en el aula o se quiere iniciar una, en esta parte se pueden solicitar a los participantes otra información que el investigador considere importante y útil para, posteriormente, buscar posibles explicaciones a los hallazgos derivados del análisis y la

interpretación de la información dejada por los estudiantes en cada uno de los puntos siguientes, a criterio del investigador o del docente.

Allí se puede solicitar información individual como el rango de edad, la preferencia de género, el tiempo de dedicación al estudio más allá del establecido para la realización del miniproyecto en el laboratorio. En la actualidad, es preciso incluir en este tipo de investigaciones el consentimiento informado de quienes serán los integrantes de la investigación; para el caso de la Universidad Pedagógica Nacional existe un formato establecido para ello titulado *Autorización tratamiento de datos personales y de menores de edad* (Universidad Pedagógica Nacional, 2018). Estos datos, de conformidad con el número de participantes y los recursos disponibles, particularmente de tiempo y dinero, se pueden analizar cuantitativamente. Puesto que el resto de la información que se recoge con el formato es de naturaleza cualitativa, se abre la posibilidad de adelantar una investigación en el aula de química de carácter mixto.

Con respecto al numeral 2 de la figura 3, el nivel de estructuración del problema y su complejidad depende del grado de escolaridad en el cual se esté trabajando, de los prerrequisitos de los estudiantes en términos de conocimiento del tema, de los intereses del docente o del investigador y de los contenidos del respectivo *syllabus*, entre otros factores.

En el numeral 3, es pertinente tener presente, en el momento de diseñar el miniproyecto, incluir todos los materiales requeridos para que los estudiantes puedan realizar la tarea. Esto facilita el desempeño del docente, dado que no requiere a cada momento autorizar la búsqueda de materiales o reactivos faltantes.

Analizar con el estudiante o los estudiantes, si se está trabajando con subgrupos, el numeral 4 es importante, dado que es el momento de orientarlos en el camino más apropiado para llevar a cabo con éxito el procedimiento seleccionado; no es, sin embargo, el momento de decirle al estudiante cuál es el camino que debe seguir. En este análisis,

eventualmente, el docente puede detectar, mediante el diálogo, algunas preconcepciones presentes en el grupo acerca del trabajo en el laboratorio o incluso errores conceptuales en los participantes. Con todo lo anterior, lo más importante en este punto es que el o los estudiantes tengan claridad sobre lo que van a hacer y los cuidados que deben tener por seguridad personal y del grupo. Es importante resaltar que, de conformidad con Hadden y Johnstone (1990), en los miniproyectos otra característica esencial es que en ningún momento se incluya la sugerencia de qué camino seguir para resolver la tarea. En este sentido, los miniproyectos orientan a los participantes a pensar propositivamente y actuar de manera independiente.

Según el numeral 5, el estudiante tiene que esforzarse por “hacer su propio trabajo” y, con ayuda de toda la información disponible, proponer alternativas de solución. En este caso, debe mirar y analizar los reactivos y los materiales para que, con la conjugación de ambos, la consulta de sus apuntes de clase, textos, compañeros, internet u otras fuentes —entre ellas sus propios conocimientos previos—, llegue a postular las posibles reacciones que puede producir con los materiales y reactivos dados.

Luego de diseñadas las alternativas de solución, es el momento de tomar la decisión de cuál o cuáles son las propuestas, numerales 5 y 6, para buscar la solución y, con el veredicto del docente, comenzar a realizarla. En este caso, se procede al desarrollo de las reacciones propuestas.

Durante el procedimiento para ejecutar la tarea (numeral 7), es preciso que los estudiantes registren todas sus observaciones cuidadosamente. Además, en coherencia con una de las características del formato de respuesta propuesto para las tareas de desempeño por Brown y Shavelson (1996), muchas de estas observaciones son clave para que, contrastadas con la literatura pertinente y el diálogo entre pares, puedan construir explicaciones de lo realizado y entregar el respectivo reporte al finalizar la actividad. Para esto, el miniproyecto debe estar lo suficientemente bien

planeado a fin de dar tiempo a este requisito. A juicio del docente, este informe puede ser entregado más tarde en forma escrita o electrónica.

La información de los numerales 8 y 9 de la figura 3 no es de menor importancia que la de los anteriores. Precisamente, se procura que, en su análisis y posterior discusión conjunta con el docente, los estudiantes encuentren un escenario propicio para compartir su pensamiento y su sentir respecto de la actividad, conocerse más a sí mismos y al grupo, dialogar como mecanismo de orientación de sus aprendizajes y, de paso, valorar sus avances hacia el logro de los resultados previamente establecidos como productos finales.

Una comparación entre las tareas de evaluación
del desempeño y los miniproyectos

Procedentes de sendos lados del Atlántico, si bien de la misma década del siglo pasado, la evaluación del desempeño y los miniproyectos, como aproximaciones a la enseñanza experimental de las ciencias —la primera centrada directamente en la evaluación y la segunda como escenario metodológico para la enseñanza—, tienen más elementos en común que diferencias. Entre las semejanzas se pueden mencionar sus objetivos, sus formas de presentación, sus características, sus alcances y limitaciones, así como sus proyecciones como espacios para el desarrollo de propuestas didácticas y orientaciones de investigaciones en el aula.

En relación con los objetivos, es claro que en ambos casos se busca que, mediante el comportamiento activo del estudiante en el aula y en coherencia con las ideas constructivistas, este piense, sienta y actúe de manera similar a como lo hacen los científicos, al tiempo que sea constructor de sus propios conocimientos teóricos y procedimentales. En síntesis, se procura que los estudiantes adquieran las mismas habilidades de pensamiento propias de los científicos; ambas aproximaciones conducen a la evaluación por evidencias.

En cuanto a la forma de presentación, en los dos casos existe un formato: tal vez un poco más cerrado en la evaluación del desempeño y más abierto en los miniproyectos. En términos del desarrollo de habilidades investigativas, ambas aproximaciones se inscriben en el aprendizaje por investigación, esto es, en el aprender haciendo investigación.

En relación con el tiempo destinado para su realización, en principio, para los miniproyectos originalmente se proponía una hora, mientras que para la evaluación del desempeño —si bien no se manifiesta explícitamente en la literatura citada— se asume una sesión de clase.

Con referencia a los alcances y limitaciones, en general estos quedan circunscritos al profesionalismo de los docentes y a las normas y reglamentos de las instituciones en las cuales se desarrollan los respectivos currículos, donde se insertan los correspondientes *syllabus* para los contenidos.

En ambas propuestas se observa que provienen de procesos investigativos en didáctica experimentados en el aula y que son potencialmente susceptibles de adaptación a contextos sociales diferentes, como los nuestros, previa la realización de las respectivas modificaciones. Asimismo, son potencialmente útiles para diseñar estrategias didácticas de enseñanza y como puntos de partida que pueden orientar investigaciones de aula por los docentes interesados.

Tal vez, en la dirección de este texto, sea de gran importancia resaltar el hecho de que en ambas propuestas se aprecia la inserción de la evaluación en la enseñanza y el aprendizaje que se desarrolla en clase, en contraposición a la evaluación que se realiza solamente al final de un curso o de un semestre. Se presagia —aunque explícitamente no se diga— el ejercicio de la evaluación auténtica, incrustada u orientada al aprendizaje, de la que hablan autores como Berthiaume (2009), Carless (2007, 2015), De Celis y Silva (2017), Ladino (2020) y Norton (2009).

Si bien en las tareas de evaluación de desempeño se han hecho grandes esfuerzos por definir y estandarizar sistemas de puntuación, este es un tema en el cual se requiere aún mucha investigación. En el contexto de los miniproyectos, no se menciona un sistema particular de puntuación y, por tanto, su definición depende del profesionalismo del docente y de sus criterios para establecer los parámetros de valoración y calificación de los avances académicos de los estudiantes. Esta es una limitación considerable en contextos como el colombiano, donde las normas y los tiempos son muy estrictos para el reporte de las “notas”.

En términos de enseñanza-aprendizaje, la primera, la evaluación del desempeño, se desarrolla como una alternativa para la evaluación del aprendizaje en el marco de una reforma educativa en los Estados Unidos que, en la época de sus orígenes, se alejaba de la enseñanza tradicional para orientarse hacia un aprendizaje más centrado en el estudiante y en la formación autónoma (Brown y Shavelson, 1996). La segunda, los miniproyectos, surgió como una alternativa innovadora para el trabajo de los estudiantes un año previo a su ingreso a la universidad, en el contexto de la introducción de un nuevo *syllabus* (Hadden y Johnstone, 1989).

La presencia de un alto grado de semejanza entre las dos propuestas descritas las hace aptas para ser sugeridas como útiles en la transformación de la enseñanza de la química, desde una postura aún muy centrada en el docente, hacia una forma de aprendizaje más ligada a la responsabilidad del estudiante y a la formación de personas autónomas con un pensamiento más sistemático a lo largo de su vida. En esta dirección, es pertinente recordar el papel central que tiene la evaluación en el aprendizaje de los estudiantes.

Es bien conocido, como también lo destacó Norton (2009), que esta dimensión de la educación polariza y dirige lo que el estudiante aprende y la forma como lo hace, así como, en muchos casos, lo que el docente enseña

y la forma como lo enseña. De manera más concreta, Santos Guerra (1996) señaló que:

La forma de entender la evaluación condiciona el proceso de enseñanza y de aprendizaje. Por una parte, la forma de concebir y desarrollar ese proceso conduce a una forma de practicar la evaluación, pero no es menos cierta la tesis contraria: una forma de entender la evaluación hace que se supediten a ella las concepciones y los métodos de enseñanza. (p. 5)

A manera de generalización, bien podría decirse que cambiando la evaluación se cambia también la metodología de enseñanza y, por tanto, los desempeños académicos de los estudiantes. En apoyo de esta idea, Jorba y Sanmartí (2008) sostienen que “cada vez más se considera que si se quiere cambiar la práctica educativa es necesario cambiar la práctica de la evaluación, es decir, su finalidad y el qué y cómo se evalúa” (p. 1). En su trabajo, estos autores ilustran la afirmación comentando cómo, en el Reino Unido e Israel, los cambios en los contenidos y en las formas de proceder en el aula obedecen más a las directrices derivadas de las evaluaciones externas que a la postulación y desarrollo de nuevos delineamientos pedagógicos.

Posiblemente no se trate de optar exclusivamente por una de estas dos alternativas —la evaluación del desempeño o los miniproyectos— para el mejoramiento de la educación en ciencias y, particularmente, de la química, sino de resaltar la necesidad de investigar sobre su enseñanza y aprendizaje, de modo que a partir de los resultados se planteen opciones curriculares que permitan avanzar en el mejoramiento del desempeño de estudiantes y docentes en este campo.

El alineamiento constructivo y la evaluación auténtica

Trayendo la expresión evaluación auténtica al contexto colombiano, se observa que el concepto solo comenzó a trabajarse alrededor del año 2016 y un poco más entendida como evaluación por evidencias; lo anterior

no obsta para mencionar que en otros contextos como el español este enfoque tenga una mayor trayectoria. (Carmona y Flores, 2008; Cárdenas y Pastrana, 2016; De Celis y Silva, 2017). De cualquier manera, la perspectiva de este enfoque es potencialmente útil para dinamizar e incluso transitar hacia un cambio en los procesos de evaluación en nuestro contexto.

El cambio anterior, sin embargo, implica asumir la evaluación auténtica o de desempeño lo más cerca posible de lo que hacen y se espera que sepan y sepan hacer los estudiantes al final de un curso, un semestre o de una carrera profesional. En términos sencillos, la evaluación auténtica es aquella que está inserta en el desarrollo de las clases, tomando en consideración no solo los avances en la dimensión cognitiva de los participantes, sino también los demás factores que pesan sobre los desempeños académicos. Como menciona Norton (2009) la evaluación auténtica se focaliza en el desarrollo de una variedad de habilidades para la vida real, la construcción activa de respuestas creativas y la integración de esa variedad de habilidades en un proyecto holístico (p. 134).

En el contexto colombiano esta concepción de evaluación bien puede ser entendida como un apoyo a los estudiantes fundamentado en la propia construcción de un proyecto de vida además del seguimiento autocontrolado de sus avances en el aprendizaje. Puesto que en el contexto del alineamiento constructivo, en alguna medida, los estudiantes desde el comienzo conocen el tipo de actividades de evaluación, en coherencia con el autor mencionado, la evaluación auténtica procura además minimizar la tendencia, muchas veces presente en los estudiantes, de acudir a la copia de sus respuestas en las evaluaciones.

El entramado de las relaciones auténticas entre los estudiantes y docentes, como base del éxito en la formación y el aprendizaje de las habilidades de pensamiento científico y la resolución de problemas, implica llevar en el aula una metodología de enseñanza cooperativa en la cual los participantes desarrollen sus actividades en pequeños grupos, de a dos o

de a tres —una práctica común en mis clases y las de otros compañeros en el departamento de química en la Universidad Pedagógica Nacional—, así mismo, conlleva la construcción de confianza entre los estudiantes y de estos con el docente; solamente sobre esta confianza es que se pueden adelantar diálogos respetuosos y productivos, entre otros, con fines de un mayor conocimiento colectivo de profesores y estudiantes, así como entre ellos mismos.

Cabe recordar que este diálogo bien puede utilizarse para promover el aprendizaje, encontrar posibles errores conceptuales o procedimentales que se pueden ir enfrentando durante el curso y no al final de este, cuando ya es muy poco lo que se puede hacer en función de alguna mejora tanto de tipo metodológico, conceptual o formativo. Es de anotar que en el contexto de la evaluación auténtica el diálogo con los estudiantes adquiere particular relevancia tanto en la dirección de analizar el pasado como de proyectar acciones futuras. En otras palabras, el diálogo como perspectivas de análisis del pretérito y como proyección de futuro en materia de formación de los estudiantes y sus proyectos de vida.

En realidad, en un ambiente de clase en el cual se haya logrado establecer un alto grado de confianza entre los participantes, básicamente entre el docente y los estudiantes, de manera concomitante, los procesos de análisis del pasado y perspectivas de futuro son una poderosa oportunidad para apoyar en los estudiantes el desarrollo de su autorregulación. Usualmente la expresión análisis del pasado en la actualidad, se realiza en el aula con poca frecuencia y en relación con las evaluaciones parciales o los exámenes finales; en estas circunstancias y en razón de tiempo y en algunos casos el número de cursos, por los cuales un docente es responsable, se hace frente a todos los integrantes para explicar los componentes de la prueba y los resultados, en este sentido, es posible decir que siempre ha estado presente en mayor o menor grado; no tan frecuente y a profundidad se usa el diálogo como base del aprendizaje y proyección de acciones

futuras a corto, mediano o largo plazo entre ellas el desarrollo de la capacidad de autoevaluación.

En esta última dirección, el diálogo se convierte, al igual que la evaluación auténtica, además de formar parte de ella, en una forma más de aprendizaje para los estudiantes y una oportunidad para “actuar” de manera formativa con sus estudiantes para el docente, orientarlos en la necesidad de hacer un buen uso del tiempo, la disciplina, el compromiso con su propia formación, generarles expectativas de largo alcance, eventualmente tratar con ellos ciertas necesidades o dificultades de aprendizaje que pueda tener un estudiante en particular, pero ante todo, orientarlos hacia la construcción de sus propios procesos de autoconstrucción; los procesos de autoconstrucción pueden ser más considerados como construcción de hábitos de reflexión y, como tales, no aparecen de repente o por una decisión de momento, debe comenzar a gestarse desde ahora; es un proceso que como todo aprendizaje implica esfuerzo y voluntad. En este sentido, y tomando prestadas las ideas de Clear (2021), bien podría decirse requieren procesos integrados por pasos pequeños a manera de construcción de los denominados por el autor mencionado *hábitos atómicos*.

Por otra parte, y como ya se ha planteado anteriormente y en otra ocasión (Cárdenas, 2022), durante una conversación reposada un docente observador puede hacer un buen uso de los ya bien conocidos principios del análisis del *feedback* planteados por Nicol y Macfarlane desde el año 2006, los cuales han sido comentados también por Norton (2009) y se describen a continuación.

Contribuye a establecer con claridad qué entender por un buen desempeño. Con mucha frecuencia se oye decir, en nuestro medio, que se procura lograr en el aula un mejor desempeño de los estudiantes en tal o cual espacio de un programa de formación profesional, pero pocas veces nos detenemos a pensar qué significa esto. Mediante una conversación entre los estudiantes y el docente se puede analizar qué se entiende por un buen

desempeño en términos de los objetivos planteados, las tareas a desarrollar y los niveles a los cuales se aspira a llegar. No son pocos los casos en los que se pregunta a los estudiantes qué relación encuentran entre los espacios académicos curriculares del primer semestre y los siguientes, o cuál es la estructura del plan de estudios que están siguiendo, y solo se recibe como respuesta un silencio total; esta es una práctica continua en mis clases.

Facilita el desarrollo de la capacidad de autoevaluación. En nuestro contexto, esta es una de las necesidades más apremiantes: apoyar y estimular en nuestros estudiantes, en todos los niveles, la capacidad de emitir un juicio valorativo de su desempeño con criterio, asertividad y responsabilidad. No es fácil, pero se requiere tomar distancia del inmediateismo y valorar con profesionalismo y máximo grado de objetividad lo que se ha hecho y la calidad de lo producido.

Cuando de autoevaluarse se trata, por lo general las respuestas oscilan entre los dos extremos de una escala: rayan en los límites de la perfección o de la imperfección. Un pequeño diálogo al respecto muestra que, en la mayoría de los casos, existe confusión entre la calidad del resultado y el tiempo dedicado a su elaboración. Si bien este último factor contribuye, no necesariamente es el criterio determinante para la valoración. En términos generales, el rendimiento académico se valora con respecto a la calidad del producto más que en relación con el tiempo dedicado a elaborarlo, sin que este factor sea totalmente despreciable.

No debe olvidarse que en el aula el docente trata en todo momento con contenidos y productos dinámicos. La velocidad con la cual el conocimiento avanza y se modifica en la actualidad permite entenderlos como procesos o estados transitorios que se producen en una dimensión cultural y que responden a un momento histórico y social determinado. Por tanto, su evaluación también debe pensarse en este contexto dinámico, alejada de una concepción finalista y estática, explicitada muchas veces

en expresiones docentes en términos de lo escrito por un estudiante en una prueba de lápiz y papel, sobre la cual se asigna una nota o se elabora un juicio de valor como finalidad de la evaluación. En este sentido, la evaluación auténtica supera la tradicional, se instala en las vivencias de la realidad del aula y en el seguimiento del desarrollo de las operaciones cognitivas de los estudiantes, en lugar de centrarse únicamente en aprendizajes memorísticos y estáticos en el tiempo. Lo que importa a la evaluación auténtica es el progreso en las operaciones cognitivas reconocidas por los estudiantes en su autoevaluación, sin mengua de la importancia del cuestionado alcance de los resultados esperados.

Se provee a los estudiantes con información de alta calidad acerca de su aprendizaje. Puesto que se trata de un diálogo entre los actores básicos del proceso —docente y estudiante—, la fuente del mensaje es primaria en ambas direcciones y, por tanto, está alejada de distorsiones propias de lo que, de otra manera, sería un mensaje transmitido por una segunda fuente, como un compañero. Este diálogo es un medio fundamental para minimizar la “evaluación de pasillo” o, más abiertamente y a un nivel coloquial, los comentarios informales fuera de clase.

Fomenta el diálogo entre docentes y compañeros. Si bien los resultados de una evaluación son personales, en nuestro contexto existe una cultura poco afortunada de estar pendiente de los resultados del compañero, incluso muchas veces con mayor atención que de los propios. Se avala el compañerismo y la solidaridad, pero cierto equilibrio al respecto puede ser saludable. En materia de evaluación conviene recordar que, en muchas situaciones, lo que un estudiante aprende de una evaluación, con relación a los contenidos, suele ser aquello en lo que obtuvo un resultado insatisfactorio; por lo menos, esta ha sido mi propia experiencia.

Fomenta el desarrollo de sentimientos positivos de motivación y autoestima. Al igual que la autoevaluación, esta es otra necesidad apremiante respecto de la cual aún queda mucho por hacer desde la educación. Es

indispensable emprender acciones intencionadas en el aula para fortalecer la autoestima de los futuros docentes y profesionales. Son frecuentes las ocasiones en las cuales, antes de una entrevista o una consulta, algunos estudiantes realizan varios intentos tímidos antes de ingresar al lugar. El sentir y vivir el momento en el que el docente, con una mirada o una expresión positiva de aceptación, da cuenta al estudiante de su rendimiento general o de un trabajo concreto es una aproximación procedimental digna de ser replicada.

Constituye una oportunidad para que el estudiante perciba en qué medida se acerca o no a los niveles de exigencia establecidos. Esta aproximación a la autoevaluación o al autoconocimiento sobre “dónde se está” en términos de desempeño académico es un indicador del grado de responsabilidad y compromiso con el que se enfrenta una labor. Sin duda, una continua autorreflexión en relación con los avances obtenidos evita sorpresas al final de un período lectivo y reclamos de última hora, o incluso conflictos entre docentes y estudiantes por las calificaciones finales.

Provee al docente de información importante que le puede ser de utilidad para ajustar sus planes de enseñanza. La carencia de este tipo de información de primera mano deja a la buena voluntad y al profesionalismo del docente el desarrollo de sus programaciones y formas metodológicas de proceder en el aula. Con la información pertinente, el docente puede realizar las modificaciones necesarias o acordadas con el grupo de manera más acertada (Nicol y Macfarlane-Dick, 2006, p. 205; Norton, 2009, p. 137).

En suma, estos siete principios del *feedback*, practicados correcta y continuamente, se convierten en verdaderos orientadores del pensar, sentir y actuar de docentes y estudiantes, en beneficio de los desarrollos académicos y personales alineados con los resultados esperados e impulsados por una evaluación más acorde con lo que sucede en el aula.

Desde sus orígenes hasta nuestros días, el concepto de evaluación auténtica se ha extendido a otras latitudes del mundo, incluyendo América

Latina. Dicha extensión ha permitido modificaciones y adaptaciones a los diferentes contextos, así como también el diseño o la adecuación de algunos instrumentos existentes para llevarla a cabo.

En esta perspectiva, se avanza con la descripción de algunos elementos concomitantes. Es preciso tener presente que evaluar no es calificar (Sánchez *et al.*, 1996). La evaluación y la valoración se realizan sobre la información que se recoge, procesa y analiza. Los resultados de este proceso permiten al evaluador emitir un juicio o asignar una calificación. La evaluación auténtica, centrada en el estudiante, propende no solo por su perfeccionamiento cognitivo, sino también por su desarrollo integral. Bajo esta mirada, estimula y busca continuamente que cada estudiante aprenda a autoevaluarse. De esta manera, este tipo de evaluación contribuye a la formación de un ciudadano autónomo y responsable.

En coherencia con Sánchez *et al.*, (1996), la evaluación así descrita se convierte en un medio más para aprender, mientras que la calificación es “una estimación de los logros de cada estudiante, una indicación de su grado de consecución de los logros que se persiguen” (p. 23). Con todo lo anterior, y al tenor de los mismos autores, llevar la evaluación a este nivel implica también combatir intencionadamente una idea muy común, también en nuestro contexto: asumir como sinónimos evaluar y calificar.

De conformidad con los mismos autores, este instrumento de aprendizaje porta, entre otras características, las siguientes: representar para los alumnos una verdadera ayuda y una forma de reconocer logros significativos; no reducirse a la comprobación de lo aprendido como contenidos, sino cubrir un mayor número de aspectos propios del estudiante, como sus procedimientos y actitudes, además de otras evidencias de su trabajo en el aula; realizarse durante todo el proceso y no centrarse únicamente en evaluaciones finales; y ser participativa, esto es, abrir espacios en el aula para que los estudiantes sean coautores

y conocedores permanentes de sus propios progresos hacia los logros deseados (Sánchez y Martínez-Torregrosa, 1996, p. 18).

Así, una evaluación auténtica orientada al progreso académico de los estudiantes se desarrolla de manera ligada a la enseñanza y al aprendizaje en el aula. Más aún, busca que las actividades de evaluación sean una oportunidad adicional para que docentes y estudiantes aprendan. Incluye un proceso de coevaluación, es decir, da espacio para que participen el docente, los compañeros y el mismo estudiante. Dada esta forma colectiva, a partir de la interacción comunicativa que se produce, es posible identificar y corregir errores: una vez el estudiante toma consciencia de que está equivocado, el proceso de rectificación sigue como consecuencia. En este sentido, la evaluación auténtica representa una oportunidad más para el aprendizaje y para el perfeccionamiento personal (Carless, 2007; Norton, 2009; Carless, 2015; De Celis y Silva, 2017; Ladino, 2020).

Como toda actividad de enseñanza-aprendizaje, las diseñadas con carácter evaluativo deben ser motivadoras y representar situaciones de interés para los participantes. Su nivel de dificultad no ha de ser tan alto que desmotive los intentos de enfrentarlas, ni tan elemental que su realización no exija ningún esfuerzo de quienes las adelantan.

Los elementos planteados anteriormente, en particular la perspectiva de estar centrada en el estudiante y de ser concomitante con la enseñanza y el aprendizaje, hacen que la evaluación auténtica sea altamente coherente con el alineamiento constructivo. En este contexto, la evaluación se sitúa entre las variables de proceso y funge como orientadora de lo que hacen los docentes y los estudiantes para alcanzar los resultados de aprendizaje previamente establecidos.

Camino a procurar otros conceptos de evaluación auténtica, de sus formas de aplicación y de los instrumentos empleados, en la Universidad de Deakin, en Australia, Sridharan y Mustard (2016, p. 4) llaman la atención acerca de la evaluación auténtica en los siguientes términos.

La evaluación auténtica es una forma de evaluación en la cual se solicita a los estudiantes desarrollar tareas del mundo real para que demuestren significativamente la aplicación de conocimientos y habilidades esenciales (Mueller, 2014). En otras palabras, las evaluaciones auténticas son similares a aquellas tareas que se encuentran en los lugares cotidianos de trabajo, donde los individuos son libres para utilizar varias fuentes de referencia, consultar con expertos y contar con la guía de sus supervisores. En términos simples, la evaluación auténtica ayuda a los estudiantes a relacionar sus contenidos aprendidos con situaciones significativas que son importantes para la vida de los estudiantes (como la vida profesional). Wiggins (1988, p. 4) define la evaluación auténtica como comprometedores y valiosos problemas o cuestiones de importancia en los cuales los estudiantes tienen que utilizar conocimientos para producir actuaciones de manera efectiva y creativa. Las tareas son réplicas o análogas a los tipos de problemas a los cuales se enfrentan los ciudadanos adultos y los consumidores o profesionales en el mundo real.

Como puede observarse en la traducción anterior, esta conceptualización de la evaluación auténtica es más amplia que las dadas anteriormente y más específica en cuanto a las tareas a las cuales hace referencia; las ubica directamente en el mundo real donde se desempeña un profesional o se ejerce la ciudadanía. En este sentido, la evaluación auténtica se presenta en línea con la perspectiva usualmente esperada de la formación profesional o académica: lograr en sus egresados el desarrollo de la capacidad para seguir aprendiendo, el tan anhelado *long lasting learning* o aprendizaje para toda la vida. Puesto que muchos de los conocimientos aprendidos en la etapa universitaria se desvanecen con el tiempo o simplemente se vuelven obsoletos en el curso de una vida, se trata de impulsar la formación académica y personal de los futuros profesionales a partir de otras dimensiones más allá del mero aprendizaje declarativo (Biggs, 1999; Cárdenas, 2012).

Por otra parte, en el terreno de la educación orientada por productos o resultados —como se conoce en nuestro contexto—, la evaluación auténtica

representa una gran potencialidad de aplicación. Al seguir de cerca los desempeños de los estudiantes en el aula, la información recolectada de manera continua para un curso o para un estudiante en particular, al final del semestre o del curso, constituye una colección de evidencias de su camino recorrido. Estas evidencias funcionan como indicadores de su desempeño y su progreso hacia el logro de los objetivos o propósitos trazados con anterioridad. Sobre esta colección de evidencias, un evaluador —generalmente el docente— puede tomar decisiones acerca del progreso de un estudiante, un curso o un plan de estudios. Una valoración semejante puede alcanzarse en relación con los logros reales obtenidos y los establecidos en el perfil del egresado que se propone formar una institución en sus respectivas unidades académicas.

El énfasis en la producción de actuaciones eficientes y eficaces frente a problemas o situaciones de la vida real invita a pensar la evaluación auténtica como un camino para el desarrollo de estas dos habilidades: aprender para toda la vida e ir más allá del aprendizaje declarativo. Este proceso debe iniciarse desde la formación profesional y no dejarlo a la iniciativa individual en los contextos laborales. Se trata, en este sentido, de un mecanismo más para estrechar la brecha entre la vida universitaria y la profesional.

En atención a la última parte de la cita dada, la homologación de las actividades de evaluación con las del ambiente laboral al interior de una institución educativa ha de entenderse como el isomorfismo entre las tareas de enseñanza-aprendizaje y las de evaluación. Desde el AC, se asume que las tareas de evaluación deben ser una opción más para el aprendizaje de los estudiantes y, por tanto, muy similares a las desarrolladas durante las vivencias de enseñanza y aprendizaje.

En cualquier caso, puede percibirse que la evaluación auténtica, si bien comparte algunas características con la evaluación formativa —como su inserción en el proceso—, va más allá de ella. Cumple explícitamente una función pedagógica y didáctica. Pedagógica, en cuanto orienta de manera

continúa al estudiante hacia su autoformación, al desarrollo de sus propios procesos de autorreflexión y, por tanto, a la superación de sus debilidades y el cultivo de sus fortalezas. Didáctica, en la medida en que esa colección de evidencias se convierte en un escenario para la reflexión individual y colectiva con el fin de buscar cada vez más y mejores formas de aprender, de actuar y, sobre todo, de gestar nuevas expectativas para desarrollos futuros. Esta particularidad la comparte con otras aproximaciones al mejoramiento de la práctica profesional, como el proyecto Escuelas Formadoras y Maestros de Maestros (EFMMA) y sus encuentros reflexivos (British Council y Secretaría de Educación de Bogotá, 2017-II; Cárdenas, 2023).

Los límites en la evaluación

Uno de los puntos críticos que se encuentran cuando se trata de adelantar procesos de evaluación hace referencia a los constructos conceptuales desde los cuales se aborda y que, a lo largo de los años, se ha observado que varían de autor en autor. Como evidencia de esto, basta con escudriñar las diferentes concepciones de evaluación que se han venido presentando a lo largo del tiempo, ya descritas en la primera parte de este capítulo, desde la medición hasta la cuarta generación de evaluación, pasando por la descripción y la emisión de juicios de valor desde la perspectiva de Guba y Lincoln (1989), por ejemplo.

Por otro lado, aunque en la misma dirección, Hidalgo y Murillo (2017), luego de una extensa revisión bibliográfica, afirman que existen cuatro grupos de concepciones sostenidas por los docentes: como mejora, como medio de rendición de cuentas de la escuela y del mismo estudiante, y como proceso irrelevante. Así mismo, manifiestan que no siempre existe una relación directa entre la concepción sostenida y su puesta en práctica en la institución. Por supuesto, a cada uno de estos grupos le subyace su propia concepción, la cual, en términos generales, implica la recolección de información acerca del desempeño de los estudiantes y de los docentes,

e incluso de los factores contextuales en el aula y en la institución, para emitir un juicio informado de valor.

De esta manera, uno de los límites con los cuales se encuentra la evaluación es la concepción que cada docente se ha formado a través de la experiencia y su interacción social, es decir, producto de su experiencia laboral unos y de su formación inicial como docentes otros. En relación con los docentes nóveles, más que con aquellos de alguna tradición profesional, es pertinente resaltar el carácter vicario que acompaña la evaluación cuando se comienza a ejercer la docencia, particularmente durante el desarrollo de la práctica pedagógica. En este último contexto, Sanmamed (1995), en su análisis de la forma como aprenden los futuros docentes a enseñar, destaca de las reflexiones de uno de sus participantes en la investigación aspectos como los siguientes: “las preocupaciones de Pedro se polarizan en los dos ámbitos que ya hemos utilizado en nuestros análisis: el curricular —que los alumnos aprendan y, sobre todo, aprueben— y organizativo —dominar el control de la clase—” (p. 32). Más adelante, luego de analizar otros elementos de la experiencia de su personaje, la autora continúa haciendo referencia al mismo estudiante: “Considera, a veces implícitamente, que la mejor manera de aprender es haciendo lo que hacen (o ven hacer a) los profesores” (p. 33).

Trayendo a nuestro contexto algunas ideas de los dos textos citados, más como punto de partida para reflexionar que para comparar, desde mis vivencias como supervisor de maestros en formación en química se observa que las preocupaciones giran alrededor de los mismos tópicos: que los alumnos aprendan lo que se les enseña, que les vaya bien en las evaluaciones y que logren mantener el control disciplinar del curso. En alguna medida, estas preocupaciones conforman otro de los límites de la evaluación en el desarrollo de las prácticas como docentes al interior de la formación de maestros; este es, sin embargo, un límite transitorio, mientras el futuro docente se gradúa y obtiene una mayor autonomía para actuar en sus clases ya como profesional.

En la dirección que se viene considerando acerca del aprender a ser maestro y en relación con el papel del pensamiento del docente y su influencia en su forma de proceder en el aula, viene en apoyo de estas reflexiones la denominada terapia de Knoll, mencionada por Fernández y Fernández (1994). En línea con la perspectiva de trabajos centrados en el estudio del pensamiento del profesor, cada vez con mayor convencimiento y razón, se asume que el principal mediador de la conducta docente es su propio pensamiento: el conjunto de percepciones, atribuciones y decisiones que mentalmente vive. “Este complejo proceso mental es la causa de la naturaleza de las actuaciones docentes” (p. 96).

Concomitantemente con los límites hasta ahora mencionados —asociados a la pluralidad de pensamiento y concepciones que acompañan la enseñanza y el aprendizaje— se encuentra otro relacionado con la puesta en acción de cada concepción. Se hace referencia acá a la posibilidad real de que cada docente produzca, en su contexto, formas de recolección de información orientadas a lograr una evaluación más auténtica de lo que acontece y se aprende en su clase. Un límite que definitivamente remite a pensar en lo que usualmente se conoce como el Conocimiento Pedagógico Disciplinar Específico del docente, o DPK por sus siglas en inglés (Berthiaume, 2009), y que, según este autor, resulta de la combinación de tres dimensiones: un conocimiento general de cómo enseñar, el conocimiento propio de la materia a enseñar y el conocimiento personal del docente como profesional (p. 219).

En la dirección anterior, en realidad, los límites de la evaluación en el contexto de enseñanza y aprendizaje de la química están marcados por los niveles de incertidumbre que, en mayor o menor grado, se encuentran en un docente cuando se trata de la competencia en el conocimiento disciplinar específico, el conocimiento básico para la enseñanza y su propio conocimiento profesional, máxime cuando el ejercicio de la docencia se ubica en un terreno de confluencia de múltiples factores, además de los dos mencionados.

Desde un terreno más técnico, un límite adicional con el cual se encuentra la evaluación en el aula hace referencia a la naturaleza de los instrumentos empleados. Si son cuantitativos —usualmente *test*, incluso los estandarizados o pruebas escritas— conllevan la exigencia de la validez y la confiabilidad, asociadas por lo general a las pruebas estadísticas. Si son de naturaleza cualitativa, la exigencia equivalente es la de veracidad y verificabilidad de la información.

En resumen, la compleja tarea de evaluar auténticamente en el aula no puede quedar solamente bajo la responsabilidad individual de un docente; se precisa de esfuerzos colectivos, quizá de equipos de docentes —como los integrales mencionados antes en la página 51— junto con la estructura organizacional de la institución, en una perspectiva ascendente de programas, departamentos, facultades, vicerrectorías y rectorías. Esto se debe a que una evaluación auténtica solo puede llevarse a cabo de manera adecuada en un contexto saludable para ella.

Puesto que, actualmente, en el contexto de la educación colombiana este ambiente está sostenido sobre postulados y formas de proceder —si bien cuestionables, altamente consolidados por la tradición—, el entorno propicio para generalizar una evaluación más auténtica precisa acelerar su construcción.

De conformidad con el escenario anterior, cada una de las aproximaciones a la evaluación es vector de sus propios límites. Solo queda para los docentes en el aula la búsqueda de información para tomar decisiones, es decir, una aproximación desde diferentes fuentes y la verificación en el estudiante de la misma información por vías distintas. En este sentido, es pertinente recordar que tanto docentes como estudiantes tenemos nuestros propios temas de interés particular y eventualmente nuestras formas específicas de comunicarnos. Algunos estudiantes y docentes son buenos escritores, otros buenos diseñadores, otros buenos hablantes. En el aula es preciso,

por equidad y justicia, ampliar lo más posible las posibilidades de que los estudiantes den a conocer lo que realmente saben.

Definitivamente, mientras la investigación no arroje otros modelos y formas más auténticas de evaluar, en el ejercicio profesional de la docencia se ha de buscar un sano equilibrio entre la concepción de evaluación y sus respectivos límites para obrar con justicia y equidad en el aula.

De una forma más amplia, los límites de la evaluación en el ámbito particular de las llamadas ciencias de la naturaleza —y, por tanto, de la química— pueden plantearse a partir de la figura 4.

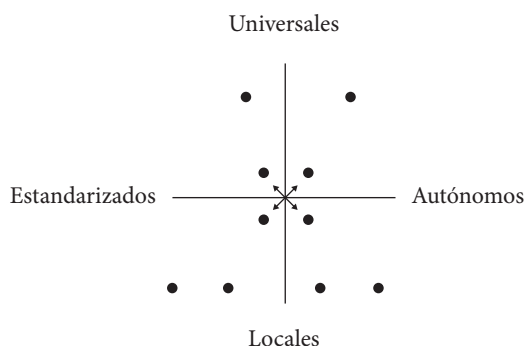


Figura 4. Representación de los límites de la evaluación en ciencias

Fuente: elaboración propia.

Como se muestra en la figura 4, para el campo concreto de la enseñanza de las ciencias, la evaluación puede oscilar, en términos de contenidos, en cuatro componentes. Unos corresponden a una naturaleza metafísica, es decir, orientada hacia el conocimiento de los universales de la ciencia, que por su naturaleza son inalcanzables en el curso de una vida y que corresponderían a la explicación científica total del universo y su devenir. Este sería un límite ideal. En el extremo opuesto de este eje se encuentran los conocimientos locales o particulares; si los primeros se asumen como producto de la inteligencia total del género humano, los segundos corresponderían a los conocimientos generados

por el conjunto de los seres humanos pertenecientes a un país o a una determinada zona geográfica que se han dedicado a la producción de saberes en sus contextos ambientales.

Igualmente, sobre el eje horizontal se encuentran, de un lado, los conocimientos estandarizados, es decir, los establecidos por la normatividad gubernamental del país —en este caso Colombia— y derivados de sus políticas educativas; en el extremo opuesto, los conocimientos autónomos, aquellos en los cuales, de acuerdo con su preparación profesional y su forma de pensar, el docente tiene algún nivel de injerencia en su selección.

De acuerdo con lo anterior, al diseñar una evaluación se pueden presentar varias alternativas. Una de ellas es orientar el proceso hacia los conocimientos generales y universales, dejando poco o ningún espacio a los conocimientos científicos nacionales o particulares. En el otro extremo, se tendría una evaluación centrada en los conocimientos locales, es decir, aquellos asociados a la producción científica emergente de la investigación en las instituciones del país o de la región en cuestión, lo cual dejaría de lado la posibilidad de que los estudiantes tengan una visión científica del universo como totalidad.

En relación con el eje horizontal, una evaluación que contemple solo los conocimientos estandarizados estaría sesgada hacia lo que dictamine la política educativa gubernamental y dejaría al docente sin posibilidad de proponer o desarrollar conocimientos más acordes con sus intereses, su pensamiento y su formación profesional.

En general, cualquier diseño evaluativo ubicado en un extremo de los ejes es inequitativo, injusto y poco representativo. Cuanto más se acerque al extremo, menos representativo y más inequitativo se considera.

En estas condiciones, corresponde al docente, en un momento dado, diseñar evaluaciones idealmente orientadas hacia el punto central de intersección de los ejes; en otras palabras, diseñar y aplicar evaluaciones que

contemplan, de forma equitativa, conocimientos de los cuatro cuadrantes. En la práctica, lo que se logra son evaluaciones que, ubicadas en los alrededores de ese punto ideal, buscan que los estudiantes adquieran un espectro de conocimientos que represente los cuatro componentes ilustrados en la figura 4.

Una mirada práctica a esta perspectiva de los límites de la evaluación en nuestro contexto seguramente implica una reflexión profunda sobre los currículos actuales de formación de docentes e, incluso, sobre los estándares.

Es pertinente, sin embargo, aclarar que, cada vez más, el acceso a los conocimientos se da también por otras vías diferentes a las instituciones formales y que los límites aquí planteados son meramente didácticos, dado que las interfaces entre ellos son difusas y tienden a desaparecer.

La información obtenida mediante la evaluación de los estudiantes

Es claro que, independientemente de la concepción desde la cual se aborde la práctica de la evaluación como componente de toda experiencia educativa —para utilizar la terminología de Novak (1998)—, y de la forma y los medios empleados para la recolección de la información, estos procedimientos conducen a un acopio de datos que, debidamente procesados e interpretados, permiten emitir juicios informados a partir de los cuales se toman decisiones con algún propósito inmediato o de largo plazo en el contexto de la misma experiencia en la que se generan.

Además de la toma de decisiones fundamentadas en la información proveniente de un proceso de evaluación en el aula, las evidencias dejadas por los estudiantes —principalmente en forma escrita y que en general se pueden agrupar en la categoría de productos de los estudiantes— son susceptibles de utilizarse con otros fines.

La expresión productos de los estudiantes, en este contexto, se emplea para significar toda elaboración escrita o grabada que pueda recolectarse en un curso durante su desarrollo, que se haya valorado o no para efectos de calificación y emisión de juicios orientados a decidir y reportar el rendimiento académico de los estudiantes. Entre estos productos se incluyen pequeños textos escritos en clase, evaluaciones parciales, informes de laboratorio, ensayos, presentaciones orales o virtuales, entre otros.

Entre los propósitos para los cuales es posible emplear los productos de los estudiantes, además de la medición de los logros alcanzados en el aprendizaje —que en nuestro contexto es el principal y, quizá, el único—, cabe mencionar la identificación de tópicos de mayor dificultad en un *syllabus* determinado, el análisis de la competencia lectora y escritural de un grupo, el desarrollo del pensamiento interpretativo e incluso el grado de cumplimiento y puntualidad en la entrega de dichos productos. Asimismo, pueden servir como base para adelantar procesos de *feedback*, como los descritos previamente (Ver el apartado sobre el alineamiento constructivo y la evaluación auténtica, p. 64).

De acuerdo con los intereses de los docentes y de la institución, a partir de esta información es posible iniciar procesos de autoevaluación con fines de mejoramiento docente. Las “evidencias dejadas por los estudiantes” se convierten en escenarios de perfeccionamiento profesional *in situ*. También pueden desencadenar proyectos de investigación y, a partir de ellos, la dirección de tesis y trabajos de grado (Bartley, 1995).

Puesto que los resultados finales de la evaluación en diferentes formas alimentan bancos de datos, estas bases pueden constituir una fuente de información para estudios transversales o longitudinales de seguimiento de cohortes, en los cuales se analicen niveles de deserción, motivación hacia la carrera o necesidades particulares de apoyo didáctico para estudiantes que avanzan con un ritmo bajo en un programa de formación profesional (Soler *et al.*, 2020; Cárdenas *et al.*, 2023; Toro, 2014).

Algunas formas de llevar a cabo la evaluación auténtica

En una aproximación a responder la pregunta: ¿Cuáles son los instrumentos más apropiados para adelantar este tipo de evaluación en el aula?, a continuación se presentan algunas ideas. Como primera medida, es pertinente tener en cuenta el contexto en el cual se llevan a cabo las experiencias educativas: la naturaleza y organización de la institución, las características propias de la disciplina, el número de estudiantes y los límites de la evaluación. En coherencia con el alineamiento constructivo, para su total implementación en el aula se requiere un contexto institucional estructurado y organizado en función del desarrollo de este tipo particular de educación basada en resultados (Biggs, 2011).

En este orden de ideas, resultan altamente pertinentes, entre otras, las siguientes aproximaciones: la observación directa de cómo se desempeñan y comportan los estudiantes durante las sesiones de trabajo; el diálogo permanente y pertinente con ellos; la recolección de evidencias del trabajo realizado en el aula; y la puesta en práctica de los principios del *feedback*.

Dado que la observación y el diálogo directo, en el caso de grupos numerosos, no siempre son fáciles de llevar a cabo, una forma de responder a esta situación es el trabajo en grupos pequeños, como se mencionó anteriormente. Esta metodología es coherente con la evaluación auténtica en la medida en que propicia actividades cooperativas. Mientras el docente supervisa y apoya el trabajo de los grupos desplazándose entre ellos, se presenta una oportunidad para el diálogo. No obstante, en razón de las diferencias individuales, es aconsejable abrir espacios de atención individual o grupal más allá de los cronogramas establecidos para la clase.

Entre las evidencias que se pueden recolectar del trabajo en el aula se encuentran las presentaciones electrónicas de los grupos sobre temas tratados en clase o asignados para trabajo independiente. En este sentido, es preciso orientar a los participantes acerca de los contenidos que debe

incluir una presentación, con el fin de obtener un producto con un buen desarrollo conceptual más allá de su mera estética o calidad técnica.

Asimismo, ayuda a mantener activa una clase la alternancia de intervenciones entre el docente y los estudiantes. Por ejemplo, al finalizar el tratamiento de un tema se puede hacer una pausa y solicitar a los participantes que desarrollen una prueba de asociación, ya sea de términos o de ideas. Se trata de las conocidas pruebas de asociación; personalmente, he obtenido buenos resultados cuando pido a los participantes escribir un pequeño texto sobre un tema recién tratado en el aula.

Eventualmente también es posible, durante la presentación de una diapositiva u otro recurso visual en el aula por parte del docente, hacer una pausa y solicitar al curso que, primero de manera individual y luego en grupo —con los compañeros cercanos—, observen detenidamente la visual proyectada, establezcan mentalmente relaciones entre los elementos que les llamen la atención o que se les sugiera y, posteriormente, escriban una oración sintetizando lo que han relacionado. A continuación, se puede invitar a compartir el texto escrito por cada estudiante con dos o tres compañeros y, en unos minutos más, construir entre los miembros del grupo una oración o un pequeño párrafo que refleje lo que entendieron en conjunto.

Terminada la dinámica, se somete a discusión de toda la clase el trabajo producido colectivamente con el propósito de buscar generalizaciones y clarificar ideas y conceptos. Producto de esta actividad, el docente puede recoger tanto los textos individuales como los elaborados por el grupo, debidamente identificados con nombres y apellidos. Previo acuerdo con los estudiantes —ya sea al inicio del curso o en la misma clase—, estos pequeños trabajos pueden, o no, ser empleados con fines de valoración y calificación.

Como resultado final, en cada curso el docente habrá recolectado información suficiente para tomar decisiones que apoyen el aprendizaje,

ya sea para el grupo en general o para algunos participantes en particular. Más allá de este uso contextual en el aula, también existe la posibilidad de adelantar investigaciones, bien sea sobre un curso en particular o de manera comparativa entre varios. Lo anterior, además, permite obtener información valiosa para procesos de acreditación de programas o de registros de alta calidad institucional.

Otras formas de recolectar información como parte de una evaluación auténtica se asocian a productos elaborados por los estudiantes, además de los ya mencionados, a partir de una amplia gama de actividades de enseñanza y aprendizaje diseñadas y planeadas por los respectivos docentes. Entre ellas se destacan las que se sintetizan en la tabla 1. Es claro que el tipo de actividades y su diseño está altamente ligado a la naturaleza propia de cada disciplina, así como al profesionalismo e intereses del docente.

En el contexto de una evaluación auténtica, es preciso tener en cuenta que no es lo mismo evaluar y calificar el producto que evaluar y calificar el desempeño del estudiante. El producto, una vez entregado y recibido por el docente, en cierta forma es externo a su autor; el desempeño, por su parte, es interno y propio de cada individuo. Si bien los límites entre ambos aspectos son tenues, hacer un esfuerzo por distinguirlos resulta importante y quizá necesario, particularmente en la actualidad, con el acceso a los transformadores generadores preentrenados, los simuladores y, en general, a la inteligencia artificial. Dado que esta aproximación tecnológica avanza a pasos agigantados para simular comportamientos humanos, es precisamente el momento de enfatizar la formación de seres humanos con altos niveles de autocontrol y pensamiento propio, capaces de tomar decisiones y actuar en consecuencia.

Sin pretender una aproximación exhaustiva ni una categorización, los productos del desempeño en el aula se manifiestan en dos de las formas de comunicación propias de este contexto: la escrita y la oral; en nuestro medio, la oral predomina sobre la escrita. No obstante, es preciso reconocer

que en la actualidad tanto la comunicación oral como la escrita pueden desarrollarse también a través de medios electrónicos.

Tabla 1. Actividades de enseñanza-aprendizaje que conducen a la generación de productos susceptibles de incluirse en una evaluación auténtica y algunos comentarios

Actividades de Enseñanza Aprendizaje	Producto esperado	Comentarios
Clase magistral	En relación con los productos esperados más allá de una enumeración, que tendería a la incertidumbre, solo se resalta su dependencia del docente y la naturaleza propia de cada disciplina y contexto.	Con referencia a los criterios y las escalas de valoración, por algún tiempo aún, por lo menos en nuestro medio, se continúa apelando a las normas y procedimientos reglamentarios de cada institución.
Práctica de laboratorio		
Conferencias		
Salidas de Campo		
Visitas a lugares científicos		
Talleres		
Microclases		
Tutorías		
Preparaciones de clase, en el caso de los practicantes		
Videos		
Simulaciones		
Películas		
Proyectos		
Miniproyectos		
Ejercicios de lápiz y papel		
Itinerarios por la web		
Otras actividades		

Fuente: elaboración propia.

Finalmente, si con Tyler y Shuell se acoge la idea de que, cuando de aprendizaje se trata, es más importante lo que el estudiante hace que lo que el docente hace, entonces escenarios como los incluidos en la tabla 1 resultan útiles para la actividad de los integrantes del aula, mediante la cual pueden construir sus conocimientos. Si el aprendizaje se fundamenta en la responsabilidad de los estudiantes, quienes, a partir de su comportamiento activo lo construyen, entonces poco a poco las instalaciones de clase se van transformando para dar paso al desarrollo de un espacio donde se realizan actividades de aprendizaje, con una mengua cada vez más acentuada de los tradicionales apoyos de los docentes en los marcadores, herederos de la función de la tiza y el tablero.

La complejidad de la evaluación auténtica

Vista desde una perspectiva amplia, la evaluación auténtica constituye un campo complejo de actividad para el docente, en el cual confluyen numerosos factores que, de conformidad con la literatura citada y las reflexiones planteadas, influyen en los resultados de la enseñanza y, particularmente, en el aprendizaje. Este último recae sobre los hombros de los estudiantes. Entre los factores principales se encuentran los establecidos por Novak (1998): el contexto, los estudiantes, el docente, el currículo, la misma evaluación, el tiempo y los recursos.

A estos factores es necesario adicionar, especialmente en nuestro contexto —con más énfasis quizá que en los denominados países desarrollados—, el de los recursos tecnológicos. En los últimos años, el ingreso de Microsoft Windows a los ambientes públicos y privados colombianos, en primer lugar, ha sido explosivo y, en alguna forma, raya en lo incontrolable; en segundo lugar, ha dado origen a una(s) generación(es) de estudiantes que bien podrían llamarse “estudiantes COVID”, denominación que algunos de ellos mismos han comenzado a emplear.

En términos de evaluación, este factor tecnológico o de red pesa desde varios puntos de vista. Como intermediario en el establecimiento de las relaciones entre el ser humano y el conocimiento, se presenta como un instrumento que puede permitir al docente realizar mejor su trabajo. Sin embargo, al menos por un tiempo —ojalá corto o mediano—, también se ha convertido en una fuente adicional de dificultades para el aprendizaje de las ciencias en general y de la química en particular, al menos en la forma como se ha entendido hasta ahora en la mayoría de los ambientes de aula. Desde la observación empírica, por ejemplo, se evidencia una mengua cada vez más pronunciada de la competencia lectora y escritural, así como dificultades para que muchos estudiantes logren mantener la concentración en una clase.

En consecuencia, la complejidad de la evaluación auténtica puede representarse, en grandes líneas, en una figura como la número 5.

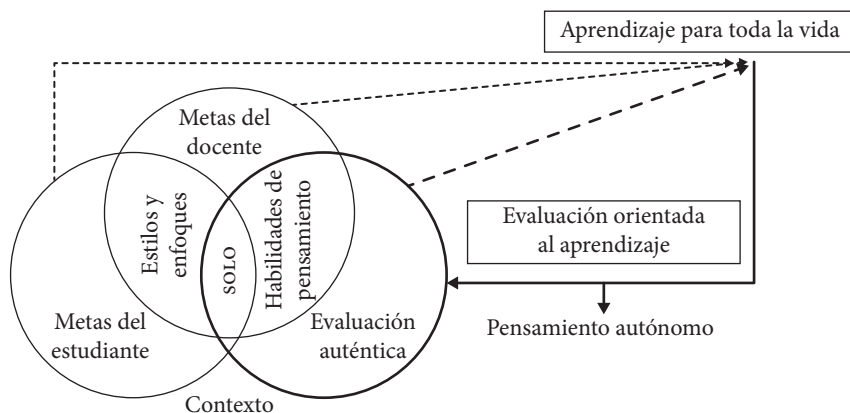


Figura 5. Representación de la complejidad de la evaluación auténtica

Fuente: elaboración propia.

Varios elementos se pueden puntualizar a partir de la figura 5. Para comenzar, se destaca que, en general, engloba los cinco elementos señalados por Novak (1998) como integrantes de toda experiencia educativa, a partir de los cuales se deriva la función del docente de lograr en sus estudiantes, para toda la vida, un aprendizaje duradero: objetivo ideal de todo sistema educativo.

Este aprendizaje, así concebido, tiene algunas características. Es integral en el sentido de que los procesos continuos de adaptación del ser humano al ambiente, cada vez más dinámico y cambiante, le demandan una forma de pensar abierta, racional y comprometida para interactuar con él de manera consciente, es decir, con todos sus sentimientos, pensamientos y acciones.

En relación con otro factor que Novak considera influyente en el desempeño de los estudiantes, el tiempo, el mismo autor sostiene la idea de que, cuanto más tiempo un estudiante dedique a establecer sus propias relaciones con el conocimiento, mejor será su rendimiento o desempeño académico.

Continuando con la lectura de la figura 5, allí se puede observar la participación del estudiante representada en sus metas; en términos sencillos, su participación en la estructuración de un proyecto de vida propio. Esto implica su compromiso activo con los procesos de formación, entre los cuales se encuentra la elaboración de una forma de pensar, sentir y actuar en los términos descritos anteriormente.

Obsérvese que, en la interacción de las dos circunferencias —la del estudiante y la del docente— se encuentran los enfoques, que corresponden a los de enseñanza y de aprendizaje. Como se ha establecido, cuando estos dos factores se encuentran alineados, es decir, cuando lo que quiere el estudiante y lo que quiere el docente apuntan a lograr los mismos productos de aprendizaje, los resultados académicos de los estudiantes tienden, con mayor probabilidad, a mejorar, tal como lo destaca la literatura del alineamiento constructivo.

No debe olvidarse, en ningún momento, que el encuentro en el aula es fundamentalmente entre dos seres humanos y, por tanto, conlleva los alcances y limitaciones propios de esta condición.

En relación con la participación del docente, expresada en una de sus dimensiones —sus metas—, es pertinente resaltar que, en nuestro contexto, estas están altamente predeterminadas. Se ubican dentro de los límites de la evaluación y, por otro lado, dentro de los horizontes normativos y políticos nacionales e institucionales. Para el caso colombiano, por ejemplo, se tienen los estándares de contenidos de ciencias naturales y los derechos básicos de aprendizaje desde el ámbito nacional, además de la reglamentación interna de las instituciones educativas, como los reglamentos académicos y los *syllabus*.

En la esfera de la evaluación auténtica, entendida como una de sus funciones, apoyar en los estudiantes el cultivo de habilidades de pensamiento, es preciso destacar el papel tanto del docente como del estudiante. El primero tiene bajo su responsabilidad diseñar actividades de evaluación

isomórficas con las de enseñanza-aprendizaje que desarrollan los participantes en el día a día, durante un período académico, determinadas por el ámbito disciplinar —la química, en este caso—. El estudiante, por su parte, tiene la responsabilidad de llevar a cabo estas actividades con dedicación y consciencia. Puesto que se trata de una evaluación auténtica, se enfatiza su cercanía a lo que realmente se hace en clase: se realiza de manera incrustada en las actividades del aula, no como un elemento externo. Así, la evaluación actúa como articuladora entre las metas del docente y las del estudiante.

En la intersección de las tres esferas de representación —del estudiante, del docente y de la evaluación— se encuentra la taxonomía SOLO. En realidad, debería ubicarse allí el propio alineamiento constructivo; sin embargo, dada la consideración de que no se pretende una uniformidad ni la aplicación de una sola perspectiva del aprendizaje, este lugar bien podría ser ocupado por otra taxonomía, siempre en coherencia con la concepción de aprendizaje dentro de la cual se ubique. Así, constituiría una base para la consideración integral de los demás elementos de una experiencia educativa.

La preferencia por la inclusión de SOLO obedece, por una parte, a que es, en alguna medida, el corazón del alineamiento constructivo; por otra, a que orienta la enseñanza y el aprendizaje hacia el desarrollo del pensamiento más allá del aprendizaje declarativo. En efecto, a partir de sus niveles, el alineamiento constructivo propone establecer productos tangibles del aprendizaje en general y, de manera extrapolada, en la enseñanza de la química.

Un tercer factor que apoya la inclusión de SOLO como elemento integrador de las otras dos esferas son mis propias perspectivas. Estoy convencido de que la enseñanza de la química, tal como se lleva a cabo en la actualidad, precisa ser repensada. En coherencia con la tradición investigativa y con el propio alineamiento constructivo, una alternativa complementaria a lo vigente es el desarrollo de operaciones cognitivas en los términos de SOLO, que se asimilan adecuadamente en la construcción personal de un

pensamiento relacional: la búsqueda continua de relaciones de la química con sus propios conceptos y, más allá, con otros campos del saber humano.

Un elemento más de toda experiencia educativa, no expresado directamente en la figura 5, pero igualmente importante, hace referencia a lo que se enseña y se aprende, es decir, al currículo. Este se entiende como los contenidos sobre los cuales versan los *syllabus* en un plan de estudios y que, en muchos casos, puede actuar como un factor restrictivo de la actividad del docente, debido a la estrecha relación que se establece con los compromisos adquiridos en su vinculación laboral.

Volviendo a los comentarios de los componentes de la figura 5, se encuentra la evaluación encaminada al aprendizaje, la cual constituye una tendencia a fusionar las estrategias de evaluación con las de aprendizaje y se configura como un instrumento para el desarrollo de un pensamiento relacional y autónomo. Es de resaltar que esta tendencia, además de tener la perspectiva descrita, enfatiza particularmente en su desarrollo inserto en los procesos del aula, en la perspectiva auténtica de su realización y, algo muy importante, en el cultivo de hábitos de autoevaluación como fundamento para la formación de un ser humano autónomo. El desarrollo de una manera de pensar autónoma subyace a la evaluación que propende por el aprendizaje y sus resultados.

A manera de pilar sobre el cual parece sostenerse la dinámica de las tres esferas —o más ampliamente, de todos los elementos ilustrados en la figura 5—, en la actualidad se encuentra la tecnología. No solamente por el carácter de factor revolucionario que se le ha venido atribuyendo en los últimos años, particularmente en nuestro contexto, sino también por los grandes interrogantes que plantea. Entre ellos, al menos dos ameritan una reflexión profunda: ¿es realmente un factor revolucionario o, más bien, regenerativo de los principios conductistas de la denominada tecnología educativa de los años setenta del siglo xx y de la enseñanza programada en su tiempo? ¿Hasta qué punto representa una nueva forma de concebir

la enseñanza y el aprendizaje o, más bien, constituye una innovación para continuar haciendo lo mismo en el aula, ahora sin tablero y tiza?

Sobre estas preguntas, entre otras, se erige un desafío reciente para la educación, y en ese contexto, para la enseñanza de la química: convertir la tecnología en un instrumento que fomente en las futuras generaciones el desarrollo de un pensamiento autónomo, relacional y basado en operaciones cognitivas que sustenten esta forma de pensar.

Una visión panorámica de las ideas principales expuestas en el capítulo I

Las consideraciones que siguen se fundamentan en las relaciones que pueden establecerse alrededor de la expresión nuclear ubicada en el centro de la figura 6, la cual constituye un resumen de lo descrito en las páginas anteriores.

En relación con la evolución de la evaluación, cabe destacar su descripción en términos de una línea de tiempo a partir de épocas y generaciones, avanzando hacia una transición como proceso mediante el cual, en el aula, se ha de desestimular paulatinamente la práctica de la denominada evaluación tradicional para dar cabida a una evaluación más acorde con lo que verdaderamente se realiza en la vida escolar. Esta segunda forma de evaluar se orienta en dos direcciones: una enfocada en lograr que las actividades de evaluación sean una oportunidad adicional de aprendizaje y otra centrada en el desarrollo progresivo de las operaciones cognitivas de orden superior, coherentes con el conocimiento funcional más allá del mero conocimiento declarativo. Esta segunda perspectiva busca alcanzar productos tangibles como resultados finales de los procesos de aprendizaje, considerados evidencias de lo que un estudiante sabe y es capaz de hacer con lo aprendido, en contraste con lo que no podía realizar previamente.

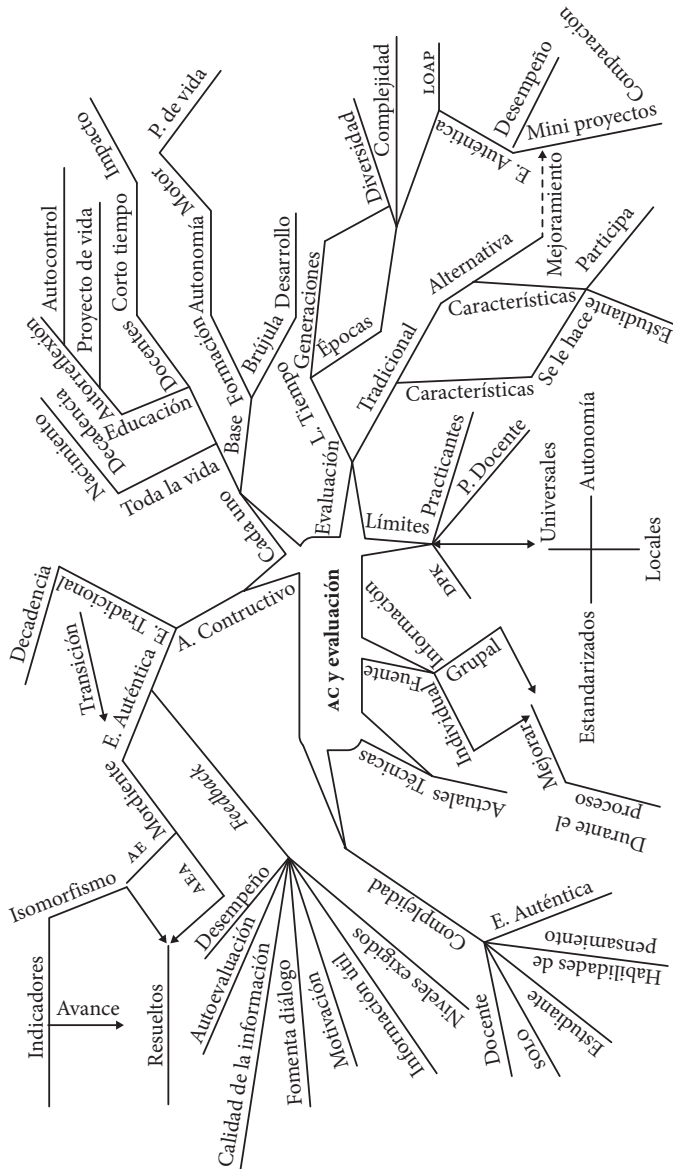


Figura 6. Perspectiva general de las ideas descritas en el capítulo I

Nota: LOAP (Learning Oriented Assessment Project o Proyecto de Evaluación Orientado hacia el Aprendizaje) y DPK (Disciplinar Pedagogical Knowledge o Conocimiento

Pedagógica Disciplinar Específico)

Fuente: elaboración propia.

Con respecto a los límites de la evaluación, estos se extienden desde aquellos centrados exclusivamente en el docente y su conocimiento profesional, en relación con la química y su concepción de evaluación, hasta la consideración de los universales de la ciencia. Asimismo, abarcan el conocimiento local como uno de los ejes, y la normatividad existente en el país y la autonomía del docente como el otro eje del cuadrante; todo lo anterior sin dejar de lado los límites temporales determinados por los contextos de formación docente y su práctica.

Por otra parte, como lo muestra la figura 6, la evaluación, en relación con el individuo, es un proceso que lo acompaña desde el nacimiento hasta la llegada del juez natural y, en algunos casos, incluso más allá de la ventana de su vida. Si bien los docentes tienen influencia sobre períodos de vida relativamente cortos de un estudiante, el impacto de la evaluación puede ser significativo para su vida presente y futura.

Otra idea que se resalta en la figura 6 se relaciona con la información que el docente o un observador no especializado puede derivar de las evidencias dejadas por los participantes de un curso. Esta información puede referirse tanto al individuo como al grupo. En cualquier caso, el objetivo principal de dicha información debe ser la intervención durante el proceso, mediante acciones de mejoramiento antes de concluir su desarrollo, cuando ya los participantes se han dispersado y la oportunidad de formación inmediata se ha perdido.

Desde otro punto de vista, y en relación con la evaluación auténtica, se destaca la conveniencia de utilizar en el aula el mayor número posible de canales a través de los cuales el docente pueda obtener información sobre aquello que desea o necesita evaluar en un estudiante. Esto implica procurar información relativa a un mismo aspecto por diferentes vías.

No se trata de descartar totalmente las formas tradicionales de evaluación, sino de integrarlas con otras modalidades, insertándolas en los procesos de aula y comunicando de manera continua los resultados

a los estudiantes. De esta forma, estos pueden reflexionar y determinar qué tan cerca o lejos están de alcanzar los resultados finales previamente establecidos.

Finalmente, como proceso complejo, la evaluación auténtica, en el contexto del alineamiento constructivo, actúa como una brújula que de manera constante orienta la atención y, sobre todo, la autorreflexión de docentes y estudiantes. Esto permite establecer en qué medida las estrategias de enseñanza, de evaluación y de aprendizaje contribuyen efectivamente al logro de los productos finales establecidos y de los cuales, desde el inicio del curso, docentes y estudiantes han hecho, en términos coloquiales, una empresa común.

¿Qué clase de estudiantes verán y aceptarán nuevas formas de contemplar el mundo? Supongamos que se les da a unos cuantos jóvenes tres cosas: una vela, una caja de cerillas y algunas chinchetas, y se les pide que encuentren una forma de sujetar la vela a un tablón de corcho, de manera que arda por su extremo superior utilizando solo las cosas que se les han facilitado.

KEN BAIN, *Lo que hacen los mejores estudiantes de universidad*

Capítulo II.

El alineamiento constructivo

Introducción

Los desarrollos evolutivos relacionados con los distintos modelos de explicación propuestos acerca del aprendizaje humano —desde el conductismo hasta el conectivismo, pasando por el aprendizaje significativo, el constructivismo y, más recientemente, el neuroaprendizaje— dejan ver cómo, a lo largo de la historia de la humanidad, pero particularmente en los últimos setenta años, la psicología del aprendizaje ha aportado a la educación en general, y a la enseñanza de las ciencias —y, por tanto, de la química— múltiples luces acerca de las formas en que los seres humanos aprenden y, mediante este proceso, se adaptan a su ambiente.

También se ha dejado claro que, si bien explícitamente desde Tyler (1949) se postuló que el aprendizaje en general, y por tanto en los diferentes campos del saber, debía estar centrado en el estudiante, tal afirmación ha tomado diferentes aproximaciones teóricas según cada autor. Solo con el desarrollo del cognitivismo y el constructivismo se mostró de manera explícita. A esta explicitación contribuyeron, asimismo, los interaccionistas y el neuroaprendizaje.

El conectivismo, por su parte, extiende el aprendizaje más allá de cada sujeto, lo sitúa en su interacción con los dispositivos tecnológicos y enfatiza el aprendizaje fuera del individuo y de las instituciones formales.

En cuanto a la educación en química, el mismo recorrido de revisión evidencia poca concreción en torno a ella. Los pensadores respectivos se limitan a señalar, algunos de ellos —como Bruner (1971)—, que tales procesos están mediados por la naturaleza propia de las disciplinas.

Además, es posible afirmar que, en varias oportunidades, se desarrolla una forma particular de concebir cómo aprende el ser humano: una teoría del aprendizaje cada vez más centrada en la actividad cerebral del aprendiz, con menor atención a una aproximación teórica de la enseñanza. La excepción la constituyen el propio Bruner hacia la década de 1970, en su obra *Towards a Theory of Instruction*, y Novak (1998, 2003). Este último autor enfatiza, por una parte, la carencia de una teoría de la educación y, por otra, la necesidad de formularla. Desde estas perspectivas, tácitamente, en los procesos de aula el docente es el centro; el protagonismo, por decirlo así, recae en el maestro. Como ilustración, en el título de la obra ya mencionada de Bruner subyace la función del docente como instructor. Si el profesor actúa como instructor en la clase, se infiere que allí ha de haber alguien a quien instruir; así, la docencia y, específicamente, el aprendizaje, se sintetizan como mera instrucción (Novak, 1998, 2003; Bruner, 1971).

Cabe resaltar, como aspecto complementario, que en los modelos mencionados poco a poco, aunque de manera firme, se desvanece la idea de indicadores indirectos de los mecanismos cerebrales que ocurren mientras se aprende. En su lugar, se avanza hacia la búsqueda de evidencias fácticas, que comienzan a aparecer en el neuroaprendizaje. Muy pronto, seguramente, este proceso podrá explicarse en términos de mediciones de los impulsos eléctricos producidos en el cerebro y de las reacciones químicas que subyacen a la actividad neuronal (Bueno, 2019).

Con todo lo anterior, y sobre la base de un cierto consenso académico de que el conocimiento es una construcción humana, y de que en el aula quien lo construye es el estudiante, John Biggs ha postulado su teoría del alineamiento constructivo (AC) (Biggs y Tang, 2011; Biggs *et al.*, 2022; Cárdenas, 2012; Soler, 2015), ampliándola ahora para incluir la enseñanza y el aprendizaje en una perspectiva que bien pudiera considerarse integradora.

De la educación basada en resultados (OBE) a la educación enseñanza aprendizaje basada en resultados (OBETL)

Construyendo sobre la idea de que el *estudiante aprende lo que hace y no lo que el docente hace*, enunciada inicialmente por Tyler a finales de los años cuarenta (Tyler, 1975), dos elementos son significativos para la enseñanza de la química. En primer lugar, el énfasis en lo que se hace a partir de lo que se aprende y, en segundo lugar, la tendencia en el aula a disminuir el protagonismo del docente y abrir posibilidades para que el estudiante asuma mayor responsabilidad por su propio aprendizaje y, en general, por su autoeducación; en otras palabras, que tome responsabilidad de su propia construcción en el desarrollo de un proyecto de vida.

También cabe mencionar el carácter directivo de los resultados finales como determinantes en la ejecución de currículos, las aproximaciones evaluativas y la instrucción. Los productos finales, de una u otra manera, se convierten en el principal acicate del aprendizaje.

Por otra parte, son concomitantes con esta perspectiva de la educación: la formulación de los resultados a alcanzar mediante los procesos de instrucción, el desarrollo de los contenidos a través de unidades o temas para los cuales se formulan resultados parciales y la vinculación de estos resultados con los tres dominios de la taxonomía de Bloom: el cognitivo, el afectivo y el psicomotor. A su vez, el dominio cognitivo se amplía hacia diferentes niveles y categorías del conocimiento (Bloom *et al.*, 1975).

En el caso colombiano, no parece equívoco afirmar que, al menos en la docencia de la química, se ha avanzado desde el modelo tradicional hacia una enseñanza orientada por resultados, lo más cercano a la educación por competencias. Esta aproximación ha estado influida, en parte, por los lineamientos que acompañaron la creación e implementación del Espacio Europeo de Educación Superior (Goñi, 2005; Cárdenas y Sarmiento, 2000, 2003; Bogoya *et al.*, 2000; Ortega, 2005).

En coherencia con el AC, mientras que en la educación tradicional, en general, y en la enseñanza de la química, los resultados esperados se refieren a lo que el estudiante aprendió de aquello que, de conformidad con un *syllabus* o currículo, le enseñó un docente, en el AC los resultados están previamente definidos y las actividades de clase se encaminan a lograrlos.

Si bien lo dicho anteriormente aplica básicamente al contexto de la educación técnica y su pedagogía, no parece haber impedimentos para transferir esta forma de proceder a otros campos de la preparación profesional, entre ellos la educación. Al fin y al cabo, muchas de las ideas y conceptos hoy de uso corriente en educación provienen de otros campos del saber: de la lingüística, el concepto de competencias; de la economía, el de calidad; y de la psicología, las diferentes aproximaciones teóricas al aprendizaje.

En cualquiera de los casos, es necesario recordar que, muchas veces, frente a una situación se hace lo que se debe hacer, pero no de manera adecuada, o incluso incorrecta; peor aún, se hace muy bien lo que no es pertinente o no se debe hacer, con escasa o nula satisfacción personal.

En alguna medida, la formación de profesionales y docentes tiene puntos en común, uno de ellos es su carácter de servicio social, lo cual exige que quienes dedican su vida a esta labor piensen, sientan y actúen con profesionalismo y responsabilidad social.

Para el establecimiento y logro de los productos esperados, los procesos docentes se apoyan en la formulación técnica de objetivos generales para un programa y de objetivos particulares para cada uno de los espacios que integran un plan de formación, entendidos como escenarios y actividades en los cuales se desarrollan experiencias a partir de las cuales se construye el aprendizaje.

Para este propósito, se ha recurrido a pensadores como Bloom y sus seguidores, quienes, a partir de la taxonomía inicial y sus posteriores ampliaciones, han iluminado la planeación de la enseñanza y sus maneras de evaluar; a Gagné, con su propuesta de diferentes tipos de aprendizaje y su adquisición de manera jerárquica; y a autores como Mager, con sus directrices acerca de la formulación técnica de resultados de aprendizaje en términos de objetivos (Bloom *et al.*, 1975; Gagné, 1977; Gagné y Briggs, 1976; Cárdenas, 2022; Mager, 1984). Para una perspectiva más detallada sobre la formulación de objetivos según Mager, se sugiere consultar el siguiente recurso: <https://eduteka.icesi.edu.co/articulos/Tema15>

Subyace a esta aproximación metodológica la concepción de aprendizaje de Kolb. Según este autor, el aprendizaje se produce como consecuencia de la interacción permanente de los seres humanos a lo largo de toda la vida, mediante la cual se adaptan a sus condiciones ambientales. Es un proceso bidireccional: mientras el ser humano se adapta, el ambiente también lo modifica y, a su vez, el ser humano transforma el ambiente. Ese proceso dinámico se convierte en escenario para la generación de nuevo conocimiento (Kolb, 1984).

Así, con todo lo dicho anteriormente, los antecedentes de la educación basada en resultados pueden trazarse desde los trabajos de Tyler; en América Latina se conoció como enseñanza por objetivos. A este tipo de educación perteneció la llamada educación personalizada, una de cuyas experiencias fue la del método Keller y su acompañante Carolina Bori, proceso en el cual tuve la oportunidad de participar en 1975.

Con el apoyo de la perspectiva conductista de Skinner y sus máquinas de enseñar, se consolidó durante los años setenta en América Latina la instrucción programada y la denominada tecnología educativa (Witter, 1975; Gagné y Briggs, 1976; Calvin, 1971). El movimiento de educación basada en resultados tuvo una ampliación significativa en el pensamiento de John Biggs y su teoría del AC. En efecto, como el mismo autor lo afirma, “el AC es un tipo de Educación Basada en Resultados, pero ahora incluyendo el proceso, no solamente de aprendizaje, sino también el de enseñanza, bajo la expresión *Educación, Enseñanza y Aprendizaje Basada en Resultados*” (OBETL, por sus siglas en inglés) (Biggs, 2014; Biggs *et al.*, 2022).

La ampliación o complementación de la educación basada en resultados antes mencionada viene también acompañada de la exigencia de un alto sentido de responsabilidad de los estudiantes en el aula. En realidad, es en los pensamientos de Biggs y Novak donde se acentúa y se manifiesta expresamente la aproximación de que el estudiante es el responsable de sus propios procesos, mediante los cuales da sentido a todas y cada una de las experiencias educativas (Biggs y Tang, 2011; Novak, 1998).

La educación como sistema

La educación en contextos sociales particulares puede considerarse como un sistema multicomponente que integra varios subsistemas; uno de ellos es el salón de clase. De manera concreta, es en este subsistema donde se ubica gran parte de la perspectiva del AC en el contexto educativo y, básicamente, en sus aspectos prácticos o de aplicación. Esto no significa que el contexto institucional y, más allá de él, no sea tenido en cuenta. En efecto, para que el AC entre en vigor y sea funcional, como acontece con cualquier perspectiva general de educación, todo el estamento institucional ha de estar en la perspectiva de permitir y facilitar su funcionamiento.

Si bien es cierto que se han propuesto, y por tanto existen, varias concepciones de sistemas, de conformidad con Ackoff son más los elementos que comparten que aquellos que los diferencian (Ackoff, 1999).

Siguiendo a este mismo autor, un sistema se concibe como una unidad total o conjunto que, estando formado por varias partes, cumple con cinco condiciones en términos de las cuales se describe:

El conjunto posee uno o más atributos o funciones que lo definen. Cada parte del conjunto puede modificar el comportamiento o las propiedades del todo. Existe un subconjunto de partes que, en uno o más ambientes, bastan para realizar las funciones básicas del conjunto. Consideradas por sí solas, estas partes son necesarias, pero insuficientes, para llevar a cabo las funciones básicas. La forma en que cada parte esencial de un sistema afecta su comportamiento o propiedades depende, al menos, del comportamiento o de las propiedades de otra parte esencial del sistema; el efecto de cualquier subconjunto de partes esenciales sobre el sistema como un todo depende del comportamiento de al menos otro subconjunto (Ackoff, 1999, pp. 5-8).

En síntesis, y de conformidad con el autor mencionado, “un sistema es un todo que no puede dividirse en partes independientes sin pérdida de sus propiedades o funciones esenciales” (Ackoff, 1999, p. 9).

En el contexto anterior, un sistema educativo en general puede concebirse como un todo integrado por los niveles de formación o de escolaridad definidos en los estatutos que lo regulan y que, como tal, no puede dividirse en partes independientes sin que, en teoría, se disipen o incluso desaparezcan sus funciones esenciales. En Colombia, el sistema educativo está conformado por la educación inicial, la educación preescolar, la educación básica (cinco grados de primaria y cuatro grados de secundaria), dos grados de educación media y la educación superior. Al final de la educación media, quien la termina satisfactoriamente recibe el título de bachiller (Ministerio de Educación Nacional de Colombia, 2024).

Puesto que le es transversal a toda la estructura de un sistema educativo —y el colombiano no es la excepción—, la escuela, como escenario donde se producen las experiencias educativas y, dentro de ellas, la de aprendizaje, parece pertinente traer al contexto los aportes de Novak en relación

con los componentes o elementos presentes en toda experiencia educativa: algo que se enseña, comúnmente llamado currículo; alguien que lo hace o que enseña, por lo general un docente; alguien que aprende, el estudiante o el aprendiz; un medio de verificación o seguimiento del desarrollo de esos procesos, usualmente la evaluación; y un contexto particular donde se desarrolla la experiencia, tanto al interior de la escuela formal como en el contexto social donde esta se encuentra (Novak, 1998). También forman parte de la experiencia educativa el tiempo de dedicación a los procesos y los recursos.

Sobre el alineamiento constructivo

El espacio de vida de John Biggs se puede trazar desde su nacimiento en la ciudad de Hobart, en el estado de Tasmania (Australia), hasta nuestros días. En este recorrido temporal se destaca una amplia y productiva actividad como investigador y docente en varias latitudes del planeta: Canadá, el Reino Unido, su misma tierra natal (Australia) y varios países asiáticos, entre ellos Malasia, Singapur y la Universidad de Hong Kong.

Su vida como investigador y académico le ha permitido sobresalir no solamente en el ámbito académico, sino también como escritor y viajero.

Se vinculó a la vida académica en 1957 en la Universidad de Tasmania, donde culminó sus estudios de pregrado en psicología. Para continuar su formación a nivel de posgrado se desplazó al Reino Unido, a la Universidad de Londres, donde culminó estudios de doctorado en 1963, tras realizar una investigación en la enseñanza de la aritmética.

Terminada su formación académica, comenzó su vida profesional con un énfasis particular en la docencia de la psicología a nivel superior, inicialmente en la Universidad de Armidale —situada en Australia, en el estado de Nueva Gales del Sur— y posteriormente avanzó como docente en educación en otras universidades, entre ellas Monash (Australia), Alberta (Canadá) y Hong Kong.

Su vinculación a la Universidad de Hong Kong le permitió nuevamente la docencia en psicología. Alcanzada la distinción como profesor honorario de psicología en esta universidad, se retiró en 1995 para dedicarse a la escritura de obras literarias y a sus viajes.

Con esta decisión, Biggs no había terminado aún su vida académica y de docencia. Precisamente en este año fue cuando le surgió la idea del AC, una perspectiva que le permitió sintetizar su forma de pensar y con ella recoger gran parte, si no toda, su tradición académica y científica asociada a la educación y la docencia.

Para conocer otros detalles de la vida de este autor y su obra, los interesados pueden acceder a su página personal (<https://www.johnbiggs.com.au/>) o al blog Profesor 3.0 (<https://profesor3punto0.blogspot.com/2017/05/esta-alineado-tu-sistema-de-ensenanza-y.html>), de donde se han tomado los datos incluidos en los párrafos anteriores. También allí se pueden apreciar sus escritos de ciencia ficción y las descripciones de los ambientes naturales por los cuales ha circulado en los últimos años y, ante todo, el conjunto de relaciones que ha establecido.

Los datos biográficos de Biggs permiten reconocer sus amplios aportes a la educación, producto de sus investigaciones, de su experiencia como docente y de su ejercicio como profesional reflexivo, que, a partir de sus vivencias, propone una perspectiva teórica que, como paradigma, permite entender y explicar algunos acontecimientos de la cotidianidad de la vida escolar, orientar la actividad docente en el aula o realizar investigaciones en el ámbito de la docencia y del aprendizaje (Cárdenas, 2022). A iniciativa propia y fruto de su creatividad, Biggs, como docente que ha sido, pone a disposición —particularmente de los maestros—, como plataforma básica para la inclusión del AC en sus labores docentes, tres elementos muy importantes: la taxonomía SOLO, el modelo 3P y las didácticas activas (Biggs y Tang, 2011; Biggs, 2010, 2014; Biggs *et al.*, 2022).

Ideas centrales del alineamiento constructivo

Como ya se ha planteado en otros escritos, dos grandes ideas sobre las cuales se erige el AC son: una, relativa al carácter individual de la construcción del conocimiento, y otra, asociada a esta, es el carácter decididamente voluntario de hacerlo, es decir, de construir ese conocimiento (Cárdenas, 2022; Cárdenas, 2012; Biggs, 2014; Biggs *et al.*, 2022; Soler, 2015).

En contextos sociales como el colombiano, la afirmación anterior cobra gran importancia en la medida en que encarna para el docente una tarea dantesca: lograr despertar en sus estudiantes una consciente y permanente voluntad de aprender. De otra manera, es una de las tareas del docente propender porque en sus estudiantes se geste una actitud de aprendizaje; convencerlos de que conscientemente acepten y reconozcan la importancia —o necesidad, en estos momentos debería decirse— de que existen otras formas de concebir el aprendizaje, superando la tradicional y, por este razonamiento, orientarlos a cambiar las relaciones con el conocimiento (Díaz, 1995, p. 2).

Desde una visión sistémica de la educación, el AC se concentra, por lo menos en cuanto a los intereses de este texto, en el aula como uno de los subsistemas del sistema educativo global.



Figura 7. Representación de algunos componentes del sistema educativo en un contexto social

Fuente: elaboración propia.

En este sistema se encuentra el subsistema aula con tres componentes principales de los mencionados por Novak en el contexto de toda vivencia educativa: un docente, un estudiante, un currículo y la evaluación (Novak, 1998). Como se ilustra en la figura 7, a simple vista se observan cuatro de los componentes mencionados por Novak; sin embargo, dado que aquello que se enseña y se aprende —los contenidos de la química en este caso— son de tratamiento común para docentes y estudiantes, el docente opera sobre ellos con fines didácticos, mientras que el estudiante lo hace con fines de aprendizaje. Por vía netamente de ilustración y didáctica, en los gráficos representativos del subsistema aula no aparecen los contenidos, pero se asumen comprendidos dentro de la evaluación; están subsumidos en ella.

Así, el subsistema se puede dibujar de manera coplanar, más exactamente en forma trigonal planar; esta representación se puede observar inserta en la figura 8. El círculo completo significa el ámbito social en el cual tiene lugar el acto educativo con sus diferentes actores.

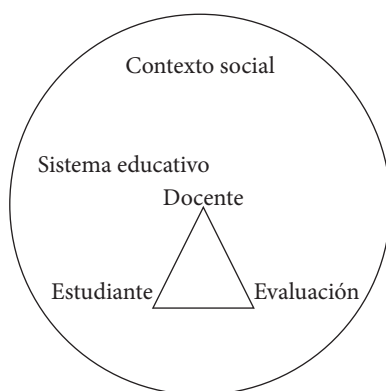


Figura 8. Subsistema aula en un contexto social y el sistema educativo

Fuente: elaboración propia.

Ahora bien, como subsistema trigonal que es, en el subsistema aula sus componentes pueden estar alineados o no alineados. Desde una perspectiva educativa, lo anterior significa que el pensar, el sentir y el actuar del docente y del estudiante, mediados por la evaluación, pueden estar

orientados en la misma dirección, formando un subsistema alineado, o pueden estar orientados hacia direcciones distintas, formando un subsistema no alineado, cuya ilustración se muestra en las figuras 9 y 10.



Figura 9. Representación de un subsistema aula alineado (SA)

Fuente: elaboración propia.



Figura 10. Representación de un subsistema aula no alineado (SNA)

Fuente: elaboración propia.

Ya en términos de desempeño académico y de condiciones para el aprendizaje, bajo la perspectiva del AC propia de los autores mencionados, un estudiante tiene mayor probabilidad de aprender cuando se encuentra en un subsistema alineado que cuando se encuentra en un subsistema no alineado.

Encontrarse un estudiante en un subsistema alineado significa que las metas establecidas por el docente al principio —vale decir, los resultados esperados que el estudiante construya durante el desarrollo de un curso— sean claros y bien conocidos por él desde el comienzo del espacio académico o del semestre. En un contexto de educación participativo, idealmente los estudiantes deben tener parte activa en la organización de las experiencias educativas y, por tanto, los resultados esperados son concertados entre docentes y estudiantes.

Parafraseando a Schlesinger, en el contexto del AC bien puede decirse que encontrarse en un subsistema altamente alineado implica sentirse satisfecho con el compromiso aceptado de pensar, sentir y actuar en el aula de clase con la convicción de llegar a lograr los resultados que se han establecido (Schlesinger, 1994, p. 2). Trasladada esta panorámica al ámbito de la docencia en química, podría decirse que sentirse satisfecho y comprometido significa llevar esta disciplina tan cerca como le sea posible a sus actividades diarias a lo largo de la vida académica, en una primera etapa, y a lo largo de la vida en general posteriormente.

Es claro que el grado de participación y, por tanto, de concertación de resultados depende del nivel de educación en el cual se esté operando y de la naturaleza de la disciplina bajo instrucción, entre otros factores.

Adelantar una experiencia alineada para aprender implica, por parte de docentes y estudiantes, un alto sentido de compromiso y responsabilidad mutua; en cierto modo, se establece una pedagogía y una didáctica del “nosotros” antes que una pedagogía del “usted”. Lo anterior se debe a que, como aproximación al enfoque de educación basada en productos o resultados que es, en el AC, una vez establecidos y definidos los resultados esperados, estos orientan y en cierta manera determinan los procesos metodológicos y la evaluación a seguir para alcanzarlos. Igualmente, conlleva el compromiso del docente de diseñar las mejores formas activas de enseñanza-aprendizaje y de hacer un seguimiento orientador y riguroso

de la forma como los estudiantes las realizan; por supuesto, también implica el compromiso del estudiante de llevarlas a cabo para avanzar poco a poco hacia los resultados previamente acordados.

La proposición anterior describe la función del estudiante y del docente al tenor del AC: es responsabilidad del docente preparar buenas actividades de enseñanza para que, al ser realizadas por los estudiantes, estos avancen en su aprendizaje en la dirección de lograr los resultados esperados y con los estándares de calidad acordados.

Viene en refuerzo de lo escrito en el párrafo anterior la siguiente cita de Tyler que, si bien es de antaño, aún resuena:

Experiencia de aprendizaje se refiere a la interacción entre el alumno y las condiciones externas del ambiente a las cuales él puede reaccionar. El aprendizaje tiene lugar a través del comportamiento activo del estudiante: el estudiante aprende lo que él mismo hace, no lo que el profesor hace. Es posible encontrar en una misma clase dos estudiantes y tengan, al mismo tiempo, experiencias diferentes. (Tyler, 1975, p. 57)

La traducción anterior permite resaltar, en primer lugar, el énfasis que pone el autor en el significado de la vivencia de una experiencia activa del estudiante como base para su propio aprendizaje; en segundo lugar, la diferencia entre tener una experiencia de contacto con unos contenidos en un aula y una experiencia de aprendizaje, participando activamente de lo que se está haciendo en ella. En relación con la función del docente y su evolución a partir de este texto, bien podría decirse que es el comienzo de la descentralización del docente como eje angular de la clase y del paso a la responsabilidad de cada participante de apersonarse de aprender por sí mismo. Se trata de menguar el protagonismo del maestro y estimular el protagonismo del estudiante, un proceso que se ha venido consolidando desde el comienzo del pacto de Bolonia (Goñi y Zabala, 2005; Ortega, 2005).

Es apropiado también acotar en este momento que, guardando las debidas proporciones de la evolución de las ideas, como lo hace hoy la psicología del aprendizaje y en particular el AC, ya desde aquellos tiempos Tyler enfatizaba la importancia de los objetivos en términos de resultados a ser alcanzados como producto del aprendizaje: los objetivos de la educación son metas, resultados a ser alcanzados por medio del aprendizaje. A menos que estén en armonía con las condiciones intrínsecas del aprendizaje, no tendrán ningún valor como metas de la educación (Tyler, 1975, p. 34).

En los contextos actuales y desde el AC, es prioritario también definir con claridad el nivel y los estándares de calidad a los cuales los estudiantes deben llegar. Es por esta razón que, por lo general, la evaluación que acompaña estos procesos es de naturaleza cualitativa y referida a criterio, con mengua de la evaluación tradicional, que usualmente es de naturaleza cuantitativa y referida a norma (Soler, 2015; Biggs y Tang, 2011).

Sobre el origen y la evolución del alineamiento constructivo

En atención a este punto, es preciso retomar algunas de las ideas esbozadas antes, en el sentido de que la centralización de la responsabilidad en cada participante para la construcción de su propio aprendizaje y el debilitamiento del protagonismo del docente en el aula comenzaron con la psicología de Tyler; se aceleraron con la psicología cognitiva y el constructivismo, pero se hicieron más explícitas en el AC. Paralelamente con esta tendencia se ha venido manteniendo la expresión instrucción. Bien parecería que el énfasis en la enseñanza, como ha sido el caso de la química en nuestro medio, se ha centrado en el desarrollo de la dimensión cognitiva del estudiante, dejando de lado otros espacios de la educación del ser humano que están más allá de la cognición y son tan importantes como esta y, en algunos momentos, como el actual en nuestro contexto, posiblemente prioritarios. Se trata de la mejora permanente de las tres dimensiones mencionadas por Novak (1998); la construcción del bien común

como tarea, por lo menos parcial, de todos los maestros, fundamentada en el desarrollo de una forma de pensar, sentir y actuar de los ciudadanos.

Concomitantemente con esta manera de pensar la educación, la evaluación se ha centrado en lo que el estudiante aprende, mas no en la capacidad de hacer algo con eso que se aprende. Este mayor énfasis en el saber hacer algo con lo aprendido es rescatado ampliamente por el AC y, por eso, requiere que se haga explícito en los resultados esperados y que la evaluación se oriente a determinar estos niveles de aplicación mediante la búsqueda de evidencias. Es la llamada evaluación auténtica, mediada por evidencias.

Cabe anotar que esta es una de las ideas fuerza también presentes en el proyecto Escuelas Formadoras y Maestros de Maestros (EFMMA) para la ejecución de las prácticas profesionales docentes. En este proyecto, en tanto que los maestros en formación avanzaban en el tiempo, iban recogiendo evidencias de sus actuaciones en el aula, organizándolas en una especie de portafolio que era empleado en encuentros reflexivos periódicos, en los cuales se compartían y analizaban con otros maestros en formación. Adicionalmente, la formación del futuro docente estaba acompañada de unos referentes de progreso que actuaban como puntos de referencia para los procesos de seguimiento en el contexto del proyecto desarrollado entre el British Council y la Secretaría de Educación de Bogotá a partir de 1917 y siguientes.

En coherencia con lo que se ha venido describiendo hasta ahora y a partir de la literatura del mismo Biggs, las ideas fundamentales sobre las cuales ha edificado su teoría del AC se originan, como ya se mencionó, en los trabajos de Tyler, con su énfasis en lo que el estudiante hace; Ausubel, con la relación voluntaria de lo que se quiere aprender con lo que el estudiante tiene en mente; Novak, con la construcción individual del conocimiento; y Schuell, con el acento en la gestión del aprendizaje por parte de los estudiantes (Biggs y Tang, 2011; Biggs *et al.*, 2022; Goñi Zabala, 2005).

También el AC se nutre de los hallazgos de Marton y Säljö, con los avances de la investigación fenomenográfica y de los enfoques de enseñanza y de aprendizaje, complementados por la investigación de Entwistle con miras al perfeccionamiento de la educación universitaria (Soler, 2014, 2015, 2018; Soler *et al.*, 2017; Biggs, 1999; Entwistle, 1991).

Como se ilustra a continuación, la reflexión permanente acerca de aquello que un docente quiere que los estudiantes aprendan y las operaciones de pensamiento que se buscan desarrollar en ellos apoyan la emergencia de nuevas ideas y conocimientos, en este caso, la emergencia del AC.

En 1994, el profesor Biggs enseñaba un curso de psicología y la forma como esta disciplina contribuía al perfeccionamiento de docentes en servicio en la Universidad de Hong Kong. Dado que recién había estado en contacto con el uso del portafolio como forma de evaluación usada en algunas escuelas de Canadá, pensó que esta forma de evaluación podría ser utilizada en su curso (Biggs y Tang, 2011).

Puesto que el curso que él agenciaba era para docentes en servicio, decidió modificarle su enfoque: en lugar de enseñar psicología para que los profesores aprendieran sus conceptos y en la evaluación manifestaran que lo habían aprendido, orientó el curso hacia la aplicación de la psicología en sus aulas para mejorar justamente su actividad. A la manera del proyecto EFMMA mencionado, buscaba colocar a los profesores en la situación de que ellos pensaran y demostraran algunos efectos relacionados con el uso que hacen en la vida cotidiana de lo aprendido en sus clases, pero con evidencias de que ellos lo habían hecho y las mostraran.

Cuando informó a la clase el enfoque del curso y la forma como serían evaluados, mediante la presentación de un portafolio con las evidencias de los efectos alcanzados en sus cursos sobre la aplicación hecha de algunos contenidos vistos en clase, la reacción negativa de los participantes no se hizo esperar. En su texto *Teaching for Quality Learning at University*, Biggs lo ilustra así:

¿Cómo se supone que yo tengo éxito (en la presentación del portafolio) si ni siquiera tengo claro exactamente lo que el profesor quiere ver en él? A pesar de que sí nos dijo que podíamos escribir en el portafolio lo que más nos interese, todavía no estoy seguro de que él esté de acuerdo conmigo. (Biggs, 2011, p. 96)

La traducción anterior deja ver, en primer lugar, la preocupación del estudiante por la seguridad de saber cómo y qué se le va a evaluar; en segundo lugar, su actitud un tanto desconcertante frente a una experiencia de educación por resultados no vivida con anterioridad; en tercer lugar, la inquietud acerca de la mejor forma de evaluarlos: ¿cuál sería el baremo y sus criterios?; en cuarto lugar, la necesidad que existe hoy en día de generar confianza entre el docente y el estudiante; en quinto lugar, y dada la situación de que los participantes, como producto de su asistencia al curso, deben entregar un portafolio y el docente ha de valorarlo y calificarlo, la puesta en marcha de una forma de evaluación cualitativa junto con unos parámetros previos a los cuales los estudiantes deban atender.

Inquietudes como las anteriores, según el profesor Biggs, le permitieron plantear lo que hoy se conoce como la estructura de los resultados observables del aprendizaje o taxonomía SOLO, por sus siglas en inglés.

Con todo, y aunque la experiencia narrada es en contexto asiático, una rápida comparación —guardando las proporciones— permite ver que no dista mucho de lo que ocurre en nuestra cultura y en nuestras aulas.

Así, por ejemplo, es de anotar que, a pesar de los cambios que se han tratado de implementar en nuestro contexto en la enseñanza de la química, muchos de los esfuerzos tanto de docentes como de estudiantes aún se orientan por los resultados del aprendizaje, independiente de cuáles sean. La importancia continúa centrada en el proceso de enseñanza para llegar a un resultado y, en términos de evaluación, mientras el docente la concibe con ojos teleológicos, es decir, con metas de largo alcance, los estudiantes la ven de una manera práctica y convergente: de qué manera

el docente evalúa y cuál es la forma más rápida de aprobar la materia. Esta es una preocupación constante de nuestros estudiantes actuales desde el comienzo de una actividad académica, en muchos casos asociada a variados niveles de resistencia a la incorporación de alternativas didácticas diferentes a las tradicionales, como se mencionó en el caso de la incorporación de los miniproyectos a la enseñanza experimental de la química.

La taxonomía SOLO

Como se puede observar en la figura 11, la taxonomía SOLO es una estructura donde se representan en forma creciente diferentes niveles de desarrollo de las operaciones cognitivas que se pueden proponer como resultados de desempeño de los estudiantes a partir de un curso o al final de una formación profesional.

Taxonomía SOLO	
Hace generalizaciones, formula hipótesis, trasciende a otros contextos.	Abstracto
Relaciona, compara y analiza, se esfuerza por elaborar una explicación y comprende una situación dada	Relacional
Clasifica, combina y enumera. Superficial: enumera datos irrelevantes. Profundo: identifica acertadamente pero no logra relacionarlos.	Multiestructural
Identifica un procedimiento y repite de memoria. Superficial: enmascara su confusión. Profundo: intenta vincular al menos un concepto.	Uniestructural
No hay evidencia clara de comprensión, no se dan respuestas a las preguntas.	Preestructural

Figura 11. Representación de la taxonomía SOLO en términos de algunos verbos y operaciones cognitivas

Fuente: tomada y adaptada de Biggs (2010) y Soler (2015).

Los peldaños de desarrollo mencionados en el párrafo anterior se pueden considerar como niveles de entendimiento creciente desde el interior de una disciplina como la química. De esta manera, SOLO puede ser, para un docente en particular, una guía orientadora —como ya se mencionó— para la elaboración de actividades de enseñanza-aprendizaje y evaluación en clase; y, para quienes diseñan currículos para la formación de profesionales, establecer los resultados esperados en los egresados que allí se formen al final de una carrera o de un grado de preparación educativa particular. En otras palabras, SOLO se convierte potencialmente en un instrumento útil para el diseño de estructuras didácticas y curriculares, además de servir como paradigma para orientar investigaciones educativas en clase y organizar el desarrollo de prácticas profesionales.

Al tenor de la misma figura 11, se observa cómo, en la medida en que los niveles de pensamiento se muestran más complejos, los participantes de un curso o de un plan de estudios avanzan desde unos niveles de pensamiento fincados en el conocimiento de hechos hacia un conocimiento más de naturaleza abstracta y con tendencia al establecimiento de significados, con prioridad sobre la memorización. Se avanza hacia el desarrollo de la habilidad requerida para el establecimiento de relaciones; el sujeto se mueve hacia la práctica de un pensamiento relacional.

Es esta quizá la característica por la cual SOLO se presenta potencialmente aplicable a la educación en química. Se recuerda que esta es una disciplina en cuyo contexto la forma de pensarla y actuar con ella, tanto de profesores como de estudiantes, se debate dinámicamente entre la experimentación y el razonamiento abstracto.

Entre los verbos que se asocian al nivel más alto —la abstracción extendida— se encuentran teorizar, generalizar, reflexionar y elaborar hipótesis. A estas acciones se podrían adicionar otras como abstraer o transferir, que, como verbos, describen acciones —en este caso de pensamiento— que implican algún nivel de metacognición por parte de los estudiantes.

Incluso pueden asociarse con la habilidad de autorreflexión, que conlleva juicios de metamemoria (Montenegro, 2004).

Es de aclarar que, por simplicidad, en la figura 11 no se muestran todos los verbos que se pueden asociar a los diferentes niveles; a los mencionados allí se pueden agregar otros como experimentar o estudiar, que pueden servir a los propósitos de cada docente de acuerdo con su disciplina.

En la figura 11, las expresiones resaltadas hacen referencia a manifestaciones de los enfoques de enseñanza superficial y profundo. Los enfoques de enseñanza y aprendizaje, lejos de ser dimensiones de la personalidad o escenarios de clasificación de los estudiantes —por lo general en buenos y malos—, no son más que formas o caminos de respuesta de los estudiantes a los contextos donde viven sus experiencias educativas. Para mayores desarrollos de estos enfoques de enseñanza y de aprendizaje, el lector puede acudir a la tesis doctoral de Manuel Guillermo Soler (Soler, 2015).

El modelo 3P

De conformidad con Sarsoza, este modelo tuvo su origen en un trabajo anterior de comienzos de 1970 y más tarde fue retomado y ampliado por Biggs hacia finales del mismo año. En coherencia con su forma sistémica de concebir la educación, el modelo propuesto contempla otro subsistema, más de carácter práctico y aplicable, compuesto por tres subcomponentes denominados Presagio, Proceso y Producto; es de esta trilogía de donde deriva su denominación 3P (Sarsoza, 2013; Soler, 2015; Biggs, 2010), ver la figura 12.

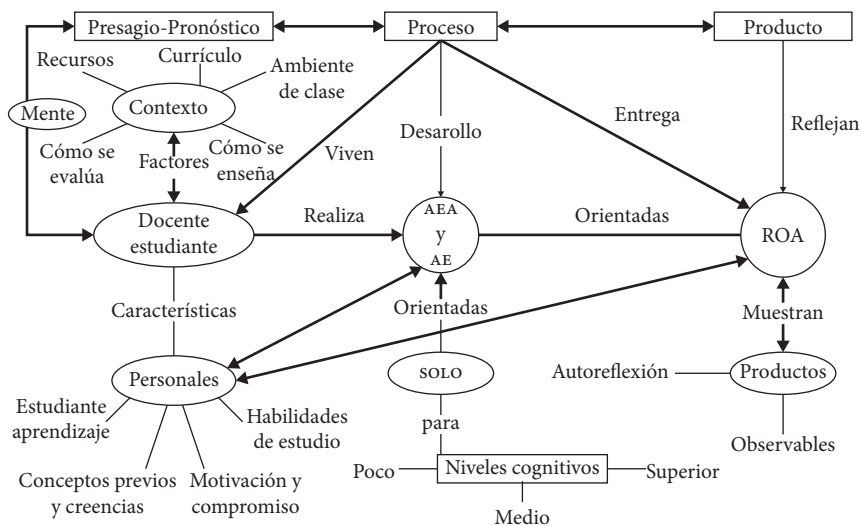


Figura 12. Esquema del modelo 3P

Fuente: elaboración propia con base en Sarsoza (2013), Soler (2015) y Biggs (2010).

Como subsistema que se plantea, en este modelo los tres subcomponentes —o, más propiamente, los tres complejos de componentes— operan de manera dinámica, de tal suerte que las modificaciones ocurridas en uno de ellos tienen efectos en los otros y en todo el conjunto. Por consiguiente, tales modificaciones hacen presencia en el subsistema aula y, por extensión, en el suprasistema educativo o contexto donde se encuentra ubicada la institución educativa.

Es pertinente dejar claro que, en el ámbito educativo y de la enseñanza en concreto, la connotación de sistema ha de entenderse como sistemas abiertos (Ackoff, 1999; Biggs, 1993; Bertalanffy, 1968). En esta dirección, como sistemas que son, tienden a buscar un estado de equilibrio. Por esta razón, en el marco del AC se busca que, en el aula, docentes y estudiantes encuentren ese estado de equilibrio cuyo termómetro de medida muchas veces son los resultados evaluativos, además de la reflexión personal acerca de su propio desempeño; que cada uno de los estudiantes y docentes se

sienta bien, en términos de Schlesinger (1994), satisfecho con la labor cumplida.

Como directriz para la planeación de estrategias didácticas en el aula, el docente que utilice el modelo 3P, al igual que la taxonomía SOLO, ha de tener presente que son solamente una guía, no instrucciones ni procedimientos que deban seguirse de forma mecánica, y que se está tratando con sistemas de alta complejidad.

A continuación, se desglosan algunos de los componentes principales del modelo 3P.

El presagio o la preparación

En relación con la figura 12, en el lado izquierdo —que hace referencia a los factores de presagio o preparación— se encuentran centrados el docente y el estudiante. Como seres humanos que son, en todo momento deben estar mentalmente preparados, de manera consciente, para el cumplimiento de sus responsabilidades. En términos de planeación de una empresa de educación escolar, este es el momento de considerar a los participantes y sus ambientes de aprendizaje, tanto en los espacios institucionales de enseñanza como fuera de ellos, en el contexto social. Asimismo, se considera al docente con sus variables de contexto de enseñanza, ambiente institucional y, más allá de él, el contexto social donde vive.

Para el docente, es el momento de conocer a sus estudiantes; y para los estudiantes, el momento de conocer a su profesor. Estos procesos de conocimiento mutuo han de conducir, a partir del diálogo constructivo y el *feedback* (Norton, 2009), lo más continuo y personal posible, al establecimiento de un alto grado de confianza entre el docente y sus estudiantes. En mi forma de pensar, cualquier esfuerzo que se haga, en nuestro contexto, para desarrollar en el aula nexos de confianza es poco.

Camino a conocer al estudiante, es preciso tener en cuenta variables como sus conocimientos e ideas previas, estilos de aprendizaje, motivación, razones por las cuales quiere dedicarse a tal o cual profesión —en este caso, a la profesión docente—, intereses particulares, niveles de compromiso y autorreflexión, e incluso algunas cualidades propias de cada uno, como su capacidad de liderazgo, aptitud para los idiomas o para las matemáticas, la música, los deportes, entre otros aspectos y habilidades de estudio (Kennedy, 2003). Con todo lo anterior, no se puede olvidar que al aula llega un ser humano —en realidad dos, con el docente— con las fortalezas y debilidades propias de sus condiciones, y que están o estarán al servicio de otros seres humanos. Más detalles en relación con las actividades de preparación se pueden observar en la figura 12.

Tal vez el aspecto más importante en la preparación de profesionales —y, de manera específica, de los profesionales docentes— bajo los principios del AC sea el alineamiento personal necesario en el momento de decidir embarcarse en un plan de estudios que más tarde lo ha de conducir a prestar sus servicios como docente; que, en los dos casos, exista coherencia entre lo que se piensa, lo que se hace y lo que se siente.

Tal alineamiento, al tenor de lo expuesto en este texto, hace referencia a la decisión personal y consciente de hacer de la profesión docente su proyecto de vida. Lo anterior se debe a que, partiendo de esta decisión que compromete pensamiento, sentimientos y acciones de quien la toma, puede plantearse, desde el comienzo de la carrera y de manera consciente, aquellos resultados que se propone alcanzar como producto de su autoformación y con el apoyo de quienes agencian ese plan de estudios y su contexto institucional.

Es en la dirección anterior que, más tarde, en el desarrollo del currículo, la automotivación orienta al estudiante y al docente a seguir una ruta profunda para aprender y enseñar (Soler, 2014, 2015, 2018; Soler *et al.*, 2017; Entwistle, 2009). Esa motivación y la autorreflexión se convierten

en el acicate que permanentemente le permitirá al futuro docente ir reconociendo la importancia de cada uno de los espacios de formación a los cuales asiste.

¿Acaso esta carencia de alineamiento no podría ser uno de los factores que explica, por lo menos en parte, la alta deserción presente en la actualidad en programas de formación de licenciados en química, como el Programa de Licenciatura en Química (PLQ) de la Universidad Pedagógica Nacional de Colombia (UPN)?

Las investigaciones adelantadas en el Laboratorio de Observación de Evolución de Cohortes (LOEC), en el Departamento de Química de la UPN, entre los años 2017 y 2023, muestran las cifras que se presentan en las figuras 13a, 13b y 14. De conformidad con estos datos, solo tres estudiantes de la cohorte 2009 lograron culminar la carrera en el tiempo normal de cinco años establecidos y el porcentaje de deserción es del 58 % para estos años (Soler *et al.*, 2020).

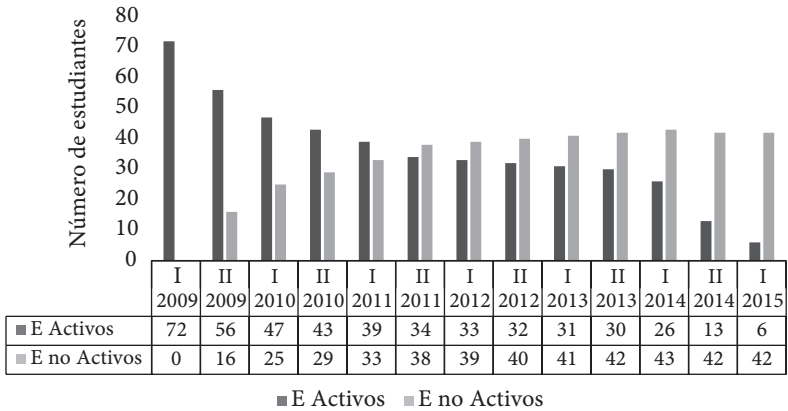


Figura 13a. Variación del número de estudiantes en el Departamento de Química: activos (E Activos) y no activos (E no Activos) semestre a semestre para la cohorte que inició estudios en el 2009-II

Fuente: Subdirección de Admisiones y Registro, Universidad Pedagógica Nacional.

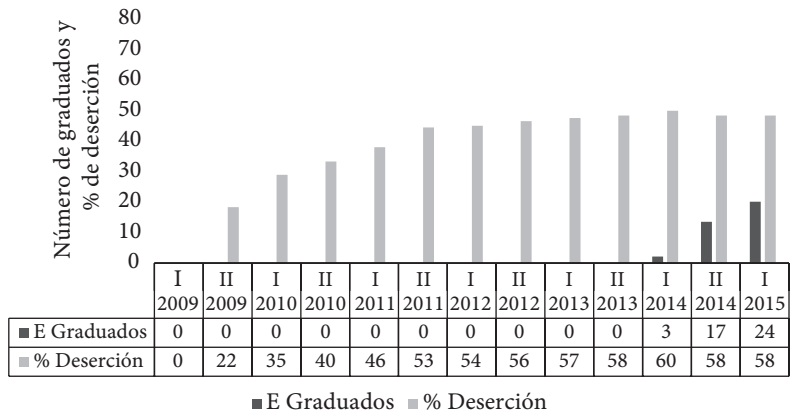


Figura 13b. Variación del número de estudiantes graduados (E Graduados) para la cohorte que inició estudios en el 2009-II, y porcentaje de deserción (% Deserción) en el Departamento de Química

Fuente: Subdirección de Admisiones y Registro, Universidad Pedagógica Nacional.

Igualmente, los datos presentados en el informe del LOEC, entregado al Departamento de Química, en una segunda investigación recientemente terminada, muestran una tendencia similar. En efecto, para las cohortes 2018-I a 2020-I objeto de la investigación, la deserción fue en promedio de cerca del 62 %, como se muestra en la tabla 2 (Cárdenas *et al.*, 2023). Claramente, estos datos no solamente requieren de alguna explicación, sino que claman con urgencia acciones internas desde el Departamento para aumentar el número de inscritos al programa y lograr una mayor retención de quienes ingresan.

Tabla 2. Resultados preliminares relacionados con la deserción en las cohortes 2018-I a 2020-I

Cohorte	Matriculados en primer semestre	Estudiantes activos 2020-2	% de Deserción al 2020-2	Estudiantes que diligenciaron la encuesta	% de estudiantes que diligenciaron la encuesta
2018-I	71	34	52,1	20	58,8
2018-II	67	31	53,7	19	61,3
2019-I	65	33	49,2	21	63,6

Cohorte	Matriculados en primer semestre	Estudiantes activos 2020-2	% de Deserción al 2020-2	Estudiantes que diligenciaron la encuesta	% de estudiantes que diligenciaron la encuesta
2019-II	57	33	42,1	21	63,6
2020-I	48	42	8,7	27	64,3
Total	306	173	41,2 promedio	108	62,3 promedio

Fuente: datos tomados de Cárdenas *et al.* (2023) con base en los resultados reportados por la Subdirección de Admisiones y Registro y el consolidado de estudiantes que diligenciaron la encuesta.

Obviamente, no es necesario que en un momento dado un docente tenga que escudriñar todas y cada una de las variables mencionadas en la figura 12 para cada estudiante que participe en un curso; tal aproximación rayaría, por lo menos, los límites de la imposibilidad, particularmente cuando en los ambientes institucionales, como los nuestros, el número de estudiantes por curso es alto. Lo que en realidad se quiere resaltar con esto es estimular a los docentes para que, al tenor de su profesionalismo y sus competencias, con criterio, en un momento dado, seleccionen para cada situación particular aquellas variables que pueden controlar y seguir en la dirección de conocer a sus estudiantes.

En esta dirección, el docente ha de desarrollar cierto sentido de alerta, sensibilidad y observación para detectar aspectos importantes en la manera como se comportan y se desempeñan académicamente sus estudiantes, bien sea para reforzarlos e impulsarlos o para ayudarlos a desvanecerlos y modificarlos.

Un aspecto importante de conocer en los estudiantes en el momento del presagio, o la preparación de la mente, es su capacidad de autoconocimiento, autorreflexión y autoevaluación, a fin de estimularla y acrecentarla durante la etapa de proceso. El desarrollo de esta capacidad es fundamental en la actualidad para el ejercicio adecuado de una profesión, en momentos

en los cuales, tanto desde la educación como desde la empresa y la sociedad, se necesitan ciudadanos y profesionales altamente reflexivos, que tomen decisiones y actúen dentro de los límites de la racionalidad humana.

De la misma manera, y en la dirección del conocimiento del docente y su ambiente, en el contexto del presagio o preparación, es necesario reconocer que al aula de clase llega un profesional de la docencia con sus fortalezas y debilidades como ser humano. Así, es preciso tener presente factores como el estilo de enseñanza, el estilo cognitivo, sus ideas y concepciones propias acerca de sí mismo, su nivel de autoconocimiento, su autoestima, así como también sus alcances y limitaciones en la disciplina que enseña y en sus métodos de producción, sus necesidades e intereses y, algo fundamental, su grado de afinidad con la docencia y de identificación racional con el contexto institucional donde labora.

En coherencia con lo descrito arriba para los participantes, en el docente es fundamental —dado su gran impacto en la formación y el desempeño académico de sus estudiantes— la propia alineación interna. Si en el estudiante es importante la autorreflexión y el autoconocimiento, en el docente es determinante tener clara conciencia de las razones por las cuales se ha dedicado a esta actividad.

Seguramente, para muchos de los docentes actuales ese alineamiento en su interior se dio hace varios años, cuando iniciaron sus estudios profesionales y decididamente acogieron la profesión docente; para otros, se ha dado ya durante el desarrollo mismo de la docencia; e incluso podrá haber quienes, no teniendo este alineamiento, como los nuevos docentes, ya lo estén construyendo en el ejercicio de sus primeros pasos en la profesión. Tal vez en ellos subyace aún la creencia altamente arraigada en nuestra cultura de que para enseñar solo se requiere saber la disciplina, creencia que contradice, por lo menos en gran parte, las investigaciones hechas en la formación de maestros y en la docencia y el aprendizaje de las ciencias,

que se apoyan en el postulado de que, para ser buen docente, se requiere algo más que la erudición en la materia a enseñar (Gil, 1991).

Ya en el terreno propiamente de la enseñanza de la química como disciplina, el docente ha de tener clara la importancia de reflexionar acerca de las preguntas habituales de la didáctica, entre ellas: qué enseñar, cómo enseñar, por qué enseñar y para qué enseñar.

Algunas consideraciones acerca de las variables involucradas en el presagio o preparación

Muchas, si no todas, las variables de contexto mencionadas en relación con el estudiante y su ambiente —algunas de las cuales se muestran en la figura 12— han sido objeto de extensa investigación, desde la cual se ha demostrado que, sin lugar a duda, tienen amplia influencia en lo que se aprende como estudiante. Con referencia a las ideas y conocimientos previos, pueden mencionarse todos los trabajos que integran el movimiento de concepciones alternativas (Marín y Cárdenas, 2011) y los tomos I, III y IV de Reyes *et al.* (1999).

Autores como los mencionados anteriormente han llegado a concluir, entre otros aspectos, que las concepciones son coherentes internamente; son persistentes, en el sentido de que se resisten al cambio y no se erradican de la mente del estudiante meramente con clases; y que son personales y presentan alguna semejanza con otras ideas que estuvieron presentes en el contexto de las ciencias. Asimismo, y haciendo referencia a lo que creen los docentes de química, existen en algunos de ellos errores conceptuales y se resalta la importancia y la necesidad de un alto grado de dominio de la disciplina como forma de minimizar dichos errores conceptuales y acercarse un poco más a las concepciones de ciencia acogidas por la comunidad científica (Driver *et al.*, 1985; Beltrán *et al.*, 1999).

La forma como los estudiantes aprenden y como los maestros enseñan son dos factores que inciden en los resultados académicos: algunos se

interesan por la memorización, otros por el cuestionamiento de las cosas y otros por la aplicación. Hoy en día parece que estas preferencias se expresan en la voz de algunos estudiantes que reclaman una enseñanza de la química más centrada en contextos cotidianos y de aplicación; en mi forma de pensar, ellos reclaman la enseñanza de una ciencia más relacional.

Concomitantemente con las formas particulares de aprender están las formas individuales de enseñar, que representan desafíos para los docentes, en cuanto en el mismo salón puede haber estudiantes con diferentes formas de aprendizaje y, por tanto, la enseñanza ha de obrar en coherencia con estas. La investigación en estos temas constituye una línea de trabajo conocida como estilística educativa (Hederich, 2013; Alonso *et al.*, 1994; Zapata *et al.*, 2011).

La motivación es otra de las variables consideradas en el contexto del presagio o preparación —lado izquierdo de la Figura 12—, como principio rector de la actividad humana. Según autores como De Morán *et al.* (1995):

De parte del educador, motivación es el esfuerzo consciente realizado para establecer en los alumnos motivos que impulsen una actividad sostenida hacia las metas del aprendizaje. Motivo es una tendencia en actividad por encima del nivel de la acción refleja consciente. (p. 67)

En relación con el aprendizaje, esta variable es fundamental, dado que permite al estudiante, en un momento dado, limitar sus objetos de estudio y concentrarse en ellos y, en general, para la formación personal, el autoaprendizaje y la construcción autónoma de su propio proyecto de vida. Precisamente, es a partir de esa motivación y autoestima que docentes y estudiantes pueden emprender con perspectivas de éxito sus labores académicas y expresar con claridad las razones por las cuales son docentes los primeros y quieren serlo los segundos.

En esta segunda dirección, la investigación adelantada en el contexto del LOEC (Cárdenas *et al.*, 2023) muestra, para las cohortes 2018-I a

2022-I, como principales razones por las cuales los estudiantes quieren ser docentes, entre otras, las que se comentan enseguida y se muestran en la figura 14.

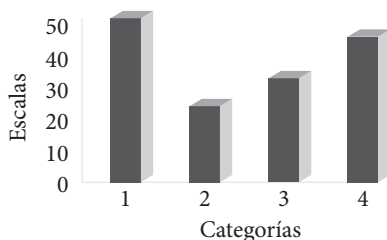


Figura 14. Intensidad de frecuencia de mención para las razones por las cuales los docentes en formación de las cohortes 2018-I a 2022-I quieren ser docentes

Nota. 1 = Razones personales. 2 = Servicio a los demás. 3 = La docencia como perspectiva de futuro y transformación social. 4 = Otras razones.

Fuente: Informe LOEC (2023).

Como se puede observar en la figura 14, las razones por las cuales los participantes de estas cohortes abrazaron la profesión futura como docentes varían desde razones puramente personales —dentro de las cuales seguramente está la motivación— hasta otras razones, pasando por la valoración de la vía educativa como camino para procurarse un futuro mejor y lograr una transformación social, y finalmente, como servicio a los demás. Excepción hecha de la categoría “otras razones”, que bien podría pensarse representa intereses personales, las otras tres se insertan dentro de lo que se puede considerar como la razón de ser de la docencia: una profesión al servicio de la sociedad.

El proceso

Se describe en términos de los factores que intervienen entre el presagio y el producto y que, de alguna manera, se relacionan dinámicamente con las otras dos partes del modelo. Se hace referencia así a la sección media de la figura 12. El impacto de estas actividades en el producto se ve reflejado en los resultados alcanzados, sus atributos y su control cuidadoso y continuo

por parte tanto de docentes como de estudiantes. Lejos de entenderse este control como control *per se*, ha de comprenderse en el sentido de establecer los pasos dados y el progreso de los participantes en dirección a alcanzar los resultados propuestos. Se realiza durante el proceso mediante la evaluación; es de recordar que, al tenor del AC, este tipo de seguimiento forma parte de la evaluación auténtica.

Se hace aquí referencia, en particular, a la motivación y a las estrategias de enseñanza que, junto con el contexto, influyen en la adopción por parte de los estudiantes de un determinado enfoque de aprendizaje (Entwistle, 2009; Soler, 2015; Soler *et al.*, 2017; Soler, 2018).

En efecto, tanto las formas de enseñar del docente como las estrategias didácticas que se involucren incluyen las acciones para la enseñanza y para el aprendizaje diseñadas por él y que, junto con la evaluación, determinan positiva o negativamente el desempeño de los estudiantes.

El producto

Las actividades de producto se construyen y se ubican entre las variables que describen al estudiante y al contexto, junto con otras que intervienen durante el proceso. Estas variables, que, como se ha dicho antes, interactúan de manera sistémica en el modelo 3P, corresponden en la figura 12 a la parte derecha, y están altamente relacionadas entre sí y con el producto final. En esta perspectiva, la evaluación, juntamente con la autorreflexión, actúa como brújula que orienta todas las relaciones entre las variables, desde las del presagio hasta las del producto pasando por las del proceso. Esto es, orientar el camino hacia las variables que conducen a un producto de alta calidad (ver la figura 15).



Figura 15. Esquema relacional asociado a las funciones de docentes-estudiantes y evaluación

Fuente: elaboración propia.

En la mira de los productos derivados del aprendizaje, en la perspectiva de la educación basada en resultados (Outcomes Based Education, OBE), está casi siempre presente como meta la expresión *aprender a aprender*, es decir, el cultivo de la capacidad de continuar aprendiendo, aún en la actualidad cada vez con más énfasis, después de obtenido el título en la universidad: el aprendizaje de largo alcance, aprender durante toda la vida.

El logro del desarrollo de esta capacidad, en la actualidad en nuestro contexto, se espera que sea alcanzado por los profesionales una vez se encuentren en el terreno del ejercicio profesional. Es de anotar que tal capacidad solo se logra enfatizando teórica y prácticamente el conocimiento funcional, es decir, el conocimiento que le permite a quien lo posee ejercer algún grado de control sobre el ambiente en el que se encuentra (Biggs, 2011; Cárdenas, 2012). Le sirve a quien lo ha construido como una herramienta con la cual ejerce algún grado de control, no meramente sobre aquello que le rodea, sino también y prioritariamente sobre sí mismo.

Dado que gran parte de la educación a nivel universitario actualmente se finca en la búsqueda de resultados de tipo declarativo, se hace necesario

buscar alternativas para disminuir el énfasis en la enseñanza tradicional —en este caso, de la química— para acrecentar la búsqueda de un conocimiento funcional. Esto no significa, de ninguna manera, que se abandone totalmente la enseñanza para el conocimiento declarativo; se trata más bien de proyectar una enseñanza en el aula que vaya más allá de este. En este sentido, el conocimiento declarativo es un primer paso por el cual hay que atravesar para avanzar hacia el conocimiento funcional (Biggs, 2010; Biggs y Tang, 2011; Cárdenas, 2012).

Es claro que el mero actuar del docente no es suficiente para que los estudiantes alcancen esos altos niveles de pensamiento y acción; se requiere, como se ha dicho antes, también el compromiso y la aceptación voluntaria y clara de parte de cada participante para llevar a cabo las actividades de aprendizaje, acompañadas de procesos metacognitivos permanentes de lo que Montenegro llama los juicios de metamemoria (Montenegro, 2004).

Estos juicios son expresiones o voces internas de cada sujeto que provienen de la autorreflexión; le dicen al estudiante en qué medida una actividad que ha realizado le ha permitido moverse hacia los resultados esperados. Es en este sentido que debe leerse la rama inferior derecha de la figura 12, donde se expresa cómo los productos pueden ser observables y de autorreflexión; de estos últimos solo son evidencias los autoconceptos que quedan en el interior de cada estudiante y que eventualmente puede exteriorizar de diferentes formas.

En cierta manera, se trata de promover en el aula la búsqueda de acciones didácticas —estrategias, debería decirse— que complementen y amplíen las que acompañan gran parte de la educación actual. La práctica de una docencia alrededor de lo que un profesor hace como protagonista en el aula y de un estudiante como receptor y procesador de información, a lo sumo, conlleva un desarrollo de las operaciones cognitivas de orden básico. En términos de SOLO, se requieren entonces grandes esfuerzos de parte del docente para extender en sus estudiantes este desarrollo hasta

alcanzar los niveles más altos de pensamiento consagrados en SOLO. Es por esta razón que la implementación de acciones para enseñar del docente y de aprender para los participantes se debe hacer teniendo una organización con cierta jerarquía de menor demanda cognitiva, diría Johnstone, a una mayor demanda cognitiva (Kellett y Johnstone, 1980; Johnstone, 2006; Cárdenas y González, 2005).

La figura 16 ilustra la complementariedad de las actividades que acompañan la transición de una forma de enseñar para lograr un conocimiento declarativo hacia una forma de enseñar para alcanzar un conocimiento funcional, así como también el nivel de compromiso que requieren los estudiantes asociados a cada forma de enseñar (Biggs y Tang, 2011; Cárdenas, 2012; Biggs, 2010).

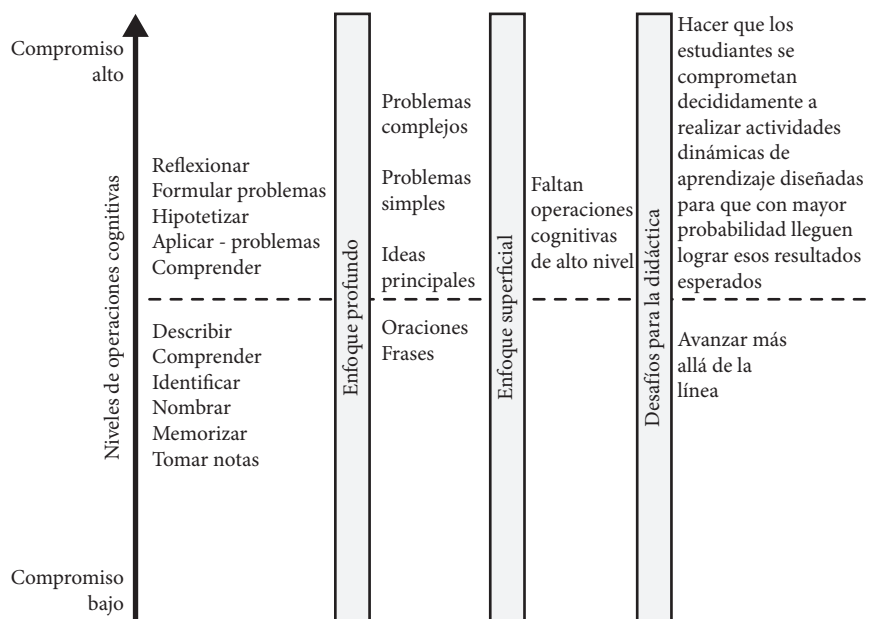


Figura 16. Relaciones de complementariedad entre una forma de enseñar para lograr los conocimientos declarativo, funcional y el compromiso requerido de los estudiantes para lograrlos

Fuente: tomado y adaptado de Biggs y Tang (2011), Cárdenas (2012) y Biggs (2010).

Como se puede observar en la Figura 16, tanto la flecha como la primera columna de la izquierda, de abajo hacia arriba, muestran cómo a un nivel de compromiso bajo están asociadas operaciones cognitivas ubicadas en los primeros niveles de SOLO —parte inferior de la línea horizontal punteada—, mientras que a un nivel de compromiso alto están asociadas operaciones cognitivas de los últimos niveles de dicha taxonomía. La línea central muestra la oscilación entre los niveles de compromiso y el aprendizaje profundo.

Las columnas de la derecha muestran el desafío de la didáctica: decrecer la importancia de las actividades asociadas a los primeros niveles de la taxonomía SOLO e incrementar en el aula la práctica de aquellas de mayor nivel.

En síntesis, con una didáctica fundamentada en clases magistrales y presentaciones orales o escritas, por parte del docente, con una escasa o nula participación de los estudiantes, lo más probable es que se estimule el aprendizaje declarativo. Mientras que, con una didáctica fundamentada en la actividad del estudiante y en buenas actividades de enseñanza-aprendizaje, lo más probable es que se estimule el aprendizaje funcional.

El alineamiento constructivo y las didácticas activas

En el contexto del AC, la expresión didácticas activas ha de entenderse como ese proceso de reflexión cotidiano que ha de acompañar a los docentes, superando la mera exposición de información para insertarlo en la transformación del aula de clase y su ambiente institucional en escenarios donde se adelanten permanentemente dinámicas de aprendizaje realizadas por los estudiantes.

La reflexión de los profesores ha de incluir, a manera de hábito, el análisis de aquello que hace cada uno de los participantes, a fin de establecer en qué medida lo que hace realmente está cumpliendo el fin para el cual fue diseñado: servir de medio para orientar el desempeño de los estudiantes hacia los logros previstos. Esto no significa que la reflexión

del docente haya de estar exclusivamente centrada en este punto —en las actividades y su función—, por el contrario, se trata de una reflexión relacional: primero, en el contexto del modelo 3P; segundo, en el contexto de su disciplina; y tercero, al interior del currículo dentro del cual se inserta el espacio académico que enseña. Se trata de poner en movimiento la expresión: si lo que hice hoy me salió bien, cómo hacerlo mejor mañana.

No hay duda de que existen muchas didácticas activas cuya naturaleza y funcionalidad dependen de las prioridades establecidas por el docente, de su competencia como tal, de sus intereses, del contexto donde se encuentre y, ante todo, de la naturaleza propia de la disciplina. A continuación, se describen algunas aproximaciones que pueden acompañar el desempeño de los docentes de química en sus clases.

El aprendizaje por investigación

La investigación es, ante todo, una actividad humana desarrollada de manera intencional, orientada teóricamente y con perspectivas de comprobación experimental. Quizá ha sido la forma más osada que ha desarrollado el ser humano para entrar a las entrañas de la naturaleza.

Ha sido este instrumento el que ha llevado al hombre hacia las estrellas, al fondo del mar, al interior de la tierra, a las revoluciones de la medicina y la infectología, a la revolución industrial, a la agricultura a gran escala y a intervenir la evolución natural de la vida al escudriñar su interior, incluso para tratar de modificarlo. Pero también lo ha llevado a cometer las más violentas e incomprensibles acciones de que pueda ser capaz un ser humano: aniquilar a sus semejantes mediante las guerras y la violencia, alterar el medio ambiente y, en la actualidad, atentar incluso contra su propia existencia como especie (Kaku, 2018; Harari, 2014; Mills y Arsuaga, 2020; Ondarza, 1985; Guillén, 1995). Una buena perspectiva en esta dirección se puede adquirir con la lectura del libro *La era de la química*, escrito por Von Hippel en 2023.

Pero en materia educativa, ¿por qué en nuestro medio se viene dando tanta importancia a esta actividad? ¿Qué se puede aprender mediante ella?

Una rápida respuesta a la primera pregunta proviene justamente de una de sus características propias: haberse constituido en un instrumento apropiado y útil para resolver problemas. No cabe duda de que la humanidad se aleja cada vez más de la ignorancia, para emplear algo de la terminología de Harari, en la medida en que la investigación permite al ser humano ingresar al esquizofrénico mundo de lo desconocido y, de conformidad con sus intereses, tomar de allí algo ignoto, trabajarlo en su escritorio y decirle al mundo: esto era desconocido y ahora se explica de tal o cual manera.

Obviamente, en el contexto anterior no soy ajeno a pensar, en primer lugar, en las implicaciones que esto conlleva en términos de inequidad social y de las oportunidades y condiciones tanto para llevarla a cabo como para disfrutar de sus beneficios; así como tampoco de los riesgos que tanto la investigación en sí misma conlleva como las aplicaciones de sus resultados ad portas de la cuarta revolución industrial (Schwab, 2016). No solamente en términos de las condiciones para vivir de toda la humanidad, sino también del impacto sobre el sistema ambiental global. Temas estos acerca de los cuales es muy importante, desde la educación, entrar a reflexionar seriamente.

Ya en el terreno propiamente dicho de la educación, y aceptando que la investigación ha demostrado ser una herramienta eficiente para resolver problemas en campos ajenos a ella —y considerando la abundancia de estos en dicho campo—, no parece insensato, por decirlo así, considerar que la alternativa investigativa aplicada a la educación sea, por lo menos, una esperanza de resolverlos poco a poco. No parece ser otra la razón, o por lo menos es una de ellas, por la cual cada vez más a los profesores del sistema educativo colombiano se les exige investigaciones terminadas o productos derivados de ellas, y para lograrlo se estimula su formación

inicial y continuada mediante oportunidades para adelantar estudios superiores (Secretaría de Educación de Bogotá, 2023).

Atendiendo a la segunda pregunta —¿qué se aprende a partir de una investigación?—, me atrevo a pensar que la respuesta puede abordarse desde dos aproximaciones, en términos de “ganancias” en el conocimiento funcional: por un lado, en relación con la formación del investigador y, por otro, en términos de la disciplina en cuyo contexto se realiza dicha actividad.

En primer lugar, en materia de formación del investigador, se adquieren pensamientos, sentimientos y actuaciones similares a las de los científicos; esto es, fincados en la rigurosidad y la sistematicidad para la realización de sus trabajos. El investigador opera con un sistema de pensamiento abierto: “la clave del enfoque investigativo es tener presente firmemente que la posición clara del investigador no es la de aquel que sabe todas las respuestas correctas, sino la de aquel que lucha por encontrar cuáles podrían ser las preguntas correctas” (Phillips y Pugh, 1994, p. 48).

En segundo lugar, se aprende a no tomar decisiones ni a sacar conclusiones o generalizaciones fundamentadas en pocos datos, o a someter a evaluación el primer borrador de un trabajo:

los investigadores examinan los datos y sus fuentes de manera crítica, de tal forma que el enfoque básico de investigación hacia declaraciones provocativas como “las drogas blandas son menos perjudiciales para la salud” no es estar o no de acuerdo, sino preguntarse, ¿cuáles son las evidencias? (Phillips y Pugh, 1994, p. 48)

La actividad investigativa está continuamente acompañada del grado de acierto en el reconocimiento de los hechos correctos, la calidad de los datos y sus fuentes, así como también de las diferentes formas de interpretar los resultados.

En tercer lugar, se aprende también, con la práctica de la investigación, a proponer explicaciones y a formular conclusiones y generalizaciones derivadas de los datos recolectados como evidencias provenientes de la metodología llevada a cabo durante el proceso: “el objetivo de la investigación es el de obtener generalizaciones válidas debido a que esta es la forma más eficiente de aplicar la comprensión en una amplia variedad de situaciones apropiadas” (Phillips y Pugh, 1994, p. 48).

En cuarto lugar, se aprende a diferenciar una situación problemática de un problema que amerita ser investigado y llevado a solución hasta sus últimas consecuencias: “el problema tiene que ser definido y el método de solución tiene que ser descubierto. La persona que trabaja en esta forma posiblemente tiene que crear e identificar soluciones originales para el problema en cada paso del camino” (Phillips y Pugh, 1994, p. 50).

En quinto lugar, terminada una investigación es preciso preparar formas de socialización de los hallazgos logrados de manera ordenada y concreta, teniendo en cuenta los alcances y limitaciones de los mismos. Estos procesos, por lo general, más allá de la escritura de un reporte final, implican la elaboración de artículos y la preparación de conferencias que alcancen los estándares mínimos para ser publicables. Es por esto que una buena redacción y gramática han de ser compañeras inseparables de los investigadores; con la vivencia de estos procesos, el investigador se va formando en operaciones cognitivas de alto nivel.

Asimismo, y a pesar de que al inicio de la formación investigativa se ha de comenzar la familiarización con las diferentes fuentes de información, en el momento de escribir y socializar los resultados es pertinente recordar que existen fuentes primarias de información: artículos de revistas indexadas, memorias de conferencias o eventos científicos, reportes de investigaciones, publicaciones gubernamentales y patentes, entre otras. Existen también fuentes secundarias, como monografías, libros de texto, artículos de revisión presentes en revistas indexadas, índices de citación o

abstracts. Finalmente, existen fuentes terciarias: *handbooks*, algunas guías hacia literatura específica, enciclopedias o bibliografías especializadas en ciertas disciplinas (Howard y Sharp, 1983).

De la misma manera, el ejercicio de la investigación conlleva el reconocimiento y la valoración del trabajo de otros investigadores, sin renunciar a la crítica constructiva de esos resultados como expresión de la membresía en una comunidad particular y, a partir de ella, establecer las posibles relaciones con su propio campo de investigación o disciplina.

Por otra parte, el ejercicio de esta actividad y el diálogo permanente con otros investigadores contribuyen paulatinamente al desarrollo individual de la habilidad necesaria para valorar, con respeto y profesionalismo, no solamente su propio trabajo, sino también —y de manera importante— el de otros colegas en el futuro.

Con referencia a la ecología conceptual dentro de la cual se hace la investigación, parece pertinente resaltar la significación que el investigador construye a partir de una serie de informaciones recolectadas y de las estructuras pertenecientes a la disciplina o campo de trabajo en el que se inserta la investigación terminada. Es a partir de este contexto que es posible construir explicaciones de los resultados obtenidos en relación con los objetos o eventos investigados. Es de anotar, además, que durante la interpretación de los resultados provenientes de una labor investigativa es posible que no se logre hacerlo en términos de los conocimientos ya establecidos o incluso desde una sola disciplina. Este es el momento en que la creatividad del investigador se hace presente mediante la propuesta de nuevos conceptos y teorías exploratorias de los hallazgos establecidos. Es el punto en el cual un investigador se muestra como tal y la ciencia avanza mediante la producción de nuevo conocimiento.

En corto, el impacto del aprendizaje hacia el interior de la disciplina contribuye a expandir en el sujeto su competencia disciplinar. En

términos de White (1979), esto significa incrementar sus niveles de logro, de dominio conceptual y su *proficiency* en la disciplina.

Es claro que si bien aún se mantiene la formación profesional e investigativa en los diferentes ámbitos disciplinares, tal aproximación se desvanece a gran velocidad, en la época actual, para dar paso a una formación más relacional y multivariada. Acompañan este proceso de desvanecimiento varias perspectivas que en este momento le son concomitantes: una de ellas es el alejamiento paulatino de la ciencia de su forma tradicional de producción para acogerse a formas más ligadas a los contextos sociales, el paso a lo que Nowotny *et al.* (2006) han denominado modo dos de producción.

Otra perspectiva concomitante al desvanecimiento de la investigación disciplinar es su contextualización: se ha pasado lenta pero seguramente de grupos o comunidades centrados en una latitud particular y en unos pocos individuos a grandes redes de comunidades ubicadas en diferentes latitudes que, como verdaderos clústeres de científicos, trabajan y producen conocimiento en red. Se asiste así a una nueva habilidad a ser aprendida desde la práctica de la investigación por los investigadores nóveles: la habilidad de trabajar en equipo y de aportar a la producción de conocimiento en red.

La construcción de estos nuevos conocimientos exige, por lo tanto, el autoaprendizaje significativo de las explicaciones conocidas al respecto, dado que a partir del aprendizaje memorístico y la mera retención de información es poco probable alcanzar significativos niveles de construcción de nuevo conocimiento. Es de anotar que, en este sentido, la investigación se convierte en un proceso pedagógico y didáctico autónomo: pedagógico en cuanto forma a quien la realiza y didáctico en cuanto le permite llevar a cabo procesos de autorreflexión acerca de sus aproximaciones al aprendizaje.

En realidad, cada vez es más imperiosa, en los diferentes campos disciplinares, la necesidad de portar un pensamiento relacional y una alta eficiencia en el trabajo en equipo. Nótese que este pensamiento relacional ha de ser aplicable a la comprensión del interior de una disciplina, pero más allá de ella, en los ámbitos de otras disciplinas y contextos, incluyendo, por supuesto, el entorno social y ambiental dentro del cual se desarrolla.

En el contexto educativo y didáctico es también muy importante tener siempre presente que, a lo largo de la existencia y como producto de la educación universitaria, lo que evidentemente acompaña al ser humano como profesional son sus operaciones cognitivas, en una palabra, su forma de comportarse y de actuar frente al establecimiento de sus propias relaciones mediante las cuales se adapta de manera continua y racional al ejercicio de su profesión y al ambiente donde vive.

El aprendizaje por proyectos

En suma, esta aproximación, como modelo de enseñanza, busca el tipo de aprendizaje conocido como vicario o por imitación: a la manera como aprenden y trabajan los científicos, los estudiantes también pueden trabajar y aprender en el aula, quizá con más énfasis en el logro de un aprendizaje declarativo antes que funcional. Este movimiento, junto con otros modelos didácticos de las ciencias apoyados en la analogía del alumno como científico, ha sido abordado por Marín y Cárdenas (2011).

Tanto lo que se aprende realizando una investigación como lo que se aprende en la ejecución de proyectos comparte algunas características, entre ellas: estar confinados a su realización total en un tiempo determinado —si bien el segundo más que el primero—. El tiempo establecido para terminar una investigación base de tesis varía de institución a institución, en función de si la dedicación del tesista es de tiempo completo,

medio tiempo o parcial. De igual manera ocurre con el tiempo asignado a un proyecto. Tener un presupuesto o una asignación económica determinada para su realización es otra característica común. La experiencia derivada de la investigación o de la ejecución de un proyecto se convierte en escenario propicio para desarrollar habilidades de planeación y manejo de recursos, así como para la administración eficiente del tiempo y de los recursos disponibles.

El valor de la implementación de proyectos en el aula ha sido destacado también por Castaño *et al.* (2022), quienes, mencionando a Loaiza (2019), afirman que su puesta en práctica “permitirá al educando desarrollar habilidades cognitivas, emocionales, físicas y psicológicas, pero, además, contribuirá a su formación como seres humanos libres, pensantes, autónomos, autorrealizados y éticos” (p. 51).

En ambas perspectivas, como se deriva de lo anterior, el sujeto tiene la oportunidad de formarse y aprender, de extender y perfeccionar las relaciones del campo de formación inicial hacia otros campos en función de sus intereses y, eventualmente, de la situación laboral en la que se inserte. En esencia, son espacios para la formación de investigadores.

El aprendizaje por resolución de problemas

El ser humano, como especie, desde los comienzos de su evolución ha venido resolviendo problemas en la medida en que lo ha necesitado como medio de sobrevivir y adaptarse de manera inteligente al ambiente. Ha aprendido a resolver problemas. En la actualidad, con todo el peso relativo que conlleva esta afirmación, la vida se ha hecho más llevadera para nuestras generaciones —por no decir más fácil— gracias a los procesos que, empleados en el pasado para resolver problemas, con el uso continuado hoy nos parecen naturales.

Es el caso, por ejemplo, del desplazamiento de un lugar a otro: este problema se ha resuelto a través de las distintas edades de la humanidad

mediante inventos como la domesticación de animales, la construcción de la rueda y, más recientemente, la invención de vehículos como el tren, el automóvil, el barco y el avión. Lo mismo ocurre con las comunicaciones: inicialmente con la invención de la escritura y posteriormente con los medios de envío y recepción de mensajes a larga distancia, como el telégrafo y el teléfono, hasta llegar a los medios que hacen uso de las radiaciones electromagnéticas. Solo por mencionar someramente dos formas ideadas por el hombre para resolver problemas (Myers *et al.*, 1989).

Sin embargo, pocas veces nos detenemos a pensar si esos procesos obedecieron o no a la necesidad —o por lo menos a la conveniencia— de dar solución a situaciones que se presentaban en cada época o latitud del planeta. A la mayoría de los procesos que acompañan la vida moderna les subyace tácitamente la concepción de problema como una situación que requiere, de parte de quien la enfrenta, un esfuerzo para buscarle solución siempre que exista una y que no sea obvia (Pozo *et al.*, 1994). Desde su origen, y en procura de resolver sus problemas, el hombre ha seguido varias vías: la experiencia directa, la razón y la combinación de ambas en lo que se conoce como investigación (Cohen y Manion, 1989).

En el interés de enseñar a las generaciones siguientes, las diferentes culturas han inventado variadas formas para transmitir sus legados explicativos; uno de ellos es la educación formal, normatizada y planeada. En este último contexto emergen preguntas como: ¿qué entender por problema?, ¿por qué algunas personas parecen ser más hábiles para resolverlos que otras? y quizá la más importante: ¿es posible enseñar a resolver problemas y, en consecuencia, enseñar la toma de decisiones?

De conformidad con Perales y su grupo, “un problema constituye, pues, una situación incierta que provoca a quien la padece una conducta (resolución del problema) tendiente a hallar la solución (resultado esperado) y reducir de esta forma la tensión inherente a dicha incertidumbre” (Perales, 2000, p. 11).

Por otra parte, autores como Pozo *et al.*, (1994) asumen como problema la concepción de Lester (1983), en los siguientes términos: “una situación que un individuo o un grupo quiere o necesita resolver y para la cual no dispone de un camino rápido y directo que le lleve a la solución” (p. 17).

Los últimos autores diferencian claramente entre lo que es resolver un ejercicio y resolver un problema. Esta diferencia es de particular interés en la didáctica de la química, dado que para la solución de ejercicios se cuenta con la información necesaria desde los textos o desde el conocimiento del docente; mientras que, para solucionar un problema propio de la disciplina química, esta información transformada en conocimiento puede ser un insumo para la búsqueda de la solución. Sería el caso de un proyecto orientado a establecer la variación del pH del agua lluvia al comienzo, durante y al final de un período de precipitación en un lugar determinado.

Desde otra perspectiva, la aproximación para resolver problemas ha sido analizada y aplicada en contextos de aula por Gil *et al.* (1988) y por Wood (2006). De conformidad con estos y otros autores, existe un consenso en considerar como problema toda situación frente a la cual hay dificultades cuyas soluciones no son evidentes; más concretamente, “un problema es una situación cuantitativa o de otra índole, que pide una solución para la cual los individuos implicados no conocen medios o caminos evidentes para obtenerla” (Gil *et al.*, 1988).

En estas condiciones, la resolución de un problema hace referencia al camino que se sigue para llegar a la respuesta o solución, y la pericia para hacerlo se denomina habilidad de resolución de problemas. Concebido como proceso, el camino para buscar la solución —la habilidad para hacerlo— implica estar en capacidad de seguir un procedimiento: un conjunto conformado por una serie de acciones organizadas que han de conducir a la obtención de la solución o de una respuesta.

Casi siempre, al interior de una clase o de un currículo —y, en realidad, a partir de un programa de formación— se espera que los estudiantes

y egresados tengan una bien desarrollada capacidad para solucionar problemas. Sin embargo, de manera explícita, por lo menos en materia de educación en química en Colombia, en la clase no se les ha enseñado a ejercitar esta competencia de manera sistemática y continua.

Otros dos autores que han abordado con atención la solución de problemas han sido Bransford y Stein, quienes, para responder a la pregunta “¿es posible enseñar a resolver problemas?”, acuden a “la heurística, la inventiva o el arte de resolver problemas” (Bransford y Stein, 1988, p. 3). Según estos autores, en los alrededores de cualquier ser humano existen otras personas entre las cuales hay unas que son más listas que otras para enfrentar las dificultades asociadas a la búsqueda de respuestas a las diferentes situaciones problemáticas que se les presentan.

Trasciende a la observación empírica anterior el razonamiento metodológico según el cual es posible, en el aula, enseñar a los estudiantes a resolver problemas. Para tal efecto, los autores mencionados proponen las aproximaciones que se presentan en la figura 17.

A partir de la visual presentada en la figura 17, se pueden observar tres grandes ideas: la influencia de las diferencias individuales, la enseñanza de la heurística y el método IDEAL para enseñarla.

En relación con las diferencias individuales, no es nada diferente de lo ya comentado arriba en el sentido de que la concepción de problema es de naturaleza cognitiva, pero muy asociada a cada individuo. Esto explica, en parte, la razón por la cual lo que para una persona es un problema, para otra no lo es; igualmente, puede explicar por qué, para un mismo problema, dos personas diferentes llevan a cabo soluciones distintas. Ante esta diversidad de apreciaciones, los autores mencionados afirman que sí es posible enseñar y, por tanto, mejorar la habilidad para resolver problemas, pero se requiere tiempo para pensarlos.

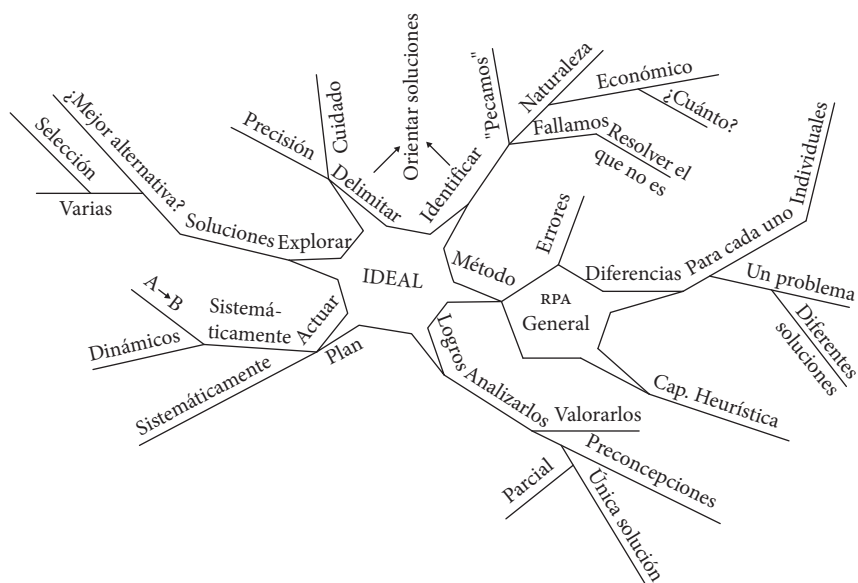


Figura 17. Esquema de la heurística como aproximación general a la resolución de problemas

Fuente: elaboración propia a partir de Bransford y Stein (1988).

Con referencia al aprendizaje de la heurística, es preciso tener en cuenta varias cosas: en primer lugar, aceptar que los problemas son dinámicos; cuando no se solucionan a tiempo se pueden magnificar. En segundo lugar, esa dinámica establece en muchos casos —si no en todos— que los problemas evolucionan de un estado A a un estado B. Así, mejorar la habilidad de resolver problemas es aprender a llevar metódica y sistemáticamente una situación del estado A al estado B.

Por otra parte, en muchos casos el problema no es encontrar una solución, sino seleccionar y delimitar muy bien el problema correcto. Hecho esto, se logra un avance positivo cuando se soluciona, aunque no sea de la mejor manera, el problema que sí es, y no cuando se soluciona muy bien el problema que no es.

Esta forma de acercarse a la solución de problemas es aplicable tanto dentro de la institución escolar como fuera de ella. Argumenta en favor

de la primera parte del primer contexto la siguiente situación hipotética planteada como actividad.

Actividad

Objetivos

- Reflexionar acerca de lo que es un problema y la selección de la alternativa menos apropiada.
- Estimular el desarrollo de la capacidad de autorreflexión y autoevaluación.

Lea cuidadosamente el siguiente texto y, a partir de su interpretación, responda las preguntas y diligencie los espacios en blanco que siguen.

La situación: Una pareja decide organizar su vida juntos y ambos tienen empleo. De repente, uno de los dos pierde el trabajo y el compañero(a) le dice: mientras consigues un empleo yo cubro los gastos de la casa. Pasa el tiempo y quien perdió el trabajo no logra encontrar otro; mientras tanto, los gastos al interior de la casa van aumentando. Un buen día, desafortunadamente, quien tenía el trabajo lo pierde también. En consecuencia, se agrava la situación económica y se plantean como solución la separación. La familia interviene y les dice: nosotros les ayudamos, no atenten contra la integridad de su hogar y el bienestar de su(s) hijo(s). La pareja decide solucionar la crisis pidiendo un crédito para ir de vacaciones. Luego de las felices vacaciones regresan y, ahora, además de las deudas anteriores deben responder por las cuotas del nuevo crédito.

Preguntas:

¿Cuál era el problema real de la pareja?

¿La decisión que tomaron fue la adecuada? Sí ____ No ____ ¿Por qué?

Si en esa situación se encontrara usted, ¿qué decisión y solución podría tomar?

Justifique su respuesta:

Escriba a continuación una reflexión general de la actividad anterior:

La tercera de las ideas ilustradas en la figura 17 hace referencia al método IDEAL para aprender a mejorar la capacidad heurística. Es una forma de proceder, un proceso y, por tanto, ha de entenderse como un conjunto de acciones organizadas secuencialmente que se han de emprender de manera sistemática. En este orden de ideas, el acrónimo IDEAL no está estrictamente asociado al éxito total de la búsqueda de una solución; encontrar su significado requiere un desglose letra a letra.

I: Identificación del problema como primer paso. Esto ubica la situación en un contexto particular (económico, académico, afectivo, familiar u otro). Es preciso establecer cuál es, en realidad, el problema.

D: Delimitar el problema. Si es económico, precisar de qué valor se trata y cuánto dinero está en juego.

E: Explorar varias posibilidades, listar varias alternativas de solución.

A: Actuar. Si se han cumplido los pasos anteriores, se debe actuar con un plan diseñado cuidadosamente para ir en la dirección de la solución.

L: Logros alcanzados. Evaluar en qué medida y qué tan eficaz ha sido la solución encontrada.

Una situación de ocurrencia cotidiana —no solamente en la vida escolar, sino también, y quizá con más frecuencia, en la diaria— es el hecho de que el último paso casi nunca se cumple. Una vez solucionado un problema, la persona se relaja y no se preocupa por el análisis del logro. A esta forma de actuar frente a los problemas, por lo general, le subyace la equivocada preconcepción de que un problema tiene una única solución

y que, una vez alcanzada, desaparece. Esto no necesariamente es así: la autorreflexión acerca de lo que se logró puede perfectamente conducir a establecer que la solución ha sido meramente parcial y que, por lo tanto, hay que mirar con cuidado qué tan eficiente y duradera es.

Por lo general, un problema no termina con la primera solución alcanzada; es preciso estar vigilantes a su evolución. En muchos casos, la solución lograda tiene alcance hasta un término específico y, en consecuencia, durante ese tiempo se debe ir buscando otra alternativa y así sucesivamente.

El alineamiento constructivo en la Universidad Pedagógica Nacional

En el contexto académico de esta institución, la tradición de trabajo con la perspectiva del AC es reciente, como lo muestran los datos de la tabla 3 y la figura 18.

Tabla 3. Producción académica relacionada con el AC en la Universidad Pedagógica Nacional de Bogotá

Nivel	Número	Período	Programa
Pregrado	3	2015-2023	PLQ
Maestría	2	2015-2023	MDQ
Doctorado	1	2015-2023	DIE
Libros	1	2015-2023	PLQ
Artículos	2	2015-2023	TED
Total	9		

Fuente: elaboración propia a partir de la información suministrada por la Biblioteca Institucional del Programa de Licenciatura en Química (PLQ), la Maestría en Docencia de la Química (MDQ) y el Doctorado Interinstitucional en Educación (DIE).

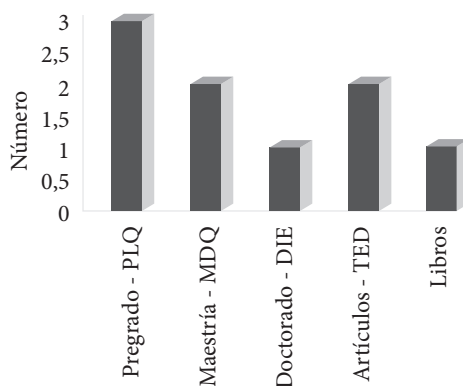


Figura 18. Producción académica relacionada con el ac en la Universidad Pedagógica Nacional, 2015-2023

Fuente: elaboración propia a partir de la información suministrada por la Biblioteca Institucional.

Una visión global de las ideas descritas en el capítulo I

Entre las ideas desarrolladas en las páginas anteriores, son de particular importancia las siguientes:

En el contexto latinoamericano, y por tanto colombiano, la educación basada en objetivos floreció alrededor de los años setenta del siglo xx bajo la denominación de tecnología educativa, heredera de las ideas de Skinner con las máquinas de enseñar, la formulación de objetivos y la enseñanza programada. En este contexto se desarrollaron varios programas de naturaleza internacional tendientes a buscar una enseñanza de las ciencias más eficiente y de mejor calidad. Uno de ellos fue financiado por la Organización de los Estados Americanos (OEA) y ejecutado en la Universidad de Campinas, en Brasil, bajo la denominación de Maestría en Enseñanza de las Ciencias y las Matemáticas. Este programa fue el escenario de perfeccionamiento para muchos profesores de ciencias a nivel de maestría, provenientes de Brasil, Centro y Suramérica, así como del Caribe. En el caso particular de Colombia, y más concretamente en la UPN, la enseñanza de la química basada en la tecnología educativa no fue muy acogida, debido a que su carácter conductista no parecía compatible con la naturaleza altamente abstracta de esta ciencia.

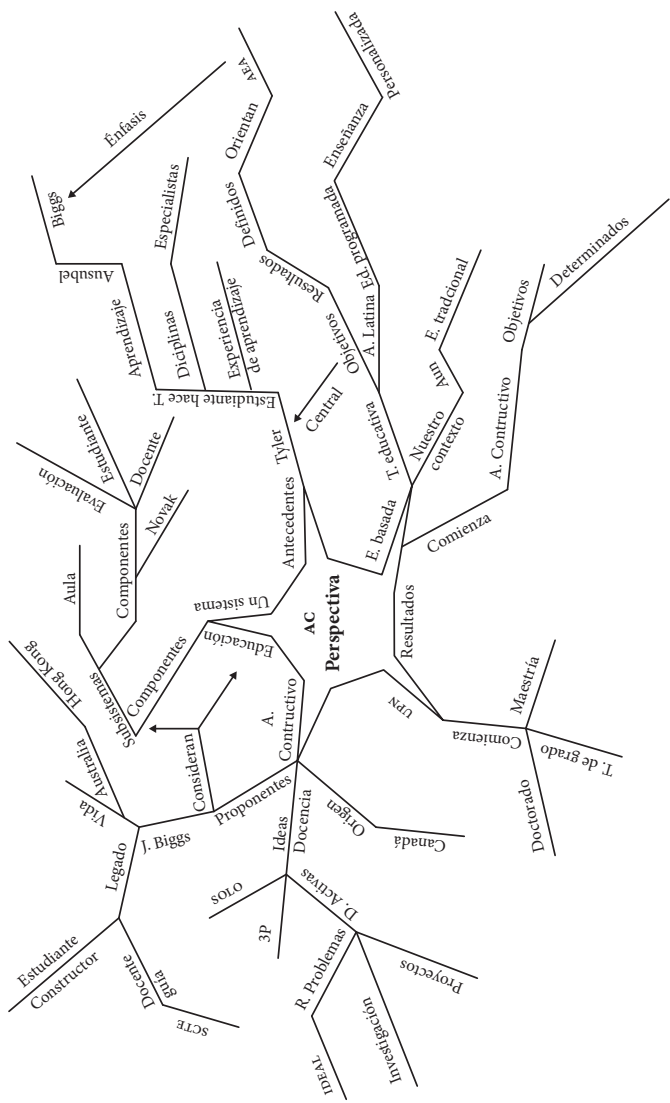


Figura 19. Ideas principales sobre el AC y sus perspectivas para la educación en química

Nota: SCTE (Sistema de Créditos y Transferencia Europea), AEA (Actividades de Enseñanza Aprendizaje), solo (The Structure of the Observed Learning Objectives o La Estructura de los Resultados Observables del Aprendizaje).

Fuente: elaboración propia.

Ya en el terreno de los antecedentes del AC, reviste importancia recordar que, desde los tiempos de Ralph Tyler, el estudiante y sus experiencias de aprendizaje eran punto central de la educación, en cuanto el autor mencionado ya enfatizaba la acción del estudiante como base de su aprendizaje en el aula, con prioridad sobre las acciones del docente. Desde entonces, a lo largo de la historia, esta idea se ha mantenido, si bien con diferentes énfasis, de conformidad con los autores de las teorías del aprendizaje que sucedieron a las ideas conductistas. En este ámbito, autores como Ausubel la retoman cuando parten de las ideas existentes en la mente del estudiante como base de la elaboración de su propio aprendizaje significativo; y Novak la enfatiza cuando afirma que la función de la educación es lograr que cada estudiante cargue sobre sus hombros la responsabilidad de elaborar sus propios significados.

Cabe señalar que, en lo que respecta a la educación en ciencias, hasta tiempos relativamente recientes, teóricos del aprendizaje como Bruner apelaban a la intervención de los expertos; esta idea, en alguna medida, se mantiene en el contexto del AC, si bien ahora con mayor énfasis en la responsabilidad del estudiante para construir su propio conocimiento a partir de acciones intencionadas para enseñar, diseñadas por el profesor.

Lo anterior no ha sido óbice para que, en la actualidad, en nuestro contexto aún subsistan rasgos de la educación basada en objetivos, generalmente centrados en un aprendizaje de conceptos, con poca preocupación porque, además de eso, el estudiante sepa qué hacer con lo aprendido. Solo hasta tiempos recientes, en la enseñanza de la química en Colombia, se empiezan a hacer esfuerzos por transformar la enseñanza y el aprendizaje de esta ciencia hacia el “saber hacer” con lo aprendido, bajo la orientación del aprendizaje por resultados.

Fundamentado en los principios del constructivismo, e inserto en la tendencia enfatizada en las orientaciones del Espacio Europeo de Educación Superior —de transitar hacia un modelo educativo fundamentado en

la responsabilidad del estudiante, según el cual el docente disminuye su protagonismo—, el AC se presenta, a manera de teoría integradora, como una alternativa para orientar acciones intencionadas de enseñanza en el aula y para el desarrollo de investigaciones educativas, principalmente, sin que por esto se desconozcan sus orientaciones pedagógicas y didácticas.

Para los propósitos anteriores, esta teoría considera la educación en un contexto social como un macrosistema dentro del cual intervienen varios subsistemas, y se centra en uno de ellos: el subsistema aula, integrado por tres componentes —el docente, el estudiante y la evaluación—, sin desconocer las demás variables que inciden en lo que aprende el estudiante, entre ellas los planes de estudio y el ambiente. En relación con la dinámica del subsistema, se considera que los tres componentes pueden operar de forma alineada o desalineada.

Si los tres componentes operan de manera alineada, las metas de los estudiantes y de los docentes están encaminadas a lograr los mismos resultados; las actividades de aprendizaje actúan como instrumentos que, empleados por los estudiantes, los acercan cada vez más a los resultados establecidos y conocidos desde el comienzo del curso. La evaluación es la brújula que en todo momento polariza la atención de estudiantes y docentes hacia las metas establecidas; es, además, un indicador del grado de avance de los estudiantes hacia esos resultados observables del aprendizaje. Para cumplir este propósito, la evaluación es un proceso continuo y sus actividades son del mismo tipo de aquellas que realizan los estudiantes como escenarios de aprendizaje; por esta razón se considera auténtica, en tanto busca revelar lo más cerca posible lo que sucede en el aula de manera continua.

Al tenor del AC, cuando un estudiante se encuentra en un contexto de aula alineado existe una mayor probabilidad de que su aprendizaje sea superior que cuando se encuentra en un contexto en el cual los tres componentes operan fuera de línea. En este último caso, el subsistema se considera no alineado: el docente tiene unas metas y el estudiante otras,

muchas veces desconocidas mutuamente. En materia evaluativa, el estudiante ve esos procesos a muy corto plazo —aprobar la materia—, mientras que el docente concibe la evaluación con una mirada teleológica; así, mientras el docente busca formar y lograr un aprendizaje funcional, que le sea útil a quien lo alcanza, el estudiante entiende la evaluación como un medio para obtener una nota de aprobación.

En la perspectiva de orientar una enseñanza alineada, el profesor Biggs, autor del AC, ha puesto al servicio de los docentes, que acojan sus planteamientos, al menos tres elementos de apoyo que, sin pretensión normativa, sirven de guía para mejorar la enseñanza: el modelo 3P (Presagio o Preparación, Proceso y Producto), la Taxonomía SOLO (*The Structure of the Observed Learning Outcomes*) y las didácticas activas. En este contexto, se han descrito como actividades de evaluación las pruebas de rendimiento académico o evaluación del desempeño, los miniproyectos y la evaluación auténtica; e igualmente, como didácticas activas, el aprendizaje basado en problemas, en investigación y en proyectos.

En el cierre del capítulo se deja claro que el AC es de reciente introducción en la UPN y se invita a la comunidad académica a considerarlo como una alternativa para el mejoramiento de sus labores docentes, académicas, de aprendizaje y, ante todo, para la realización de investigaciones.

El maestro

Después de enseñarle a mi alumno todo lo que yo sabía, él, con sus ojos brillantes y su voz efusiva, me dijo: “Maestro, he aprendido todo lo que me ha enseñado. Ahora estoy seguro de que voy a ser como usted”. En ese momento, me di cuenta de que yo no era un maestro.

JORGE RAFAEL MORA FORERO, *Hojarasca de otoño*

Capítulo III.

La química, su enseñanza y aprendizaje: un proceso continuo de búsqueda de relaciones

Introducción

La psicología, en particular la del aprendizaje, a lo largo del tiempo ha puesto al servicio de los educadores sus hallazgos en términos de teorías que han orientado sus procesos laborales al interior de la clase. Estos hallazgos, empleados con cierta amplitud, han estado más orientados hacia procesos generales de aprendizaje que al aprendizaje de las disciplinas como tales; en efecto, no son escasas las oportunidades en las cuales el estudio de algunas perspectivas psicológicas de la educación muestra, para este segundo propósito, la necesidad de apelar al conocimiento de los expertos en los diferentes campos disciplinares. Dejan así en los educadores e investigadores la responsabilidad de buscar mejores y más eficientes estrategias para hacer de la enseñanza y el aprendizaje de las ciencias un proceso continuo de mejoramiento en su calidad.

Con todo lo anterior, y en la medida en que ha emergido la investigación en la enseñanza de las disciplinas, la situación descrita se ha venido desvaneciendo con el tiempo y, en la actualidad, cada vez más estas dos fuerzas, a las cuales se suman otras, concurren para operar en la misma

dirección: mejorar y fortalecer en el aula las formas de enseñar y aprender en general, y de la química más concretamente.

En esta perspectiva, si bien aún salpicado por la idea de apelar a los expertos para su aplicación, el alineamiento constructivo (AC), propuesto por el australiano John Biggs, pone al servicio de los docentes una perspectiva más para procurar el mejoramiento de los procesos mencionados anteriormente.

Es de anotar que, en la perspectiva de concurrencia de campos de conocimiento considerados diferentes a la construcción de alternativas conceptuales y prácticas para el mejoramiento de la enseñanza de las ciencias y de la química, se destacan, además de la psicología, la filosofía y, más recientemente, las contribuciones de ciencias como la neurología e incluso la tecnología, en particular asociada con los métodos instrumentales de análisis, con preponderancia de aquellos no destructivos, como la electroencefalografía y la tomografía de emisión de positrones. Estas aproximaciones técnicas cada vez más arrojan información cualitativa y cuantitativa acerca de las diferentes y variadas —pero específicas— zonas del cerebro que se activan durante los procesos de aprendizaje, debido a los mecanismos físicos y químicos que gobiernan su funcionamiento.

Dos ilustraciones concretas en las cuales se percibe la mencionada concurrencia de campos de conocimiento, además del AC, se orientan: la primera, inspirada en la filosofía de Giere, a la construcción de trasposiciones de las formas de proceder de los científicos en sus laboratorios a las aulas escolares, para caracterizar “la ciencia escolar como una forma justificada y autocorrectiva de entender que implica apropiarse de modelos teóricos que son patrimonio colectivo” (Izquierdo y Adúriz-Bravo, 2002, p. 75); y la segunda, muy ligada a los planteamientos del médico y neurocientífico español Francisco Mora, se asocia con las contribuciones de las neurociencias y la conceptualización del aprendizaje como un “cambio del cableado de las neuronas”. Con esta mirada, quizá a corto plazo asistamos

a la emergencia de una nueva profesión o, por lo menos, de una nueva especialización docente: el neuroeducador (Mora, 2018, 2022).

Por otra parte, con el advenimiento y la entrada de la tecnología a todas las actividades humanas, pero en particular al aula de clase, esta última perspectiva se ubica dentro de un complejo, multifactorial y creciente entramado de relaciones conceptuales y prácticas, cuyos resultados, en términos de cambios perceptibles en la sociedad, apenas comienzan a sentirse en general (Schwab, 2021). Es de anotar, sin embargo, que, si bien los resultados de la dinámica de cambio mencionada apenas se empiezan a percibir, su gestación cuenta ya con un período de incubación de los últimos cincuenta o setenta años.

Además de lo anterior, al ya dinámico ambiente social y educativo donde se ubica el AC, hoy se adicionan nuevas ideas provenientes de la filosofía y de las nuevas formas y contextos donde se produce el conocimiento. Tal es el caso del pensamiento filosófico del francés Michel Serres (2014), quien afirma:

El sujeto del saber acaba de cambiar. Las neuronas activadas por el fuego blando del golpe de la espada son diferentes de aquellas a las que la escritura y la lectura se remitían en la cabeza de los antecesores; ahora crepitan en el ordenador. De aquí proviene la nueva autonomía de los entendimientos, con la que se corresponden movimientos corporales nada cohibidos y todo un barullo de voces. (p. 52)

Desde el pensamiento del filósofo anteriormente mencionado y del AC, vistos en la perspectiva de sus implicaciones en la vida de las instituciones educativas, emergen una apremiante búsqueda de nuevas alternativas y transformaciones didácticas (Biggs y Tang, 2011; Biggs *et al.*, 2022; Goñi, 2005). Estas transformaciones, en la actualidad, se orientan hacia una educación basada en resultados, como ya se mencionó.

Es preciso destacar que, si bien las ideas de Serres no hacen referencia directa a las ciencias o a su enseñanza, indirectamente sus efectos repercuten sin ninguna duda en estos campos; los impactos directos en la educación en general así lo imponen.

En el contexto anterior, muy someramente descrito, se plantean en las siguientes páginas algunas ideas que pueden servir como apoyo a los docentes de química en su camino hacia una enseñanza de esta ciencia más abierta, orientada al cultivo y fortalecimiento de operaciones cognitivas de orden superior, y a lograr en los estudiantes la construcción de perspectivas de aprendizaje de la química más globales y relacionales. En esta orientación, se plantean como horizonte de navegación las grandes ideas científicas, como lo propone Wynne Harlen (2010), las cuales se sintetizan un poco más adelante.

En resumen, se postulan en seguida, para las circunstancias actuales en Colombia, algunas ideas que apoyen la transformación de la enseñanza de la química, desde una didáctica centrada en el conocimiento declarativo hacia una didáctica más enfocada en el conocimiento funcional y en el desarrollo de operaciones cognitivas de orden superior, a la manera de los planteamientos de Biggs y Tang. Actúan como ideas fuerza en apoyo de esta transformación, en particular, el AC, la evaluación auténtica, las grandes ideas científicas y los conceptos nucleares. Sin embargo, antes de acometer esta faena, considero pertinente tratar, aunque sea parcialmente, otros temas que, como ideas auxiliares, apuntalan el desarrollo de la propuesta.

Una breve descripción sobre la situación actual en la docencia de la química en Colombia

Una mirada cuidadosa y detenida a nuestro alrededor, en relación con la enseñanza actual de la química tanto en los niveles básicos de la educación como en los semestres iniciales de la universidad, muestra, entre otras

cosas, una acentuada orientación hacia los contenidos y al docente como centro del proceso. Así mismo, se percibe una evaluación altamente orientada por la primera generación de la evaluación: el establecimiento de cuánto ha aprendido el estudiante a partir de lo enseñado. Esta medición se lleva a cabo, básicamente, a partir de la realización de evaluaciones de lápiz y papel en ambientes controlados y, en alguna medida, distintos del ambiente donde cotidianamente se desarrollan las clases. Sus resultados se analizan por medio de procesos estadísticos como los descritos por Frith y Macintosh (1984).

Pese a que, en los últimos tiempos, esta situación se ha venido moviendo en otras direcciones, en gran parte debido a la aplicación de los resultados provenientes de las actividades investigativas en el campo de la educación en ciencias, así como también a nuevas orientaciones normativas estatales, a las demandas de los estudiantes y, ante todo, a la inclusión de la tecnología en el aula de clase, aún es mucho lo que falta por recorrer.

Como acontece en otros ámbitos de la vida social, en la educación el término reforma está siempre a la orden del día: se requiere una reforma de los planes de formación de docentes, de los currículos, de la metodología de enseñanza y, por supuesto, de la evaluación. Se escucha esta demanda en todas las instancias de las instituciones de educación; todo parece indicar que la atención de los gestores del proceso, como es de esperar, ha estado puesta en los cambios y ajustes necesarios que requiere la educación en la sociedad.

Este sentimiento dinámico de necesidad de cambio, que ha acompañado la educación en general y el aprendizaje de la química más concretamente, en la actualidad se ve acelerado, como se mencionó previamente, por nuevas prioridades, demandas y necesidades.

En este momento, una prioridad en la didáctica de la química es reflexionar a profundidad acerca del rol de la tecnología en este proceso y tomar acciones al respecto. Es una demanda que requiere atención, estudiar

y conocer también cuáles son los intereses de los estudiantes frente a la química y, además, una necesidad perentoria reconocer que la enseñanza de esta ciencia, desde una perspectiva monodisciplinar, cada vez es menos sostenible. Lo anterior se debe a las perspectivas globales, inciertas y cada vez más cambiantes dentro de las cuales se desarrollan todas y cada una de las actividades humanas, ante las cuales, según Muñoz (2023), los docentes de química tienen, al menos en parte, una tarea por cumplir.

Retomando parte de la voz del citado filósofo Serres, se encuentra la expresión: “El sujeto del saber acaba de cambiar”. Este mensaje puede entenderse, por lo menos, en dos y quizá en tres direcciones: el estudiante, responsable de la construcción de su propio saber, ya no es el mismo, ha cambiado; el docente, responsable de orientar a los estudiantes hacia ese proceso eficiente y eficaz de construcción, tampoco puede ser el mismo: ha de cambiar. Tanto el estudiante como el docente han cambiado. Pero... ¿en qué han cambiado? ¿Cuáles son los nuevos atributos definitorios de ambos?

Acerca de los sujetos del saber

Hasta hace muy poco tiempo, por lo menos en Colombia, los estudiantes atendían al docente, por lo general sentados y en silencio. Estaban atentos a la información suministrada por él, tomaban apuntes, eventualmente hacían preguntas, acudían al aula con premura y puntualidad. La información que se habría de tornar en conocimiento provenía de los libros, del repertorio del docente, de algunas revistas científicas y, eventualmente, de la investigación, por lo menos en una mínima parte. Se preparaban para los exámenes, parciales o finales, con responsabilidad y compromiso; mostraban dedicación a su realización en el aula y cumplían con sus trabajos en el tiempo establecido. Estos son algunos de los indicadores que, a manera de generalización, permitían describir, al menos externamente, a los estudiantes.

En la actualidad, de todos estos atributos mencionados se observan muy pocos en el aula: la atención es dispersa, el silencio ya no se obtiene,

la importancia de la información suministrada por el docente no parece ser una preocupación y menos aún una prioridad; la toma de apuntes se ha desvanecido por completo, la preparación para los parciales o finales es exigua, al igual que la puntualidad y la disposición frente a estas actividades.

Con todo lo anterior, la descripción que se acaba de hacer, por razones obvias, es apenas externa: el resultado de una percepción personal quizá apresurada y generalista. Tal vez los cambios más importantes y de mayor complejidad para registrarlos se hayan dado —o se estén dando— al interior de los estudiantes, y los atributos descritos con antelación sean apenas indicadores de transformaciones más profundas que estén ocurriendo en la cognición y forma de actuar de los estudiantes.

En apoyo al esclarecimiento de esta suposición, puede resultar útil reflexionar acerca de otro pasaje de Serres, tomado también de la bella y elegante metáfora de Pulgarcita, que, al depender del computador y los medios tecnológicos para sus labores, ha visto migrar su cognición hacia esos medios y ahora lo tiene todo al frente; su cabeza, entonces, busca algo para hacer:

Como ya la cabeza de pulgarcita, [léase la cabeza del estudiante] no necesita trabajar duramente para aprender el saber, porque lo tiene ahí delante, objetivo, recogido, conectado, accesible a voluntad, diez veces revisado y controlado, [en el celular, en el computador] puede volverse hacia el muñón de ausencia que se alza sobre su cuello cortado [...] Ahí habita el nuevo genio, la inteligencia inventiva, una auténtica subjetividad cognitiva; la originalidad de la chica se refugia en este vacío traslúcido, rodeado de esa agradable brisa. Conocimiento que casi no cuesta nada pero que es muy difícil de atrapar. (Serres, 2014, p. 44)

Sobrepasando la belleza y la dimensión literaria del texto, su extrapolación a la enseñanza de la química parece directa y concreta. En la actualidad,

gran parte de los conceptos químicos objeto de procesos cognitivos de los estudiantes son susceptibles de encontrarse en los ordenadores —en realidad, toda la información química, si se quiere—; por tanto, muchos estudiantes piensan acertadamente: ¿para qué dedicar tiempo a aprender toda esa información?, mejor utilizo mi cognición para otros propósitos más útiles y provechosos para la vida.

La situación descrita deja así un espacio para el trabajo del maestro: acompañar a los y las jóvenes en la formación de un pensamiento creativo, original, inventivo e innovador. Enseñarles a pensar la química y sus relaciones con otras disciplinas y contextos de la vida.

Desde el AC, según Biggs (2010) y Biggs y Tang (2011), esta es una de las tareas o responsabilidades del docente: conocer a sus estudiantes en sus intereses y necesidades; es más, se trata de una condición necesaria para orientarlos en sus aprendizajes. A esta labor, tal vez, le sean de alguna ayuda las actividades de preparación o, en los términos de Biggs, las actividades de presagio, de las cuales parte el AC con su modelo 3P.

Por su parte, el docente como diseñador de ambientes de aprendizaje, en la actualidad dispone de más recursos que hace 10 o 15 años. Cuenta con una mayor preparación académica —o al menos con más medios—, mejores herramientas, ya no escribe únicamente en la pizarra con tiza, ahora lo hace en tableros acrílicos y, en muchos establecimientos de Bogotá, incluso en tableros inteligentes. Sus fuentes de información no se reducen a la biblioteca y a los libros: dispone de aplicaciones en línea para elaborar y aplicar pruebas, atender clases virtuales, simuladores que ilustran procesos experimentales y explican modelos de forma tridimensional, portafolios electrónicos para llevar seguimiento del desempeño de sus estudiantes, películas para explicar tópicos complejos o, simplemente, para sustituirlo en clase cuando no puede hacerlo de manera directa, por ejemplo, por motivos de salud.

Como sucede con los estudiantes, esta descripción corresponde básicamente a factores externos; sin embargo, los cambios sustanciales posiblemente se estén gestando en el interior de los docentes, en forma de temores, proyecciones, dudas e incertidumbres que, de alguna manera, forman parte de su conocimiento y proceder profesional, y por tanto de su actuación en el aula. Esto se sitúa en esa dimensión que Berthiaume (2009) denomina las creencias de los docentes acerca del conocer, el conocimiento, su construcción y la evaluación de ese conocimiento construido.

Para estudiantes y docentes, afirma Serres, el ambiente dentro del cual se da la experiencia educativa también ha cambiado. El lugar de la experiencia es ahora cualquiera: la casa, un parque, un medio de transporte, todos son espacios aptos para adelantar una sesión de trabajo, herencia quizá de la pandemia. Las formas de educación que combinan la presencialidad y la virtualidad son cada vez más comunes. Queda, en estos contextos, fuera de análisis pero como tema de reflexión necesaria, la discusión sobre lo que se entiende por calidad de los aprendizajes y sus formas de evaluación.

¿Dónde está el objeto de la enseñanza?

Si los actores del aula, profesores y estudiantes, han cambiado y cambian aceleradamente, ¿qué decir del objeto de aprendizaje?, ¿de los contenidos?, ¿se han transformado?, ¿dónde se encuentran?

Seguramente el lector tendrá algunas respuestas a estas y a muchas otras preguntas que, como estas, afloran a su mente y a la mía. Desde mi punto de vista, una respuesta sería: continúan presentes a nuestro alrededor bajo diferentes formas de almacenamiento y exposición, pero siempre como información codificada. Ese objeto también migra, se desplaza con los estudiantes, está disperso por todas partes y, de manera más específica, se concentra en los reservorios y sumideros que alimentan el hardware y el software de los equipos tecnológicos. Potencialmente disponible en la red y en la nube, a la espera de que alguien lo ubique y lo transforme

en conocimiento, lo haga fluir. En este sentido, la información parece compartir con la elaboración de un trabajo una misma característica: pacientemente espera hasta cuando el interesado o el responsable vengan a transformarla en conocimiento, en el primer caso, o a realizarlo, en el segundo. Esta dinámica bien podría homologarse a los modelos de desplazamiento de materia y energía con los cuales se explican estas transformaciones en el sistema ambiental global, como lo describen Turco (1997) y Tarbuck y Lutgens (1992), en términos de reservorios, sumideros y medios de flujo o desplazamiento.

En efecto, gran parte de lo que era objeto de enseñanza —los contenidos de la química, que hasta hace poco se encontraban básicamente en las bibliotecas— ahora se encuentra en flujo continuo. Siempre había estado allí, pero en estos momentos, con los instrumentos tecnológicos, se desplaza de un lugar a otro con velocidades cada vez mayores, incluso acercándose a la velocidad de la luz.

Desde esta perspectiva, parece sensato pensar que la respectiva acción del docente es actuar sobre el pensamiento de los estudiantes, lograr que cada uno desarrolle su propia forma de pensar la química y sus relaciones con otros campos del saber y de la cotidianidad, de conformidad con sus intereses y necesidades, teniendo siempre presente que la química es relativa y dinámica, pero no arbitraria. En otros términos, lograr que cada estudiante aprenda a mirar el universo que nos rodea y dar cuenta de las complejas relaciones entre sus componentes con base en grandes ideas científicas. Entre ellas, la relacionada con la materia en términos de partículas muy pequeñas y la influencia que un cuerpo puede ejercer sobre otros a distancia; y, de una manera más amplia, mirar el universo y su devenir en términos de las cuatro fuerzas hasta ahora concebidas para explicarlo: la gravitación universal, el electromagnetismo y las interacciones nucleares fuertes y débiles.

En este sentido, una de las principales orientaciones que han de seguir los docentes para que los estudiantes logren alcanzar la perspectiva anterior, afirma Harlen (2010), es que

los estudiantes deben ser apoyados en el desarrollo de las grandes ideas de la ciencia y acerca de la ciencia que les permitan entender los aspectos científicos del mundo a su alrededor y tomar decisiones informadas acerca de las aplicaciones de la ciencia. (p. 50)

De los conceptos relacionales a las grandes ideas científicas

En la ruta de aproximarse a una descripción de los avances estudiantiles en su aprendizaje, autores como Biggs *et al.* (2022) y Entwistle (2009) han mencionado y analizado la idea de los conceptos umbral. En términos generales, un concepto umbral es aquel que, una vez entendido a cabalidad, produce en quien lo logra un cambio en su forma de percibir un tema, un fenómeno o incluso una disciplina como tal. La idea original de los conceptos umbral, sin embargo, proviene del campo de la educación en economía, y sus seguidores sugieren que al interior de cada dominio conceptual existen y es posible identificar este tipo de conceptos.

Conceptos nucleares en química

En una perspectiva didáctica y al interior de la enseñanza de la química parece pertinente ahora definir una categoría de conceptos que llamaremos conceptos nucleares o relacionales. Estos, a la manera de los conceptos umbral mencionados arriba y de las palabras multiordenadas señaladas por Buzan (1989), de una parte orientan la enseñanza de esta ciencia hacia su comprensión en términos de relaciones conceptuales —tanto en su interior como hacia el exterior— y, de otra, por lo menos en perspectiva, facilitan a los docentes una concepción global de sus cursos como base para su desarrollo.

Se trata entonces de conceptos, objetos o expresiones pertenecientes a los entramados conceptuales de la química y sus elementos de trabajo que, al recordarlos, polaricen a su alrededor una serie de otros conceptos fáciles de recordar y que, potencialmente, actúen como núcleos alrededor de los cuales pueda gestarse una estructura de ideas cada vez más amplia.

La facilidad de recuerdo puede estar asociada con la familiaridad de los estudiantes debido a la tradición académica de etapas de educación anteriores, por lo que ya forman parte del vocabulario con el cual ingresan a la universidad. Esta característica es importante porque, si ya existen en el léxico propio de los estudiantes, en el aula puede garantizarse que regresen de manera significativa y se mantengan en la mente a manera de “coenzimas” o sustratos sobre los cuales se proyecten nuevas y más amplias relaciones conceptuales. En esta dirección, estos núcleos cumplen una función semejante a la de una celda unitaria en un cristal alrededor de la cual crece una estructura que, por lo general, puede representarse de forma visual. Podría decirse que poseen así un carácter integrador, de aglutinación y de proyección.

En principio, estos núcleos se constituyen en los elementos conceptuales básicos a partir de los cuales se comienza a construir el lenguaje y la gramática empleada para “comunicarse en química”. Forman, si se quiere, los constitutivos básicos del nivel de representación simbólica de la disciplina. Son ejemplos de estos conceptos: símbolo, elemento químico, partícula y, en un nivel más general, la tabla periódica, las sustancias o las radiaciones electromagnéticas. A cada uno de ellos se asocian otros conceptos e ideas básicas que les otorgan consolidación. En la figura 20 se ilustra una panorámica general de los denominados conceptos nucleares. En términos de una clase, es el docente quien —de conformidad con el contexto, su conocimiento disciplinar y la naturaleza de la disciplina o el tema— los decide y selecciona para unos propósitos determinados.

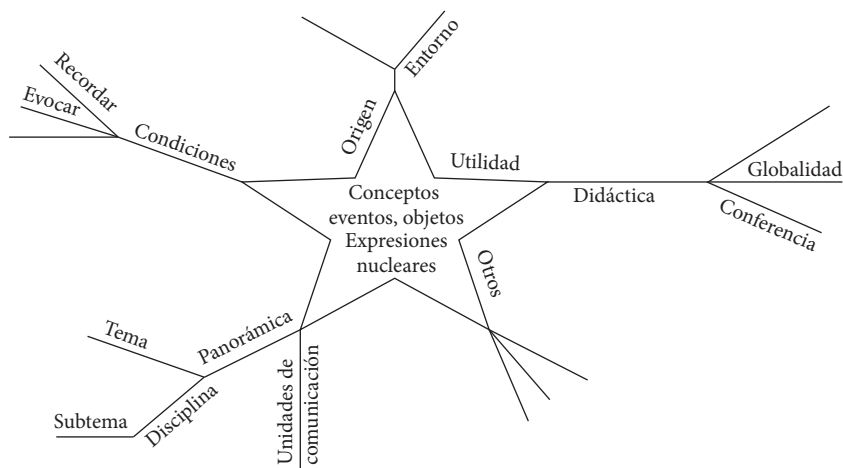


Figura 20. Ideas asociadas a los conceptos nucleares

Fuente: elaboración propia.

Actividad

Objetivo específico. Construir una visión amplia de lo que son los conceptos nucleares y algunas de las ideas asociadas a ellos.

Analice junto con un compañero el diagrama de la figura 20 y complete la parte faltante en relación con otros usos que usted pueda darle a esta perspectiva. Escribálos a continuación:

Actividad

Observe, por ejemplo, los símbolos del sodio (Na) y de la plata (Ag). ¿Cómo están conformados? ¿De dónde derivan sus nombres?

Na:

Ag:

A estos símbolos, que representan dos elementos metálicos, solo se les asocia, en principio, en el campo de la química, su contexto histórico de origen y la sustancia metálica a la cual representan. En forma visual, esto puede expresarse en la figura 21.



Figura 21. Representación de conceptos relacionales asociados a los símbolos de los elementos plata y sodio

Fuente: elaboración propia.

Como puede verse en la representación anterior, tanto para el símbolo del sodio como para el de la plata, estos forman parte del bagaje químico con el que los estudiantes ingresan al primer semestre; es decir, en alguna medida, pertenecen al léxico con el cual llegan a la universidad. Estos conceptos pueden tener origen en el contexto social en el que han crecido, posiblemente con poca significación química, o en el contexto académico que han vivido previamente a su ingreso a la universidad.

Que evoquen el mayor número posible de conceptos alrededor de ellos significa que, a partir de ese núcleo, se pueda construir cada vez más un entramado de relaciones tanto al interior de la química como más allá de ella, preferiblemente hacia contextos sociales y otros campos de las ciencias.

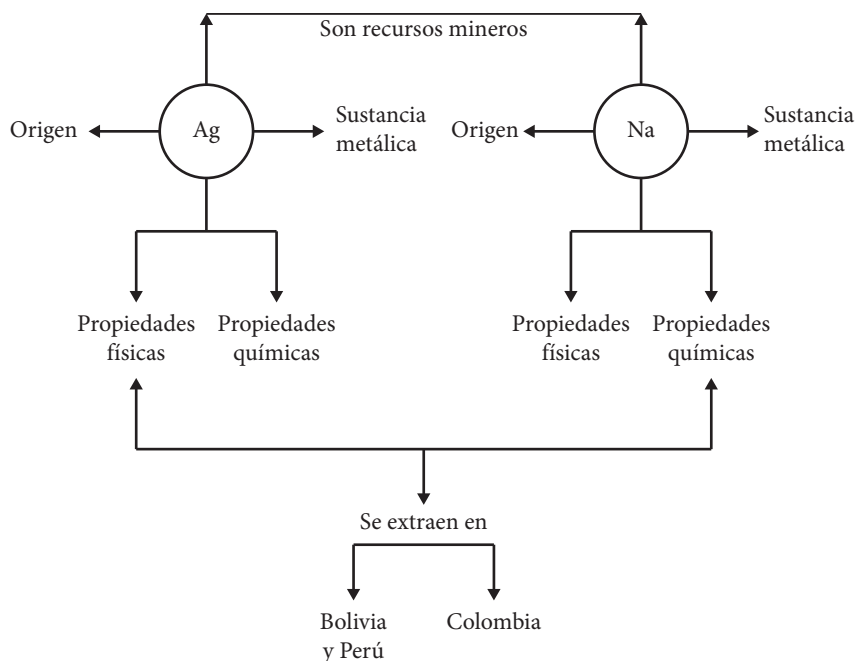


Figura 22. Representación de conceptos e ideas adicionales asociados a los símbolos de plata y sodio

Fuente: elaboración propia.

La figura 22 muestra cómo, a partir de los dos núcleos centrales, es posible orientar una clase acerca de los elementos químicos y sus relaciones más allá de la química.

Actividad

Objetivo específico. Analizar y comparar información química presentada de manera visual.

Observe y analice la figura 22 y compárela con la figura 21. Escriba a continuación las principales relaciones que puede establecer entre las dos representaciones:

Las dos ilustraciones anteriores muestran un posible camino para iniciar un proceso de transformación en la didáctica de la química hacia la construcción, básicamente, de una aproximación para pensar tanto la química como su enseñanza desde su interior hacia el exterior. Asimismo, sugieren una alternativa para comunicar la estructura del pensamiento construido en función de las representaciones visuales de esas elaboraciones propias.

Por mucho tiempo la didáctica de la química ha orientado sus procesos de enseñanza-aprendizaje hacia lograr una mirada del interior de la disciplina y, desde luego, ha conseguido avances significativos: se han formado excelentes docentes, químicos, ingenieros químicos y, en general, profesionales en los que la química constituye tanto el núcleo como una parte parcial de su formación.

Con todo lo anterior, a manera de complementación, podría decirse que, en la actualidad, en nuestro contexto, esta mirada —ya descrita parcialmente en páginas anteriores— está cambiando. Se extiende en todas las direcciones, en gran parte debido al ingreso de la tecnología en la sociedad colombiana y en la escuela puntualmente, y reclama perspectivas diferentes de enseñanza-aprendizaje para esta ciencia. Estas demandas requieren nuevas orientaciones que permitan otras miradas. Una de ellas puede ser la didáctica para el conocimiento funcional, ilustrada en la figura 23.

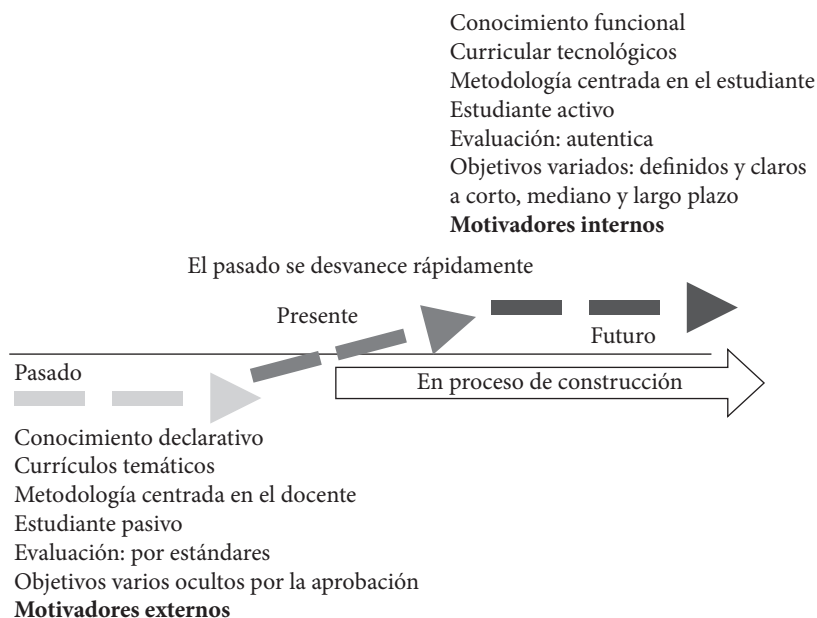


Figura 23. Representación del horizonte del pasado con proyección al futuro de la educación en química

Fuente: elaboración propia.

La figura 23 muestra cómo, en la actualidad, se gesta tanto dentro de los contextos escolares como en sus ambientes inmediatos un desvanecimiento del modelo tradicional de enseñanza de la química, y se avanza hacia nuevas formas de propender porque los estudiantes desarrollen procesos de construcción autónomos para aprender.

Puesto que, como se ha mencionado, cada docente ha construido o está construyendo su propia concepción y visión de la química, en estos momentos cada uno puede establecer un estado actual de ubicación en el proceso de transformación, así como las estrategias metodológicas que está dispuesto y preparado para emplear en función de lograrla.

Actividad

Objetivo específico. Analizar con los estudiantes algunas características de la enseñanza de la química previa a la entrada a la universidad.

Elabore una pequeña descripción de uno de los espacios de la química en el cual usted haya participado.

Escriba en el siguiente espacio los objetivos que le hayan propuesto alcanzar con el estudio del curso o de uno de los temas vistos.

Atendiendo a la figura 23, y de conformidad con su criterio, ¿en cuál de las etapas de transición se ubicaría la metodología con la cual le enseñaron y por qué?

De conformidad con los aprendizajes derivados de la experiencia vivida en la educación en química, ¿qué modificaciones le gustaría sugerir a los docentes para reorientar esta actividad en los diferentes grados de educación secundaria? Describalas a continuación:

Para cerrar esta actividad, escriba en la tabla 4 las principales dificultades identificadas en el aprendizaje de la química.

Tabla 4. Instrumento tipo inventario de dificultades para el seguimiento del progreso del curso

Origen Tema	Enseñanza	Conocimientos previos	Naturaleza abstracta de la química	Otras dificultades
1				
2				
3				
4				
5				

Fuente: elaboración propia.

Actividades como las anteriores, en particular las sugeridas en la tabla 4, realizadas periódicamente como parte del desarrollo de una disciplina en el aula, ayudan a los docentes a mantener el control sistemático de sus cursos y a tomar decisiones oportunas en favor de superar los obstáculos que se vayan presentando durante el desarrollo de sus clases.

Tanto la información derivada de la reflexión acerca de preguntas como las incluidas en esta actividad, junto con los inventarios de dificultades diligenciados tema a tema, proporcionan al docente indicadores de evaluación que, sin duda, lo apoyarán, a manera de evidencias, para tomar decisiones al final del curso. No debe olvidarse, además, que cada vez más al docente se le pide mostrar resultados de sus actividades en el aula fundamentados en evidencias. Los inventarios de dificultades o logros pueden apoyar a los docentes en esta preparación.

Camino hacia la selección de los conceptos nucleares o relacionales

Es claro que la orientación de una didáctica de la química a partir de la selección de conceptos relacionales o nucleares, y su pretensión de enseñar a los estudiantes a pensar la química con perspectivas globales de uso y aplicación, puede resultar fructífera como complementación de la enseñanza tradicional. También puede verse como un impulso hacia una didáctica

que, además de estar centrada en el estudiante, se fundamente ampliamente en el uso racional de los medios tecnológicos. Sin embargo, ya en el terreno de lo operativo, requiere de un apoyo contextual, de algunas acciones intencionadas y de un trabajo colectivo del cuerpo docente, además de una preparación profesional de cada uno para lograrlo.

En relación con la selección de los conceptos nucleares como plataforma de lanzamiento para la enseñanza de un espacio particular de la química, en principio, es una tarea de cada docente a partir de las características ya mencionadas para ellos y que, desde luego, dependen de la naturaleza del curso, de sus contenidos establecidos dentro de cada plan de estudios y del contexto dentro del cual se desarrolle la experiencia docente.

En relación con el apoyo contextual

Si por una buena enseñanza de la química se entiende aquella que, combinando los conocimientos declarativos y funcionales en los contextos de clase, facilita a sus estudiantes la apropiación y el uso comprensivo de los primeros como insumos para resolver situaciones problemáticas inicialmente propias de la química y, por extensión, el desarrollo de la capacidad de los futuros profesionales para dar solución a otros problemas más allá del contexto escolar, entonces la enseñanza de la química contribuye a la preparación de profesionales que aprenden a aprender.

En esta dirección, es conveniente hacer del aula un ambiente de aprendizaje en el cual todos los factores contribuyan a esta meta. La información suministrada por diferentes fuentes ha de ser suficiente, pertinente y estar a disposición de los participantes para su transformación en conocimiento. Para este propósito, actualmente, las tecnologías de la información y la comunicación representan una ayuda fundamental; en este sentido, una buena selección por parte del docente de los conceptos nucleares y sus conceptos asociados puede ser una aproximación válida, pues a partir de ellos es posible diseñar actividades en línea que apoyen de mejor manera su tratamiento en las clases y, por ende, el aprendizaje de los estudiantes.

Es pertinente considerar también, en este momento, que tomar como enfoque la enseñanza mediada por los apoyos tecnológicos, o la aproximación desde otro enfoque —por ejemplo, desde los conceptos nucleares—, o una intermedia, como ocurre en muchos programas a distancia, es una cuestión de prioridades. Estas prioridades son establecidas, de una parte, por el docente a nivel de aula y, de otra, por los miembros de la dirección administrativa de los programas a nivel institucional, junto con la normatividad vigente. La idea de un trabajo colectivo para la implementación del enfoque del AC es reiterada continuamente en la literatura de sus autores (Biggs y Tang, 2011; Biggs *et al.*, 2022).

La selección de prioridades en ambos niveles, el profesor y la administración, no deja de estar rodeada de dudas e interrogantes; dos de ellas, no necesariamente las más importantes, se plantean en términos de la posible desaparición de las clases magistrales y de la evaluación. Las anteriores, sin extender las preocupaciones a otros factores como el tiempo, los recursos, la motivación de los estudiantes o su actitud —que también inciden en los aprendizajes y son recurrentes en los pasillos universitarios, incluidos los de la UPN— se comentan en seguida.

En su totalidad las clases magistrales no desaparecen, pero quizá haya que reducirlas en su número, orientación y extensión. Según Gallego (1990), lo anterior depende del nivel del curso, del grado de conocimiento disciplinar específico del docente y de su saber y saber hacer como docente, esto es, de su saber pedagógico. Algunas de las posibles orientaciones de las clases magistrales, sobre todo al comienzo del semestre o período académico, han de referirse a la explicación del enfoque metodológico a seguir para el trabajo en el aula, la presentación de una perspectiva general del curso, los logros que se pretenden alcanzar, las responsabilidades esperadas de los estudiantes y la importancia del espacio académico respectivo al interior del currículo con el cual se han comprometido. También las clases magistrales ahora pueden transformarse en intervenciones cortas del docente en el aula, con el fin de orientar el trabajo de los estudiantes.

Es de anotar que algunas de estas aproximaciones se implementan actualmente en las aulas colombianas, aunque no con la frecuencia que se quisiera.

En la aplicación del AC como orientación para la educación en química en el aula, las clases magistrales forman parte de las llamadas actividades de presagio —mejor denominarlas actividades de preparación— en la primera parte del modelo 3P. Si bien el rol del docente con referencia a las clases tradicionales disminuye, se incrementa su actividad como guía y orientador del desarrollo, por parte de los estudiantes, de las actividades planeadas. El docente cede protagonismo y actividad al estudiante (Biggs, 2010; Goñi Zabala, 2005).

Con referencia a las actividades de evaluación, como se ha expresado antes, deben ser, si no iguales, por lo menos muy semejantes a las propuestas para enseñar y aprender, con el fin de que los alumnos conozcan de antemano el tipo de tareas con las cuales se van a encontrar tanto en las evaluaciones parciales como en las finales, y que la obtención de una nota no esté dentro de sus preocupaciones principales ni mucho menos constituya una meta de su participación en el curso.

En relación con el conocimiento previo de los estudiantes sobre las tareas de evaluación y los criterios para su valoración, Jorba y Sanmartí expresan su acuerdo en los siguientes términos:

Parece razonable, por lo tanto, que en primer lugar el enseñante explicita las normas a las que se referirá para decidir, por ejemplo, si una alumna o alumno ha entendido un concepto, si ha sabido hacer un determinado trabajo y en qué grado, si conoce un cierto procedimiento o si su actitud es la esperada. (Jorba y Sanmartí, 2008, p. 13)

De la misma manera que es una condición fundamental del aprendizaje la asignación de significado por parte de los aprendices a los diferentes entramados y constructos de la química, también lo es la asignación

de significado a las tareas de evaluación y a los respectivos criterios de valoración, así como la verificación por parte de los estudiantes del sentido que ellos mismos les han construido. Es más, de acuerdo con los autores mencionados:

El profesorado debería comunicar estos criterios o normas a sus alumnos y comprobar la representación que de ellos se hacen. Es necesario prever situaciones de aprendizaje que propicien la aprobación de los criterios y de los instrumentos de evaluación por los estudiantes. En este sentido, se ha constatado la efectividad de:

- La autoevaluación: evaluación por parte de los estudiantes de sus propias producciones.
- La evaluación mutua: evaluación por un alumno o grupo de alumnos de las producciones de otro alumno o grupo.
- La coevaluación: evaluación de la producción de un estudiante por él mismo y por el profesor o profesora. (Jorba y Sanmartí, 2008, p. 14)

De esta manera, en el enfoque del AC se pretende reducir al mínimo la preocupación continua de los estudiantes por la nota de aprobación de la materia como uno de los fines últimos de su participación en los cursos. Con la disminución de esta preocupación, mengua también la tendencia a copiar en las evaluaciones, la cual incluso pierde todo significado. Los procesos de evaluación se convierten en una oportunidad más para aprender y en una forma permanente y personal de desarrollar capacidad de autoevaluación, en la medida en que cada estudiante puede ir estableciendo periódicamente su grado de progreso en el camino hacia los productos acordados como finales de lo aprendido. Las anteriores son, en realidad, características de una evaluación auténtica (Cárdenas y Pastrana, 2016).

Un esquema teórico para la enseñanza de la química

Los desarrollos acerca del AC condujeron a presentar una visión bastante completa de las ideas centrales de esta perspectiva y sus relaciones con otros conceptos derivados de la actividad investigativa en los campos de la enseñanza y del aprendizaje que le son concomitantes. Tres de las preguntas que se plantearon allí como pertinentes de tener en cuenta para una enseñanza alineada en el contexto del subsistema aula hacían referencia a las intenciones del docente, las estrategias didácticas a seguir en el aula a fin de apoyar y guiar a sus estudiantes en la ruta de alcanzar las metas de aprendizaje que se han propuesto y que ellos están de acuerdo en trabajar para lograrlo. Así mismo, se planteó en ese contexto la necesidad de establecer un sistema de monitoreo permanente a manera de seguimiento continuo del camino recorrido por los estudiantes hacia el logro de esos productos finales acordados, esto es, un proceso continuo de evaluación en el aula.

En resumen, las preguntas planteadas desde la perspectiva del docente fueron las siguientes: ¿qué es lo que quiero lograr?, ¿qué acciones debo llevar a cabo para alcanzarlo? y ¿cómo puedo determinar si mis estudiantes están progresando adecuadamente hacia los objetivos establecidos desde el inicio?

En realidad, estas preguntas, junto con otras dos ideas, constituyen la plataforma teórica desde la cual se puede partir para encaminar una didáctica en general y la de la química más concretamente, en consonancia con la orientación actual de una educación basada en resultados orientados por la taxonomía SOLO (Biggs y Tang, 2011).

Las otras ideas que subyacen a la tendencia mencionada se relacionan, por una parte, con la visión que tenga el docente de la estructura de la química y sus vínculos con el cultivo y desarrollo de la cognición de los estudiantes para enseñarla. En esta dirección, es pertinente tener presente,

al organizar o planear la enseñanza de un tema, un curso y, en general, un currículo, la necesidad de disponer las temáticas de tal manera que durante el proceso de enseñanza de los contenidos se promueva el desarrollo creciente de las operaciones cognitivas. Para este propósito, la selección de conceptos relacionales o nucleares, descrita anteriormente, se presenta como una alternativa prometedora; en otros términos, se trata de poner la química al servicio del mejoramiento de las habilidades de pensamiento de los estudiantes.

Obsérvese además que, de conformidad con la idea central de una enseñanza alineada de la química, forman parte de los tejidos conceptuales de esta disciplina unos conceptos más fáciles de aprender que otros; vale decir, unos que para su aprendizaje solo requieren del estudiante operaciones cognitivas de orden básico, mientras que los más complejos exigen operaciones de orden intermedio o incluso superior. Desde luego, para emprender con alguna perspectiva de éxito esta labor se requiere del compromiso decidido y la responsabilidad constante por parte de los participantes para construir sus propios conocimientos, y del docente para orientarlos y guiarlos hacia los objetivos concertados: los llamados logros observables del aprendizaje.

En general, un currículo, para ser orientado por los principios del AC, debe estructurarse de manera que todos sus componentes permitan el desarrollo de los espacios o ambientes de enseñanza que lo constituyen, a partir de los principios mencionados (Biggs y Tang, 2011).

Las ideas expuestas hasta aquí se ilustran en la figura 24. En ella se puede observar que las cinco ideas esbozadas arriba forman una plataforma que soporta la tendencia de una educación basada en resultados.

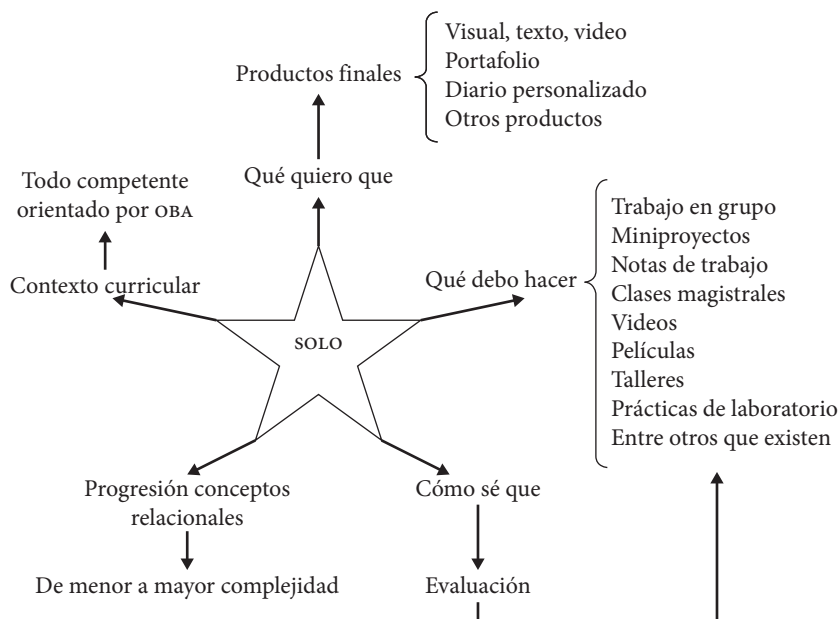


Figura 24. Cinco ideas centrales desde el AC que orientan una enseñanza de la química por productos observables

Nota: OBA (Outcoms Based Education o Educación Basada en Resultados).

Fuente: elaboración propia.

El alineamiento constructivo como fundamento para una enseñanza alineada de la química

En la figura 25 se presenta un esquema que resume algunas orientaciones específicas que, a partir del AC, pueden apoyar a docentes y profesores en formación en el diseño e implementación de sus actividades como maestros.

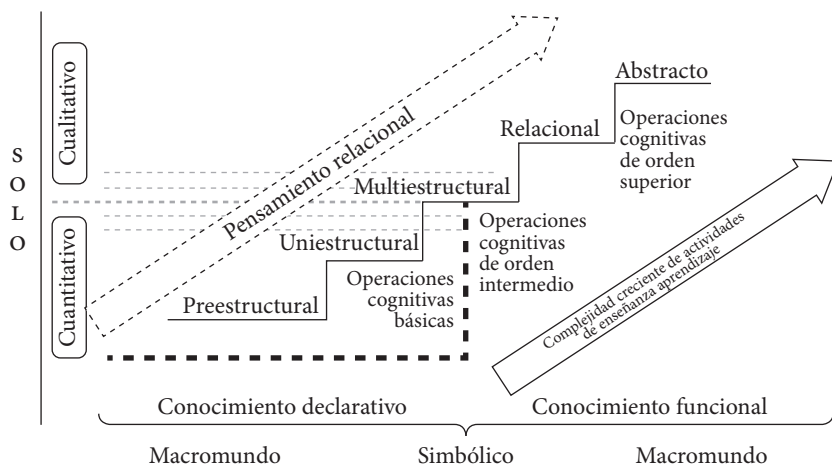


Figura 25. La taxonomía SOLO como contexto orientador de la enseñanza de la química

Fuente: adaptado de Biggs y Tang (2011).

Una mirada panorámica de la figura 25 permite apreciar los componentes en términos de los cuales está elaborada la taxonomía SOLO. De izquierda a derecha aparece la taxonomía, propuesta por Biggs y Tang, como horizonte de sentido para proponer diferentes grados de desarrollo de las operaciones cognitivas a partir del tratamiento en el aula de un concepto, un principio, un curso o de todo un programa de formación profesional.

Por razones propias del objeto de este texto, esta taxonomía se empleará en las páginas siguientes únicamente con referencia a la docencia de la química a nivel general y de algunos de sus temas específicos, como ilustración en la formulación de objetivos generales y específicos.

Dado que la implementación de SOLO para fines de alineamiento de otros espacios académicos, curriculares e institucionales requiere un trabajo más amplio y, por definición, de naturaleza colectiva, se deja su consideración para otros contextos.

Es importante precisar que, si bien en este caso se ha seleccionado la taxonomía SOLO como horizonte de acción, la educación basada en resultados no necesariamente ha de orientarse desde esta organización jerárquica de productos de aprendizaje esperados; bien pudiera hacerse desde otras propuestas de organización, como la conocida taxonomía de los objetivos de Bloom, en particular su versión revisada (Bloom *et al.*, 1975; Porras, 2008).

Personalmente, considero que SOLO, menos conocida en nuestro contexto, ofrece una mayor perspectiva para la enseñanza de la química, debido a que, en primer lugar, está más orientada al establecimiento de una jerarquía de operaciones cognitivas para ser desarrolladas desde las aulas en los estudiantes de química, en coherencia con la orientación que se sugiere para la enseñanza de esta ciencia: invertir la perspectiva de enseñanza de la disciplina con una mirada y un énfasis en el aprendizaje de sus conceptos, principios, teorías y procedimientos como tales, en sí mismos, para propender por la formación de una manera de pensar la química más amplia y relacional. Se busca, así, que el conocimiento aprendido tenga alguna funcionalidad para quien lo construye, le sirva para ejercer, en alguna medida, control sobre el medio que lo rodea y para la producción de nuevo conocimiento (Biggs y Tang, 2011; Cárdenas, 2012).

De esta manera, se espera que la química general, para quienes hacen de la ciencia química o de sus alrededores su proyecto de vida, sea una puerta de entrada que les abra perspectivas para su profundización, y que para quienes no lo hacen represente la oportunidad de formarse una manera de explicar el mundo y su devenir desde la dinámica de los átomos y las moléculas. En este sentido, podrán formar parte de una sociedad que racionalmente piense y tome decisiones cada vez más informadas científicamente. La enseñanza de la química y sus diferentes tópicos actúan, entonces, como un medio para el desarrollo y fortalecimiento de las operaciones cognitivas en el estudiantado.

En segundo lugar, dado que la taxonomía de los objetivos de Bloom no solamente es más conocida en nuestro medio, sino que ya estuvo asociada a la enseñanza y a la educación en general en Colombia y América Latina, podría evocar la tendencia a pensar en expresiones como “otra vez la tecnología educativa”, lo cual induciría una cierta forma de concebir la enseñanza de la química a la manera de los años setenta del siglo xx (Galego, 1990). Esta aproximación, fundamentada en la tecnología educativa, recibió —según el autor mencionado— oposición en el caso de la química, por su naturaleza netamente conductista y empírica.

Continuando con la descripción de la figura 25, sobre la línea recta de la parte izquierda aparecen dos regiones marcadas como cualitativo y cuantitativo. Estas son dos connotaciones relacionadas con la taxonomía SOLO consideradas por Biggs y Tang (2011) y por Biggs *et al.* (2022). Representan graduaciones que se dan en el avance del aprendizaje logrado por los estudiantes a medida que ganan dominio conceptual en la química y se aproximan a lograr lo que White (1979) denomina un alto nivel de competencia.

En el nivel cuantitativo, desde la perspectiva del aprendizaje de los conceptos nucleares en la química, se hace referencia al aprendizaje y la utilización de los llamados conceptos relacionales básicos, como los asociados a los símbolos de los elementos y su empleo para la representación correcta en la escritura de las formas de mostrar, por ejemplo, inicialmente las asociaciones de átomos de los elementos y, más adelante, extender su aplicación a los compuestos (ver las figuras 20 y 21). Se amplía así la base conceptual requerida para la escritura de las fórmulas y, a partir de estas, de las ecuaciones químicas. En otros términos, se construye una plataforma conceptual cuantitativamente más amplia, necesaria para escribir con precisión las fórmulas que describen compuestos, así como las ecuaciones químicas que representan sus interacciones y transformaciones de reactivos para dar diferentes sustancias como productos, e incluso para la descripción e interpretación de los sistemas ambientales naturales.

Es el caso, por ejemplo, de la distinción entre O , O_2 y O_3 que, en las primeras experiencias de aprendizaje, usualmente se apela a la memorización de sus denominaciones o formas de nombrarlos, sin mayor comprensión o reconocimiento de las fuerzas que unen estas unidades abstractas ni de las implicaciones que esto tiene en las características físicas y químicas del oxígeno y sus estados alotrópicos.

Esta perspectiva cuantitativa de SOLO puede orientar a los docentes, en primer lugar, en la selección de los conceptos nucleares básicos y, en segundo lugar, en la extensión del aprendizaje en la química básica o general al mayor número de ellos. En este nivel, se trata didácticamente de la enseñanza y del aprendizaje de la mayor cantidad posible de conceptos clave de la química y de su poder discriminatorio, sobre los cuales, más tarde, en la etapa cualitativa, se construirá un mayor número de relaciones, en particular de aplicación y uso. De conformidad con lo anterior, cuantitativamente “se aprende más química”, mientras que cualitativamente se extiende esa química aprendida a través del establecimiento de un mayor número de relaciones conceptuales hacia el interior de la disciplina y su transposición a otros campos del saber más allá de ella.

Por otra parte, esta perspectiva cualitativa y cuantitativa presenta a los docentes la posibilidad de comenzar con sus estudiantes la construcción de una visión de la química como forma de explicar todo lo que nos rodea a partir de una concepción de los materiales formados, en última instancia, por partículas interactuantes de naturaleza abstracta: los átomos, las moléculas y las especies iónicas.

En términos de los resultados esperados o productos a evidenciar al final de una clase o incluso de un curso de química general o básica, se esperaría, por ejemplo, una presentación ante el curso en la cual, en forma individual o en grupo, los estudiantes demuestren que son capaces de explicar con sus propias palabras, a partir de una situación dada, la diferencia entre el porcentaje de un elemento presente en forma libre y

combinada, así como también las características que le son comunes y particulares en ambas situaciones.

Actividad

Objetivo específico. Diferenciar y describir las características de una sustancia pura elemental con sus características cuando forma parte de una sustancia pura compuesta.

La situación: en una estación de monitoreo del oxígeno disuelto en el océano Pacífico se encontró que la concentración de este elemento es, en promedio, del 93 %. Si la composición centesimal del H_2O es aproximadamente de 11,2 % de hidrógeno y 88,8 % de oxígeno:

- Escriba la representación del oxígeno disuelto en el mar 
- Compárela con la representación del elemento en la molécula de agua y escriba a continuación su respuesta:



- Mediante dibujos explique las diferencias y semejanzas de las dos representaciones.



Siguiendo el razonamiento expuesto bajo el acápite de los conceptos relacionales y las grandes ideas científicas mencionadas anteriormente, los conceptos asociados a la representación del oxígeno se aprecian en la figura 26.

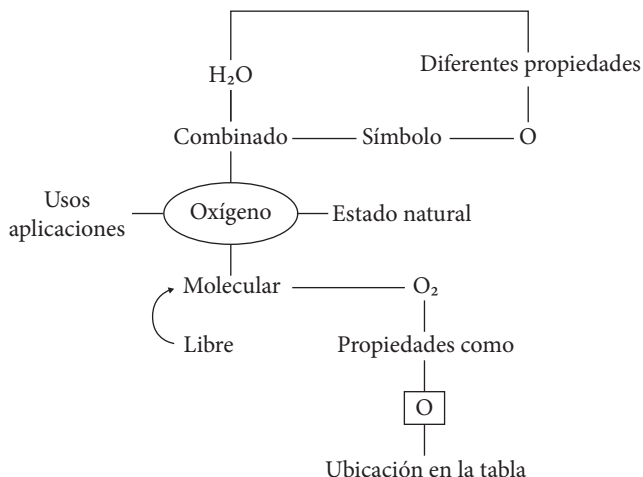


Figura 26. Conceptos asociados al oxígeno como núcleo relacional, en estado elemental y combinado

Fuente: elaboración propia.

Una ligera comparación de las figuras 22 y 26 permite establecer que el número de relaciones presentes en esta última es mayor que en la primera; en otros términos, la demanda cognitiva para la elaboración de la figura 26 es superior a la exigida para la figura 22. Seguramente, si se analiza una de las representaciones elaboradas por los estudiantes de un curso, en primer lugar, estas serían diferentes y mostrarían otros tipos de relaciones asociadas a la respuesta de la actividad; en segundo lugar, en algunas de ellas los conceptos relacionados serían más numerosos.

Así mismo, la forma de presentación de cada estudiante para ilustrar y mostrar las relaciones construidas es diferente, de conformidad con las características individuales asociadas a sus estilos de aprendizaje y de expresión. Otros estudiantes preferirán mostrar las relaciones construidas mediante otras formas de representación, como un dibujo, un texto descriptivo, una tabla o textos escritos en un portafolio de aprendizaje.

En cualquier caso, la tendencia general o el principio de organización asociado a SOLO es el mismo: una creciente búsqueda intencionada, por

parte de cada estudiante, del mayor número de conceptos asociados al núcleo central seleccionado. Esta tendencia de búsqueda de relaciones cada vez más complejas, a medida que se incrementa la dificultad o el nivel de exigencia de las actividades de aprendizaje, se señala en la figura 25 mediante la flecha que, en diagonal, se extiende desde la base del nivel cuantitativo —extremo inferior de la línea y de la flecha— hasta el extremo superior del cualitativo, terminación aguda de la flecha.

A manera de mensaje didáctico de esta flecha, para los docentes, es posible leerlo en los siguientes términos: la ejecución de un curso o de un tema ha de tener como base el diseño de estrategias de aprendizaje cuyas actividades, al ser realizadas por los participantes, progresen en el perfeccionamiento de sus operaciones cognitivas desde aquellas básicas hasta las de orden superior, previo el paso por el mejoramiento de las operaciones de pensamiento de orden intermedio.

En este contexto, requieren de los estudiantes operaciones cognitivas de orden básico, actividades como identificar los atributos definitorios de los elementos químicos, comparar algunas de las propiedades periódicas de las sustancias elementales en la tabla periódica teniendo en cuenta su ubicación en los diferentes grupos y períodos, clasificar elementos como metales y no metales, cuantificar el pH de una solución y comunicar el resultado de una experiencia de enseñanza y aprendizaje. En general, para lo anterior se requieren las operaciones cognitivas asociadas a la estrategia I4C (Umbarila y Cárdenas, 2023).

Así mismo, se requieren operaciones cognitivas de orden intermedio, como los cálculos asociados a la preparación de algunas soluciones de uso común en el laboratorio en términos de unidades físicas y químicas de concentración. Ya en el desarrollo de los niveles más altos de pensamiento se ubican actividades como aquellas que implican la transformación de ecuaciones ideales para ser aplicadas al estudio y explicación de sistemas gaseosos reales; es el caso, por ejemplo, de la transformación

de la ecuación de estado de los gases ideales a la expresión de Van der Waals, para dar cuenta de la forma como se comportan los gases reales.

En cuanto a los peldaños representados en la figura 25, cuya denominación conserva la nomenclatura propuesta originalmente por Biggs y Tang (2011), es pertinente aclarar que no se trata de pasos discretos de aprendizaje ni de la definición de actividades específicas para el desarrollo de cada uno de estos pasos o niveles de pensamiento, como si el aprendizaje fuera una variable discreta y su producto final una sumatoria de estratos diferenciables.

Una interpretación más apropiada y acorde con la complejidad creciente de los entramados conceptuales de la química y su organización para la enseñanza es la de una región del espacio —áreas demarcadas por las líneas discontinuas en la figura 25—, en cuyo contexto se pueden diseñar varias actividades didácticas que, realizadas por los estudiantes, aportan a la consolidación de esos niveles de pensamiento propuestos y que se exteriorizan o se materializan en un producto observable o resultado final del grado de dominio conceptual y de uso alcanzado por cada estudiante al final de un período de estudio.

Subyacen también a la interpretación de la figura 25, como esquema teórico para la orientación de la docencia de la química, la concepción de aprendizaje declarativo y funcional junto con la concepción de su enseñanza en términos de los fenómenos u objetos del macromundo, el mundo submicroscópico y el nivel simbólico (Johnstone, 2000).

En relación con la perspectiva macro, micro y simbólica mencionada anteriormente, forman parte de la visión de la química propuesta por varios investigadores que la han empleado para la enseñanza y la investigación acerca de su aprendizaje. También ha sido aplicada para entender y explicar dificultades de aprendizaje de esta ciencia (Johnstone, 2000).

En razón de lo anterior, se recomienda que los docentes estén atentos a tratar en el aula con los estudiantes y a reflexionar continuamente con ellos sobre esta perspectiva, mientras se llevan a cabo las actividades de enseñanza y aprendizaje, para que no se pierda de vista o pase inadvertida esta concepción explicativa. De lo contrario, se corre el riesgo de atender meramente, o de manera prioritaria, al nivel macro perceptible a nuestros sentidos y, por lo tanto, de fácil apreciación durante el aprendizaje y el establecimiento de explicaciones y aplicaciones de los conocimientos construidos con base en las actividades realizadas.

Puesto que no es muy fácil entender que los objetos materiales que nos rodean y con los cuales nos encontramos a diario —la madera, los metales, el papel, las joyas, los alimentos y el aire, solo por mencionar algunos de ellos— están formados de invisibles partículas portadoras de grandes cantidades de energía, prima la aproximación sensorial y las explicaciones desde lo macro. Tan importante como es, resulta apenas un primer paso en el complejo proceso de construir una comprensión racional del mundo y sus dinámicas. Por esta vía de aproximación, poco reflexiva de la enseñanza de la química —que se da con mucha frecuencia en nuestro contexto, aunada con prácticas evaluativas y una larga y consolidada tradición didáctica orientada hacia el conocimiento declarativo—, se ha llegado a las manifestaciones de poco interés, motivación y actitud que con frecuencia se observan en los estudiantes en nuestras clases.

Lejos de ser esta una visión pesimista e, incluso, en cierta medida apocalíptica de la didáctica de la química, el escenario planteado se presenta como territorio fértil de indagación y realización de investigaciones que aporten propuestas innovadoras en favor de la transformación didáctica ilustrada en la figura 23.

¿Qué han hecho los científicos para entender
y explicar el mundo y su devenir?

Para facilitar la comprensión del mundo y su devenir, así como construir sus explicaciones al respecto, los científicos han diseñado procedimientos para aislar e identificar cada uno de los componentes que integran los materiales del ambiente que nos rodea y estudiarlos a profundidad. Por tanto, cuando el estudiante inicia sus estudios de química se encuentra frente a un constructo que es una versión simplificada para la comprensión de esos materiales.

Complementariamente, desde hace mucho tiempo los científicos percibieron que, donde los sentidos no llegan debido a sus limitaciones propias por naturaleza, la razón logra hacerlo, y en esta dirección han generado la visión abstracta de la química. Así, en el aula los estudiantes se encuentran con una versión simplificada y abstracta de la realidad (Middlecamp y Kean, 1986).

Concomitantemente con lo anterior, desde los primeros acercamientos de los estudiantes a la química deben reconocer que esa construcción simplificada y abstracta es dinámica y creciente. En efecto, las explicaciones químicas —mejor sería decir los conocimientos en la química— se han venido ampliando de manera acelerada, no solamente en los conocimientos como tales, sino también en sus aplicaciones.

Por otra parte, como estudiantes de química, quienes se aproximan a ella para aprenderla deben ser conscientes de que su aprendizaje requiere, entre otras condiciones, un orden particular. Así, por ejemplo, difícilmente se logra establecer una relación significativa de la combinación de los elementos para transformarse en sustancias compuestas y explicarlas a nivel submicroscópico si previamente no se tiene el concepto de lo que es un átomo y su asociación para representar un elemento. Esta orientación ordenada y consciente del aprendizaje permitirá al estudiante,

posteriormente, construir nuevos aprendizajes, particularmente cuando en el aula se los enseñan rápidamente.

Una habilidad de aprendizaje que favorece este proceso está asociada con el estudio continuo de la química. No parece una buena aproximación para lograr su dominio conceptual dedicarle tiempo para su aprendizaje de forma discontinua; es recomendable estudiarla todos los días y relacionar, en la medida de lo posible, los nuevos conceptos con alguna de las actividades o situaciones de la vida cotidiana o, preferiblemente, con los conocimientos ya construidos. En otras palabras, es recomendable hacer de la química una compañera permanente en los procesos interactivos de acomodación al medio que nos rodea.

En relación con la preparación de las evaluaciones, bien sean parciales o finales, tampoco es la mejor forma enfrentarlas preparándose a última hora y recordando temas al azar o con la esperanza de que unos u otros sean objeto de tratamiento en las evaluaciones. Este tipo de orientación del aprendizaje está centrada en la aprobación de los cursos como meta final y, eventualmente, en el aprendizaje de fracciones independientes de conocimientos químicos, contrario a la construcción continua de una perspectiva global y relacional de la misma.

En la construcción de esa perspectiva individual, pero global, es prioritario abandonar a toda costa el aprendizaje de conceptos aislados. Se debe recordar que cada concepto forma parte integral de una estructura mayor. En muchas ocasiones este aprendizaje fraccionado está asociado a la búsqueda de respuesta a ejercicios o problemas de lápiz y papel, sobre todo de aquellos que requieren de la aplicación de algoritmos. Ayuda mucho a combatir la tendencia anterior saber que aprender química es más que resolver este tipo de ejercicios y tener éxito en su solución. Es claro que su aprendizaje conlleva también habilidades para observar, realizar técnicamente procedimientos como medición, lectura y elaboración de gráficas, organización e interpretación de datos, formulación de generalizaciones

a partir de esa interpretación, construcción de modelos, realización de investigaciones y planteamiento de hipótesis, y más tarde el uso apropiado de instrumentos de alta precisión, su estandarización y preparación apropiada de muestras para los respectivos análisis.

A partir de los planteamientos anteriores, y como forma de apoyar el perfeccionamiento de la enseñanza de la química, viene en soporte la incorporación al aula —de manera integrada y como tema de reflexión continua— de una concepción lo más clara posible de lo que es esta ciencia y su aprendizaje. De esta manera, seguramente un número creciente de estudiantes gana confianza y autonomía para tomar decisiones en la selección y perfeccionamiento de sus más apropiadas y personales estrategias de aprendizaje que necesitan para tener éxito en sus estudios.

De manera coloquial, en dirección a formarse una concepción clara del objeto de estudio, bien puede afirmarse que, si se sabe conscientemente y a cabalidad a qué se enfrentan los estudiantes, las formas de hacerlo fluyen con mayor facilidad; complementariamente, una vez usted (el estudiante) tenga control de sus propias estrategias de aprendizaje y las aplique con seguridad, no solamente a la química, sino a aprendizajes más allá de ella a lo largo de toda la vida. Precisamente, en esto radica el impulso a las habilidades para aprender a aprender de manera autónoma, regida por sus propios juicios de metamemoria (Montenegro, 2004).

En general, los docentes de química pueden brindar un mayor apoyo a sus estudiantes durante sus procesos de aprendizaje si su labor incluye no solamente la enseñanza de esta ciencia, sino también cómo estudiarla y cómo aprenderla, una orientación más de la pedagogía de la química.

El alineamiento constructivo: de la teoría a la práctica

A partir de los planteamientos del AC, su aplicación a la enseñanza de la química conlleva una orientación hacia la planificación de la enseñanza. En esta dirección, la siguiente afirmación de Biggs y Tang (2011) es de gran

valor ilustrativo: el alineamiento constructivo no es solamente un método o un modelo para ser implementado, este proporciona un marco conceptual para reflexionar acerca de las preguntas que requieren respuestas en momentos cruciales de la enseñanza en general (p. 48).

Es este marco de referencia para la reflexión lo que, en materia de enseñanza en general y de la química en particular, lo hace prometedor: la necesidad de orientar cada vez más una docencia fundamentada en la reflexión continua sobre ella con miras a su mejoramiento permanente; la formación de maestros como profesionales reflexivos, que en cada momento estén pendientes de responder las preguntas ya planteadas: qué pretendo que mis estudiantes sepan y sepan hacer al final de mis acciones durante el semestre; cuáles son las mejores actividades que, realizadas por ellos, me permiten apoyarlos en el camino a lograrlo; y cómo sé que van en ese camino y con qué calidad lo están logrando.

En otros términos, el AC presenta una doble perspectiva al ser llevado al aula: por un lado, ofrece a los docentes un camino para planear y orientar estrategias de enseñanza y, por el otro, invita a abrir un espacio para la reflexión continua sobre cómo puedo enseñar mejor cada día, qué mejoras puedo hacer a las actividades diseñadas y cuáles son las mejores estrategias de seguimiento para conocer si mis estudiantes llegan a esos objetivos y resultados esperados.

Por su parte, y siguiendo a los mismos autores en cuanto a la incorporación del AC al aula, afirman que el AC es de sentido común. Las madres de familia, así como los instructores de conductores de carros, lo aplican todo el tiempo. ¿Cuál es el resultado esperado? Que el niño pueda amarrarse los zapatos. ¿Cuál es la actividad de enseñanza-aprendizaje? Amarrarse los zapatos. ¿Cuál es la actividad de evaluación? Qué tan bien el niño o la niña se amarra los zapatos (Biggs y Tang, 2011, p. 106).

Actividad

Objetivo específico. Relacionar algunos principios del AC con situaciones reales de la vida.

Para el caso de los instructores de conducción, mencionados en la cita anterior, identifique y explique:

a. ¿Cuál es el resultado esperado?

b. ¿Cuál es la actividad de enseñanza-aprendizaje?

c. ¿Cuál es la actividad de evaluación?

Así, para los procesos de planeación del tratamiento didáctico de un tema, de un curso o incluso de un plan de estudios, se apela a la taxonomía SOLO, al modelo 3P y a las llamadas didácticas activas como expresiones de las acciones de preparación, enseñanza, aprendizaje y evaluación, tal como se describe e ilustra en los numerales siguientes.

Ahora bien, en coherencia con los planteamientos de Biggs y Tang, se acepta que el AC acompaña actividades de sentido común; sin embargo, su puesta en práctica no necesariamente resulta fácil e inmediata, pues se requieren altos niveles de compromiso y preparación profesional de los docentes, junto con la voluntad expresa y decidida de las instituciones educativas, particularmente aquellas responsables de la formación docente, para su implementación con perspectivas duraderas.

En realidad, esta no es una situación única del AC, pues, como lo han destacado otros autores, la incorporación de perspectivas innovadoras y reformas educativas suele venir acompañada de ciertos niveles de resistencia. En este sentido, Porlán afirma:

Es muy común que en los primeros envites, durante la acción, los docentes noveles se vean desbordados por tamaño reto y se activen las rutinas tradicionales para no perder el control de la clase, y que, al poco, para superar la frustración, acaben asumiendo que las *teorías modernas* son irrealizables, y al cabo de algún tiempo más acaben *pensando cómo actúan* y no *actuando como pensaban*, con lo que el ciclo reproductivo se habrá completado y reforzado. (Porlán, 2018, p. 8)

Esquema general para la preparación de clase

La estructura general de una sesión de clase puede pensarse en forma cíclica a partir de las tres etapas propuestas en el modelo 3P y de las actividades respectivas que se preparen para cada una de ellas. Esto es: una primera fase de preparación, una segunda de proceso y una tercera de verificación y validación conjunta con los estudiantes de los productos esperados como resultados acordados.

De conformidad con la naturaleza y el cubrimiento que se requiera o se deba hacer para el tratamiento de un tema, estas tres etapas se repiten en forma de ciclo, ya sea para una unidad preparada como parte del tema o para la enseñanza de un tema dentro de un curso.

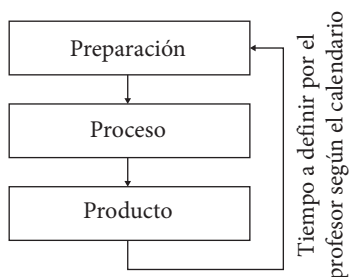


Figura 27. Síntesis del modelo 3P simplificado, aplicado a la enseñanza de la química

Fuente: elaboración propia.

Actividades de preparación

Con anterioridad a enseñar química a un estudiante o grupo de ellos, es pertinente que el docente haga todo lo posible por conocerlos lo más de cerca que pueda. Por esta razón, en esta primera etapa de la enseñanza, al comienzo de un semestre o de un curso, es importante que el docente dedique algún tiempo a conocer a los participantes. Puesto que este proceso podría tomar demasiado tiempo para realizar entrevistas individuales, es posible apelar a medios indirectos para recoger, al menos, alguna información básica sobre quienes se han matriculado en el curso.

En todo momento estas actividades buscan, por una parte, conocer a los miembros del grupo y, a partir de allí, orientarlos en la preparación de su mente para el proceso que comienza; por otra, generar expectativas de largo alcance en los estudiantes. Esta perspectiva debería mantenerse a lo largo de todo el curso como una de sus metas ideales.

En principio, todas estas actividades y la puesta en común de sus resultados apuntan directamente a construir un clima de enseñanza-aprendizaje en el que este último proceso ocurra con mayor probabilidad, es decir, generar un ambiente de trabajo académico activo y colegiado donde los estudiantes puedan emprender la construcción de sus conocimientos.

En la dirección de conocer a los estudiantes, viene bien la realización de actividades y la recolección de datos en relación con: los conocimientos previos y sus intereses particulares en el aprendizaje de determinados temas o procedimientos, las razones que tienen para participar en ese curso y la motivación para el estudio de la química, entre otros aspectos.

Cuando se realizan actividades como las mencionadas, es pertinente tener en cuenta el poder discriminatorio de la terminología. Por ejemplo, aun con la discusión existente al respecto, se considera necesario diferenciar entre una prueba de conocimientos previos y una de ideas previas. Una del primer tipo, en coherencia con su denominación, se refiere a aquellos conocimientos de la química que, por haber sido objeto de estudio en períodos escolares anteriores —para la mayoría de los estudiantes en la educación secundaria—, ya han construido voluntariamente un significado en el contexto de esta ciencia y cuentan con ellos en su estructura cognitiva. Estos conocimientos podrían desempeñar más adelante la función de conceptos nucleares.

Un aspecto a tener presente al elaborar las pruebas de conocimientos previos es el nivel de complejidad de las preguntas y la naturaleza de los tópicos. En este sentido, no parece una buena idea hacer preguntas de conocimiento sobre los temas que se les va a enseñar, pues no sería sorprendente encontrar como resultado un alto número de respuestas en blanco por razones obvias.

Los conceptos que cada estudiante ha construido, principalmente en el contexto escolar, mantienen con claridad en su mente el poder de discriminación que los caracteriza. Es decir, cada estudiante sabe qué es particular de cada concepto y qué comparte con otros. Por ejemplo, en los conceptos de elemento y compuesto, el significado discriminatorio construido por cada estudiante le permitirá explicar cómo un elemento —a manera de ilustración, el oxígeno, del cual dependemos los seres humanos para respirar— está constituido por la misma clase de átomos. Mientras

tanto, el oxígeno combinado con el hidrógeno para producir agua, si bien conserva los mismos átomos como elemento en su interior, luego de su combinación con el hidrógeno deja su propiedad de ser combustible y adquiere, con este elemento, la propiedad de no combustión e incluso la de detenerla.

Tenga presente, además, como docente, que los conceptos químicos, debido a la concreción con la cual se definen, son mutuamente excluyentes. Esto significa que cuando se selecciona un ejemplo para ilustrar un concepto, este no puede ser ejemplo de otro. Si se selecciona el oxígeno como ejemplo de elemento, no puede emplearse cuando forma parte de un compuesto; si se selecciona el cloro como ejemplo de otro elemento, no puede servir como ilustración del cloruro de hidrógeno.

Este razonamiento, en procura de orientar a los estudiantes hacia la “lectura interpretativa” de la química a nivel abstracto —submicroscópico, debería decirse—, se lleva a cabo en el aula con muy poca frecuencia; sin embargo, es fundamental para contrarrestar la concepción de una química atórica y cargada de conocimiento e interpretación meramente a nivel macroscópico. Por esta vía se procura desvanecer lentamente una de las imágenes distorsionadas de la ciencia (Furió, 2007).

Así mismo, para tener una idea de los intereses particulares por algunos temas o por su enseñanza, es posible, a partir de una presentación global de los contenidos objeto del curso al comienzo, concertar con los estudiantes un orden de prioridad o el desarrollo de unos temas con más profundidad que otros. Esta aproximación es una buena alternativa en ambientes como el colombiano, en los cuales, por distintas razones, los calendarios académicos se ven interrumpidos continuamente. Alternativamente, una pequeña encuesta fundamentada en el currículo correspondiente, que permita a los estudiantes señalar sus temas preferidos, podría ser otro buen apoyo. En algunas oportunidades, al acompañar este procedimiento, he observado que la tendencia al desinterés y la poca motivación

por la clase tienden a desvanecerse, quizá porque la clase se convierte en una respuesta a los intereses propios de los estudiantes.

Aproximaciones semejantes pueden emplearse para indagar las preferencias y las razones por las cuales se está en el curso o los niveles de motivación para estudiar los temas.

Se trata, básicamente, de diseñar actividades que, desarrolladas por los alumnos, preparen su mente para que se comprometan plenamente con el aprendizaje. En la figura 28 se presentan algunos de los aspectos sobre los cuales se sugiere indagar en las actividades de preparación.

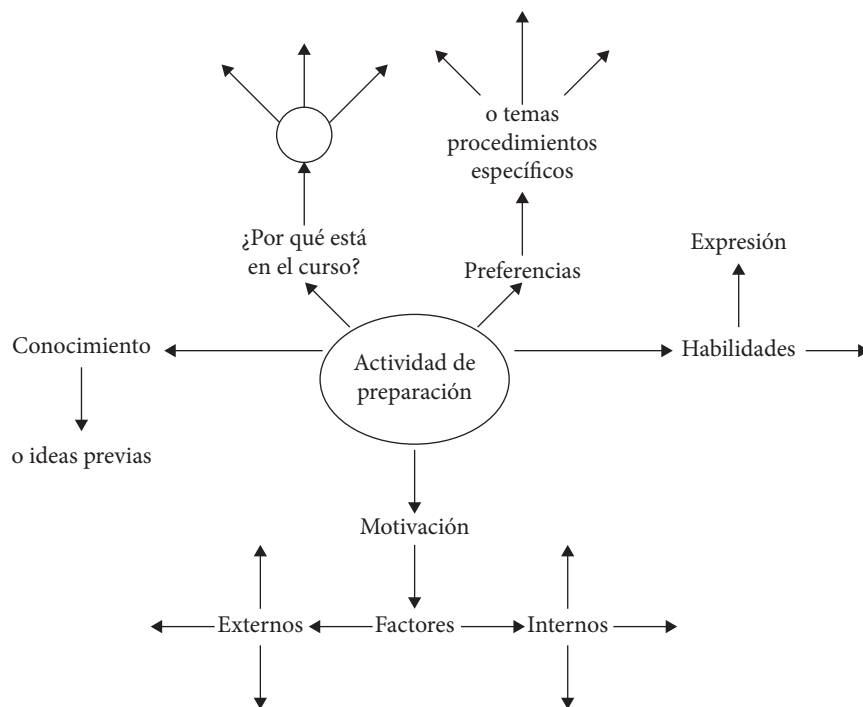


Figura 28. Aspectos relevantes a tener en cuenta sobre el conocimiento de los estudiantes

Fuente: elaboración propia.

Actividad

Objetivo específico. Completar con significado alguna información faltante en un diagrama.

Tomando como base la figura 28, siga cada una de las rutas indicadas por las flechas y ubique sobre ellas algunos conectores que le permitan dar sentido a las relaciones y transformar tres de esas rutas en un pequeño párrafo. Escríbalo a continuación:

Para las rutas donde aparecen flechas sin indicación, escriba algunos aspectos que considere apropiados para completar el diagrama.

Actividades de proceso

Esta fase representa, en realidad, el desarrollo o ejecución en el aula de lo planeado tanto desde las estrategias de enseñanza como desde la estructura de los contenidos a enseñar, es decir, desde el currículo. Seguramente, esta etapa no siempre está totalmente bajo el control de los docentes en su clase; para el caso de la educación básica, por ejemplo, las aproximaciones temáticas y de enseñanza están enmarcadas en la normatividad respectiva: Gobierno Colombiano, Colombia Aprende (2016), en los derechos básicos de aprendizaje de los niños, y en los señalados en la *Serie de guías n.º 7: Estándares de competencias* (Ministerio de Educación Nacional, 2004).

Si las actividades de preparación tienen por objetivo apoyar a los participantes a disponer su mente para el aprendizaje e invitarlos a comprometerse con el proceso mediante la generación de expectativas y motivación, las de proceso tienen como meta acompañar y dirigir, en el aula, el trabajo de los estudiantes para lograrlo.

Por tanto, no basta con que el docente diseñe buenas actividades de enseñanza-aprendizaje; es preciso acompañar, dirigir y valorar el proceso, para estar alerta en qué medida se avanza hacia la obtención de los productos esperados y, sobre todo, acompañar a los estudiantes que progresan a un ritmo menor que la mayoría del curso. Este acompañamiento implica, en algunos momentos, su intervención al comienzo de una actividad para suministrar información teórica relacionada con ella, en una exposición breve.

Si bien estos procesos se han venido realizando de manera tradicional, en la actualidad existen variables ya mencionadas cuya influencia exige repensar lo que se hace en el aula y la manera de hacerlo. Así, por ejemplo, es necesario incorporar al aula la velocidad de acceso a la información, el tratamiento del silencio por parte de los estudiantes, el trabajo colaborativo en pequeños grupos donde se discutan con argumentos los temas objeto de estudio y, ante todo, incorporar la actividad de los alumnos.

En relación con la velocidad de acceso a la información, es preciso reconocer que los celulares representan un canal inmediato; así mismo, lo son otros canales tecnológicos por los cuales circula el flujo informativo: plataformas de enseñanza, YouTube, videos, películas y, más recientemente, diferentes escenarios de inteligencia artificial a los que acuden los estudiantes, sobre todo en momentos de apuro, como cuando se acerca la fecha de entrega de un trabajo. Desde este punto de vista, forma parte aún del complejo proceso mediante el cual cada individuo convierte la información que recibe en conocimiento el esquema cíclico que se presenta a continuación.

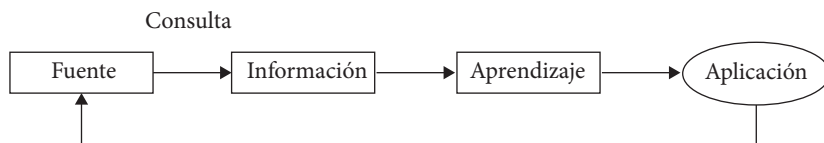


Figura 29. Dinámica de la búsqueda de información, su transformación en conocimiento y aplicación

Fuente: elaboración propia.

El proceso representado en la figura 29 muestra cómo, en la actualidad, los estudiantes oyen en el aula una información, término o expresión química —por ejemplo—, la consultan en el celular (o en otro equipo), la asocian en su mente al origen de la misma, le asignan significado, así sea de forma transitoria, y a manera de aprendizaje procuran su aplicación o uso inmediato en el contexto donde lo percibieron. Nótese que, en principio, se trata de un “conocimiento” transeúnte, que solo se transformará en significativo si quien lo construye aplica sobre esta información su voluntad de aprenderlo, por lo general orientado por el docente.

En ese instante, la participación del maestro es fundamental para orientar la construcción de relaciones significativas por parte de los estudiantes con miras a lograr un aprendizaje en términos de Ausubel (1968).

En relación con el silencio en el aula, en nuestro contexto no es necesario adelantar complejos procesos de observación para percibir lo poco que un docente logra solicitando la atención de sus estudiantes; ellos están pendientes de otros intereses, como los trabajos en grupo, y en general atentos a la actividad. Encuentran tediosas las clases pasivas y de poca interacción entre ellos. Bien pareciera que el aislamiento que ocasiona la concentración en los celulares y la participación en las redes sociales no les permitiera, ni por un momento en el aula, procurar interlocución con los compañeros o con el docente.

Lejos de considerar este ambiente como mezquino o inapropiado para enseñar y aprender, un docente atento puede tomarlo como base para el

ejercicio de su profesión, promoviendo el trabajo en equipo e incorporando el celular a la clase como recurso informativo en momentos oportunos y pertinentes, esto es, su consulta para un propósito didáctico específico.

En el corazón de la enseñanza fundamentada en el AC está la transformación completa de las aulas en espacios de trabajo activo. Es pertinente, sin embargo, tener presente que la mencionada transformación no puede confundirse con un espacio meramente de activismo, es decir, realizar actividades por hacerlas; la enseñanza alineada exige que cada actividad forme parte de una sucesión orientada hacia la obtención de los mismos productos, de manera que cada una contribuya al avance hacia los resultados de llegada establecidos desde el comienzo del curso.

Un docente de química debe conocer la mayor variedad posible de estrategias de enseñanza y, ante todo, valorar en un momento y contexto determinados aquellas que le pueden ser de mayor utilidad, teniendo presente que unas son más adecuadas que otras para ciertos temas y estudiantes.

En este sentido, una buena descripción de las principales estrategias asociadas a la enseñanza de las ciencias se encuentra en el resumen realizado por el australiano Treagust (2007) para el *Handbook of Research in Science Education*. De conformidad con este autor, forman parte del compendio de recomendaciones y modelos de enseñanza de la química las demostraciones por parte del docente en los laboratorios, así como el uso de procesos de inducción y deducción. De esta revisión se extrae, como generalización, que a pesar de las transformaciones y aportes de diversas investigaciones en educación en química, las prácticas tradicionales de enseñanza —como las guías de laboratorio, la clase magistral o las proyecciones de videos y películas— aún se adelantan en las clases, cada vez más apoyadas por medios tecnológicos y en contextos virtuales.

A las formas mencionadas anteriormente, quizá sea necesario adicionar en la actualidad una enseñanza de naturaleza más sistemática, centrada en la dedicación y el profesionalismo de los docentes, en la responsabilidad

de los estudiantes y en la recolección continua de información acerca de los logros parciales que se vayan alcanzando con fines de mostrar evidencias del camino recorrido hacia los resultados pactados y esperados.

En esta orientación, resultan ser un apoyo continuo instrumentos como: portafolios, diccionarios personalizados de aprendizaje, hojas de trabajo diseñadas para diligenciar durante la clase, miniproyectos, proyectos, diarios de aprendizaje individuales y colectivos, rejillas y *test* de asociación, algunos de los cuales se describen a continuación.

Portafolios. Según Biggs y Tang (2011), los portafolios se originaron, al parecer, en las escuelas elementales canadienses, donde por primera vez el profesor Biggs entró en contacto con ellos. Como colección de evidencias del trabajo y los productos de los estudiantes, cada vez son más frecuentes en el aula, acompañando la perspectiva de una docencia basada en resultados.

Su apoyo al aprendizaje de la química radica, básicamente, en la posibilidad que brindan para consignar en ellos las evidencias o productos parciales, iniciales y finales de un curso que se ha seguido para cada estudiante o grupo de ellos.

Puesto que, una vez diseñados por el docente —o incluso mejor, auto-diseñados por los mismos estudiantes—, facilitan su diligenciamiento por parte de cada participante, estos portafolios se convierten en verdaderas fuentes de información, sobre cuyo análisis el docente puede valorar avances de sus autores hacia una meta establecida o introducir correcciones en el proceso, si son necesarias.

Sistemáticamente diligenciados para un determinado curso, los portafolios ayudan a los docentes a llevar un seguimiento minucioso de su desarrollo desde la concepción hasta la terminación, y a los estudiantes a desarrollar la habilidad de seleccionar información relevante y sintetizarla. De esta manera, además de ser una fuente de información, son también

escenarios para fortalecer el crecimiento de habilidades de pensamiento, tales como seleccionar y sintetizar, o incluso instrumentos de recolección de datos con fines investigativos.

En la figura 30 se ilustra un posible modelo para su diseño. Es pertinente tener en cuenta que los portafolios se pueden llevar físicamente o de forma digital, con las adecuaciones pertinentes de la información que se quiere o se debe consignar en ellos.

Nombre de la institución:

Nombre del espacio académico:

Nombre del docente:

Nombre del/los estudiante(s):

Datos generales de la experiencia educativa:

Duración del espacio académico:

Período académico:

Fecha de inicio del curso:

Fecha de terminación:

Tema:

Tiempo asignado para su desarrollo:

Horas semanales: Horas presenciales:

Horas independientes:

Horas semanales: semestrales:

Objetivos generales del curso:

Actividades de preparación:

Actividades de proceso:

Despliegue a continuación periódicamente toda la información correspondiente a los desarrollos del curso de conformidad con los respectivos avances. No olvide ubicar fecha de cada anotación, ilustraciones de procesos, párrafos de síntesis, aspectos positivos y negativos para cada actividad.

Descriptores Descripciones	Elementos conocidos	Elementos nuevos	Qué aprendí hoy	Qué debo consultar más	Otras observaciones
Sesión 1					
Sesión 2					
“					
“					
“					

Figura 30. Modelo de portafolio para el seguimiento del desarrollo de un curso

Fuente: elaboración propia.

Puesto que se trata de un documento que se va diligenciando y completando en la medida en que avanza el curso, se necesita sintetizar gran cantidad de información y un alto nivel de compromiso, constancia y disciplina de quienes lo elaboran.

Diccionarios personalizados. Como su nombre lo indica, son instrumentos llevados en físico o en forma digital que cumplen, por lo menos, dos funciones: la primera, de naturaleza formativa e instructiva; la segunda, apoyar a los docentes y estudiantes en el conocimiento de su evolución hacia convertirse en buenos lectores; esto es, lectores que disfruten el placer de leer y aprender de los textos leídos.

La segunda función, de carácter instructivo y de aprendizaje propiamente dicho, le permite al autor sintetizar y representar, por alguno de sus

medios de comunicación, las ideas centrales del texto o del evento académico y mantenerlas a mano para cualquier eventualidad que las requiera, o simplemente como proceso para enriquecer su saber.

En los términos anteriores, un diccionario personalizado, sistemáticamente diligenciado por un buen lector, constituye un medio para avanzar hacia su desarrollo personal e intelectual. Permite dejar por escrito y reflexionar acerca de los incidentes más importantes y significativos que ocurren durante sus estudios o en una etapa de ellos —por ejemplo, una conferencia—.

Volviendo sobre lo consignado en el diccionario, al final de la lectura de cada libro o curso el estudiante puede autoevaluarse en el aprendizaje de la terminología empleada por el autor del texto o de la actividad atendida, y repasar una síntesis de sus ideas fuerza. Aplicada esta idea al ámbito del aprendizaje de la química, al final de un curso cada estudiante que lo lleve tendrá una fuente propia de consulta de la terminología química asociada al o a los temas desarrollados. En este caso, podría ser, además, una forma de aprender la nomenclatura química más allá de la manera usual en que muchas veces se aborda, centrada en el tratamiento de la nomenclatura como un subtema separado de la enseñanza y el aprendizaje del tema al cual se refiere esta fase simbólica de la química.

En la figura 31 se ilustra un posible diseño de diccionarios personalizados de aprendizaje. Los interesados en el estudio de los diccionarios personales pueden acudir al trabajo de Cortés y Pinzón, quienes los han trabajado en el campo de la enseñanza y el aprendizaje del inglés como lengua extranjera (Cortés y Pinzón, 2008).

Hojas de trabajo y diarios personalizados de aprendizaje.

Nombre de la institución:

Nombre del espacio académico:

Nombre del docente:

Nombre del(los) estudiante(s):

Datos generales de la experiencia educativa

Duración del espacio académico:

Período académico:

Fecha de inicio del curso:

Fecha de terminación:

Tema:

Tiempo asignado para su desarrollo

Horas semanales:

Horas presenciales:

Horas independientes:

Horas semanales:

Horas semestrales:

Objetivos generales del curso o de la actividad:

Introducción. La presente hoja ha sido diseñada para apoyarlo en la ruta que usted sigue para aprender y tomar notas en clase. Por favor diligénciela a medida que transcurre la experiencia.

Descriptores Descripciones	Terminología nueva	Contexto química	Significado	Sistema de nomenclatura	Otros comentarios

Figura 31. Esquema general de una hoja de trabajo para diligenciar por los participantes de un curso durante la fase de proceso

Fuente: elaboración propia.

Diario personalizado de aprendizaje. En la perspectiva de mantener una clase lo más activa y dinámica posible, en un momento dado, por ejemplo, cuando por pertinencia en el desarrollo de un tema se requiere o se hace uso de la proyección de un video o de una película —ante lo cual, como afirma Serres (2014), usualmente los asistentes optan por una posición de espectadores—, el docente y los estudiantes pueden diseñar una hoja a manera de diario de aprendizaje, como la que se ilustra en la figura 32. En ella, a medida que transcurre la presentación o la clase, los estudiantes, individualmente o en grupos pequeños, van consignando las ideas principales de la proyección o de la clase.

Terminada la actividad, se puede tomar un tiempo para que los estudiantes analicen sus ideas consignadas y luego, en plenaria, cada grupo o cada estudiante comparta esos avances con el fin de extraer, del video o de la película, alguna generalización o incluso conclusión relacionada con el tema de la clase dentro de la cual se realizó la actividad. En estos casos, el docente ha de estar muy atento para centrar la discusión en el tema en desarrollo y evitar o, por lo menos, limitar la posibilidad de abordar cuestiones poco pertinentes a la actividad, situación muy frecuente en el contexto educativo colombiano.

Introducción. Consigne de manera periódica en un formato como este sus aprendizajes significativos logrados, los tópicos que requieren más consulta y dedicación para aprenderlos; eventualmente algunas preguntas para la siguiente clase o para una tutoría con su docente. Entre las otras observaciones no deje de incluir eventuales sugerencias para mejorar la actividad comentada.

Descriptores Descripciones	Tópico desarrollado	Lo que aprendí significativamente	Lo que no me quedó claro	Lo que debo consultar	Otras observaciones de interés
Fechas de las actividades					
Actividad 1					
Actividad 2					
“					
“					

Figura 32. Modelo para el diseño de un diario personal de aprendizaje

Fuente: elaboración propia.

Si el diligenciamiento del formato anterior se lleva a cabo en todas o la mayoría de las clases durante el período académico, se trata de un diario de aprendizaje personalizado propiamente dicho. Alternativamente, si solo se usa en algunas ocasiones puede considerarse una hoja de trabajo (ver la figura 31). Al final del período académico, se tendrá una serie de estos formatos, cuya información es útil para propósitos evaluativos, tanto de los autores como del currículo y de la enseñanza como tal. Otra información sobre la aplicación y uso de los diarios personales de aprendizaje puede consultarse en el trabajo de pregrado de Bohórquez y Castelblanco (2021).

Lo anterior sin mencionar el uso potencial de estas colecciones de evidencias para efectos de dar cuenta de lo realizado en el aula y de los resultados del proceso de trabajo en las clases ante posibles evaluadores externos de programas con perspectivas de registros calificados y acreditaciones de alta calidad.

Obsérvese que, si como docente se tiene interés en adelantar investigación en el aula, estos instrumentos son también formas de recoger información en un proyecto de investigación semestral o anual.

Miniproyectos. Los miniproyectos fueron propuestos por Hadden y Johnstone hacia finales de los años ochenta y principios de los noventa (Hadden y Johnstone, 1989, 1990) como una alternativa para enseñar química. En el contexto de una docencia alineada, esta aproximación para el tratamiento de la dimensión experimental se presenta como una gran potencialidad, en la medida en que pueden ser diseñados por los docentes para temas y contextos específicos en el aula.

Representan puntos centrales de concurrencia de conceptos y, por tanto, se convierten en escenarios para el ejercicio reflexivo del establecimiento de relaciones interpretativas de la química tanto a nivel del macromundo como del micromundo o mundo submicroscópico. Son potencialmente actividades o eventos nucleares de partida en un momento dado.

Comparten con otras aproximaciones de las didácticas activas la necesidad de que los estudiantes estén siempre activos y comprometidos con la relación teoría-práctica; en efecto, a su realización le antecede un contexto teórico tratado en el aula, de esta manera el número de consultas al docente tiende a disminuir.

Estimulan el desarrollo de la capacidad para el trabajo independiente, la selección específica de información, su aprendizaje y aplicación en busca de la respectiva respuesta.

En la medida en que cada estudiante o grupo toma sus propios datos, los depura y analiza, va desarrollando la capacidad de organizar datos, tabularlos y analizarlos en busca de posibles generalizaciones o conclusiones. Representan, además, excelentes oportunidades para el desarrollo de formas de pensar, interpretar y comunicar alternativas de solución a pequeños proyectos en el laboratorio.

En la Figura 33 se representa una visión panorámica de los miniproyectos como centro de enseñanza-aprendizaje de algunos temas experimentales en química. Un diagrama como el que se ilustra en la figura mencionada bien puede ser utilizado en clase por el docente para introducir de manera breve aspectos particulares de un curso o un tema. También puede servir para organizar una sesión de debate sobre este tema o para una síntesis de un trabajo mucho más amplio, como una investigación a partir de su desarrollo y aplicación en todo un curso y durante el período académico respectivo.

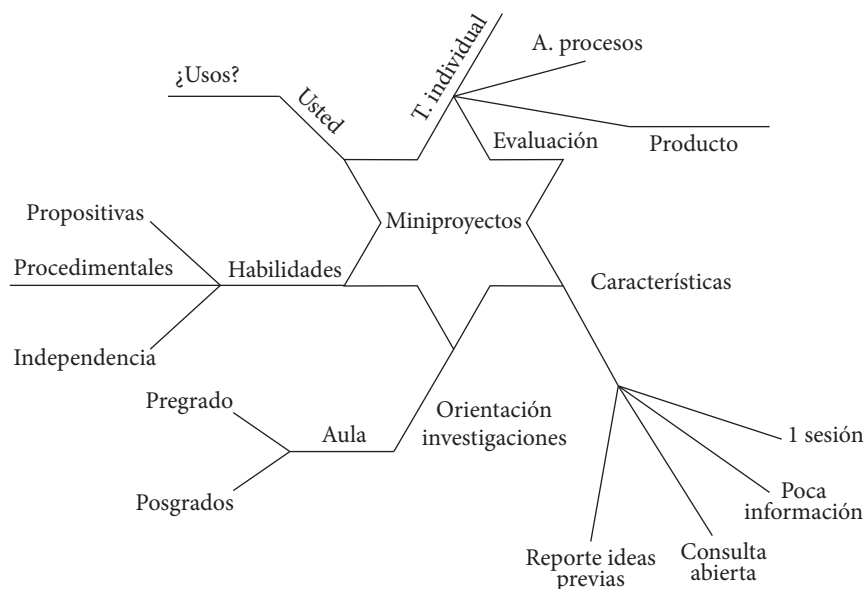


Figura 33. Panorama de los miniproyectos como punto orientador de la experimentación en química

Fuente: elaboración propia.

Las rejillas de conceptos. De origen inserto en la psicología de los constructos personales de Kelly, la técnica de la rejilla emerge como una aproximación a la evaluación psicológica (Rivas *et al.*, 2002). En realidad, y de conformidad con los mismos autores, lo que hoy se conoce como

rejilla es una proyección de un *test* originalmente concebido por Kelly para establecer mediciones de las relaciones entre los constructos de rol que ejercen las personas en contextos sociales determinados. En palabras de los autores:

Más que una prueba, podemos definir a la rejilla como una metodología extremadamente versátil que permite el uso de muchos sistemas diferentes de elementos, constructos y escalas de puntuación. Es esta gran flexibilidad de la técnica lo que hace de ella algo más que un instrumento particular de una teoría determinada, algo más que un instrumento pensado para contextos culturales determinados, ya que es una técnica vacía de contenido. (Rivas *et al.*, 2002, p. 15)

Quizá, apoyado en estas características de la técnica —su flexibilidad para facilitar el uso de diferentes sistemas de elementos y constructos, al ser un instrumento “vacío de contenido”— fue lo que llevó a Alex Johnston y a su grupo de investigación en el Centro para la Educación en Ciencias de la Universidad de Glasgow a trasladar la idea de la psicología al campo de la enseñanza de la química y aplicarla, con las debidas adaptaciones, no solamente como forma de evaluar, sino también como estrategia de enseñanza.

Fue allí, en el mencionado centro, donde, gracias a una pasantía, tuve la oportunidad de presenciar su uso en el aula junto con los *test* de asociación, como escenarios de enseñanza y en la evaluación de conceptos químicos. Ya en el contexto de la educación en química, las rejillas se han incluido en trabajos anteriores, básicamente con propósitos de enseñanza y evaluación (Cárdenas, 1990; Cárdenas y Gélvez, 2008; Cárdenas y Gélvez, 2008a; Cárdenas *et al.*, 2009, 2009a, 2009b, 2009c).

Como escenario para presentar a los estudiantes información básica en la ejecución de actividades de enseñanza-aprendizaje encaminadas al logro de un resultado específico previamente acordado, las rejillas ofrecen perspectivas para el desarrollo de operaciones de pensamiento como

identificar, comparar, aplicar e interpretar conceptos químicos. En otros términos, permiten propender por el mejoramiento de las llamadas operaciones cognitivas de orden básico según la taxonomía SOLO.

En relación con su construcción y aplicación en el aula, es conveniente tener presente algunas recomendaciones derivadas de la experiencia del autor en su práctica docente:

1. El número de casillas depende del grado escolar al cual está dirigida la actividad y del tema sobre el que versa. Usualmente, para comenzar es conveniente construir rejillas de 4 a 6 casillas y, con la práctica, hasta 9. Una rejilla con mayor número de casillas parece muy densa en información y tiende a desmotivar a los estudiantes.
2. Puesto que se trabaja en química, la identificación de cada casilla suele hacerse con números arábigos o romanos, no con letras, ya que estas pueden conducir a interpretaciones equívocas por parte de los estudiantes, quienes podrían considerarlas como símbolos de elementos químicos. Esto cobra particular importancia cuando se utilizan con fines evaluativos.
3. Con respecto al tipo de información a incluir, no parece haber restricción en cuanto a su forma: pueden incorporarse ecuaciones químicas, imágenes, símbolos de elementos, fórmulas, ecuaciones matemáticas e incluso fracciones de mapas conceptuales u otras representaciones visuales.
4. En el contexto del AC, se convierten en un escenario de acción para los estudiantes, quienes se ejercitan en diferentes formas de interactuar con los contenidos de la química. Hacen algo con la información dada, la relacionan, la aplican, realizan cálculos y, en general, operan cognitivamente con ella. En términos más coloquiales, son un tablero de manejo de información.

5. Así, en un momento dado, una rejilla puede ser un instrumento de evaluación, un producto o un escenario para dirigir una clase, según el criterio de cada docente y la naturaleza del tema en desarrollo.

En la figura 34 se ilustra un ejemplo de rejilla que puede ser utilizada con fines de evaluación, como apertura de una clase magistral, como trabajo independiente o para mostrar una panorámica de los temas a tratar en un momento dado.

Actividad

Objetivo específico. Analizar y relacionar información química presentada en una visual con el desarrollo de operaciones cognitivas.

Analice detenidamente la información presente en la siguiente rejilla y plantee algunos ejercicios en los cuales se haga uso de operaciones cognitivas como interpretar, comparar, clasificar y comunicar información química.

1 Dos pares de electrones libres	2 NH_3	3 B_2H_6
4 $1s^2 2s^2 2p^2$	5 Un par de electrones libres	6 CH_4
7 H_2O	8 sp^1	9 16g

Figura 34. Rejilla de conceptos para fortalecer operaciones cognitivas básicas en química

Fuente: elaboración propia.

Redacte por lo menos tres ejercicios derivados de la información incluida en la figura 34 y escríbalos en los siguientes espacios:

- a.
- b.
- c.

Los *test* de asociación. Usualmente, el escenario implica la presentación de información química en dos columnas, de tal manera que la de la primera esté asociada con los datos incluidos en la segunda. El estudiante debe trazar líneas entre ambas columnas, mostrando la relación que, de conformidad con sus conocimientos, haya construido en su mente. En nuestro contexto, por lo general, se denominan pruebas de apareamiento.

En otra aplicación, diferente a la descrita, los *test* de asociación también se emplean con fines evaluativos: se presenta a los estudiantes una lista de conceptos químicos en pares o tripletas, y se les solicita elaborar una oración o un párrafo empleando dichos conceptos, bajo la condición de que la construcción tenga sentido en el contexto del tema objeto de la evaluación.

Actividad

Objetivo específico. Proponer y formular ejercicios de *test* de asociación a partir de una lista dada de términos y expresiones químicas.

Dada la siguiente serie de conceptos y expresiones: elemento, compuesto, métodos físicos de separación, decantación, mezcla heterogénea:

- a. Reagrúpelos de a dos y de a tres según su criterio.

- b. Escriba a continuación, con cada par y cada triplete, una oración que tenga sentido en el contexto de la química.

- c. Elabore un párrafo en el cual incluya todos los términos y expresiones dados, asegurando coherencia y pertinencia en el contexto químico.

Obsérvese que el desarrollo de la actividad anterior implica el ejercicio de operaciones de pensamiento de complejidad creciente, entre ellas clasificar, asociar y comunicar. Las operaciones cognitivas de más alto nivel exigidas están asociadas con la resolución de la parte c de la actividad.

Una actividad semejante puede encomendarse a los estudiantes a un nivel de mayor exigencia como *test* ya no de asociación de términos, sino de ideas o teorías. Así, por ejemplo, se les puede solicitar que escriban un párrafo relacionando la teoría corpuscular de la materia con los sólidos y líquidos.

La estrategia I4C. En los términos propuestos por Umbarila y Cárdenas, la estrategia I4C ha sido diseñada como una de las aproximaciones didácticas activas para el desarrollo de operaciones cognitivas, en principio de orden básico, atendiendo a los niveles de la taxonomía SOLO y a los estándares de ciencias naturales dados por el Ministerio de Educación Nacional para los grados correspondientes a los ciclos tres, cuatro y cinco; esto es, para los grados 6.º a 11.º del nivel básico y medio de la educación, disponibles en su portal web.

La denominación I4C obedece a que, mediante ella, en el aula se propende por el fortalecimiento de cinco habilidades o acciones de pensamiento, como se nombran en los estándares de competencia. Estas son:

identificar, clasificar, comparar, cuantificar y comunicar, que coinciden de manera cercana con las operaciones cognitivas contempladas en los primeros niveles de la taxonomía propuesta por Biggs y Tang (2011). Los interesados en los detalles de su aplicación en el aula pueden consultar el artículo “La estrategia I4C: una estrategia didáctica para el desarrollo de habilidades de pensamiento y el aprendizaje de la química de los autores mencionados” (Umbarila y Cárdenas, 2023).

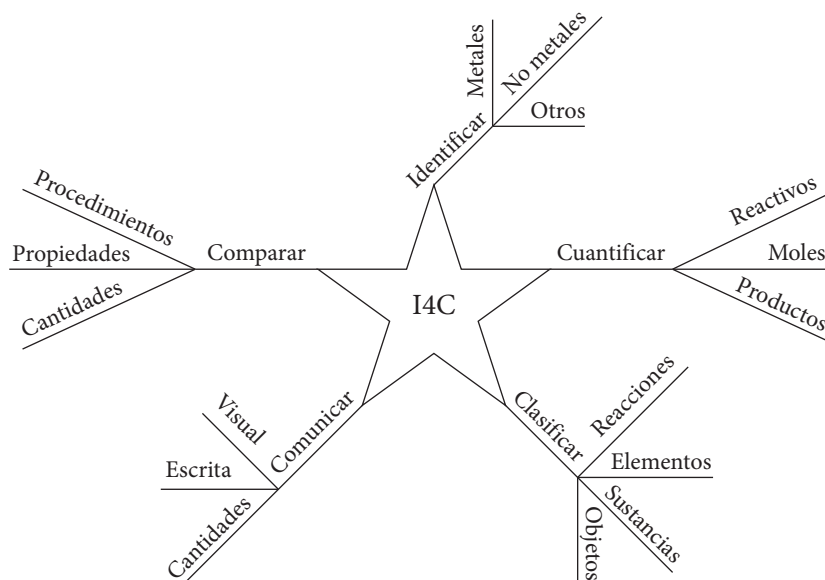


Figura 35. Visión general de la estrategia I4C y algunas ideas didácticas asociadas

Fuente: elaboración propia.

Como en el caso de los miniproyectos, la figura 35 presenta una visión condensada de la estrategia I4C y de algunas de las ideas didácticas asociadas a ella, las cuales pueden ser acogidas por los profesores de esta ciencia para su ejercicio docente. Esta estrategia puede, asimismo, utilizarse —como los miniproyectos— para presentar un tema o explicar en qué consiste una actividad de producto; en este caso, se puede asociar con una rejilla, por ejemplo.

Actividades de producto

Corresponden a las actividades de la tercera fase del modelo 3P (figura 27) y están orientadas a establecer en qué medida y con qué calidad los estudiantes alcanzaron o están alcanzando los resultados o productos acordados al comienzo de un curso o de un semestre.

Sirven para este propósito como referentes de valoración los objetivos de aprendizaje establecidos para el tema o para el curso y los estándares de evaluación propuestos y conocidos por los estudiantes desde el inicio.

Puesto que las actividades de evaluación son del mismo tipo, si no iguales, por lo menos muy parecidas, y todo el tiempo se ha trabajado en pequeños pasos hacia ese resultado final, el temor a pérdida es muy bajo o no está presente. De tal manera, la valoración de los productos finales, idealmente llevada a cabo conjuntamente con sus autores de manera individual o grupal, de conformidad con los compromisos iniciales, ha de conducir, por procesos de concertación, a un juicio conjunto de aprobación o, muy eventualmente, de no aprobación del tema o del curso.

En el contexto del AC, las acciones de evaluación se conciben más como actividades de aprendizaje que como verificación de cumplimiento de requisitos mínimos; por tanto, resultan más auténticas en el sentido de reflejar lo que realmente ha sucedido o está sucediendo en el desarrollo del curso. Bien puede seguirse para su realización un proceso como el descrito a continuación:

1. El docente recibe de parte del o de los estudiantes el producto acordado, lo revisa y emite su propio juicio acerca del mismo, teniendo en cuenta un balance racional de la calidad del producto como tal —el video, el ensayo, el artículo o la prueba— en relación con el contenido y la calidad de la presentación. Esto implica considerar tanto los aspectos formales como el nivel de complejidad de las operaciones cognitivas necesarias, por parte del estudiante, para llegar a ese producto. En esta

última dirección, ayudan bastante como insumos de análisis el diario, las hojas de trabajo, el portafolio o, incluso, el diccionario de aprendizaje llevado por cada estudiante.

Cabe aclarar que, si bien los dos elementos de evaluación a los que hace referencia el balance van íntimamente relacionados, no son lo mismo. El primero, la calidad del producto como tal, actúa como un medio, un indicativo para expresar algo más importante que se está construyendo: el desarrollo de una o varias operaciones de pensamiento, que es aquello que realmente se busca evaluar.

2. En casos en los cuales exista discrepancia entre el juicio del docente y la concertación con el estudiante o el grupo, el docente puede solicitar, una vez más, la elaboración de una mejor respuesta al compromiso, en un tiempo prudencial y de conformidad con las fechas del calendario académico.

Esta producción modificada se somete nuevamente al proceso descrito en el punto anterior. Si aún persisten desacuerdos, puede ser prudente o necesario acudir a un colega o a un grupo de la clase para revisar el producto y tomar la decisión final de forma colectiva. Es el diálogo y la concertación puestos al servicio del docente para tomar decisiones, una evaluación de cuarta generación, si se quiere, para adoptar la terminología de Guba y Lincoln (1989; Cárdenas, 2022).

Cuando este proceso se adelanta con compromiso y perspectivas de aprendizaje para la vida, se convierte, además de en un escenario de evaluación auténtica, en un espacio para reflexionar y poner en práctica los procesos internos de autoevaluación y reconocimiento del verdadero esfuerzo y dedicación hechos por cada persona para dar cuenta de una responsabilidad adquirida. Se refuerza así la capacidad personal de autoevaluación, autoconfianza y responsabilidad, y se desarrolla la capacidad de valorar con algún grado de objetividad el

nivel de satisfacción que se siente cuando se ha cumplido con el deber y del cual solo el individuo, en su interior, tiene conocimiento.

3. Esta nueva información se convierte en insumo para mejorar, de una parte, la evaluación en sí misma y, de otra, la forma de enseñar y aprender, así como la formulación de resultados o productos del aprendizaje.

Las ideas esbozadas en el párrafo anterior se sintetizan en la figura 36.

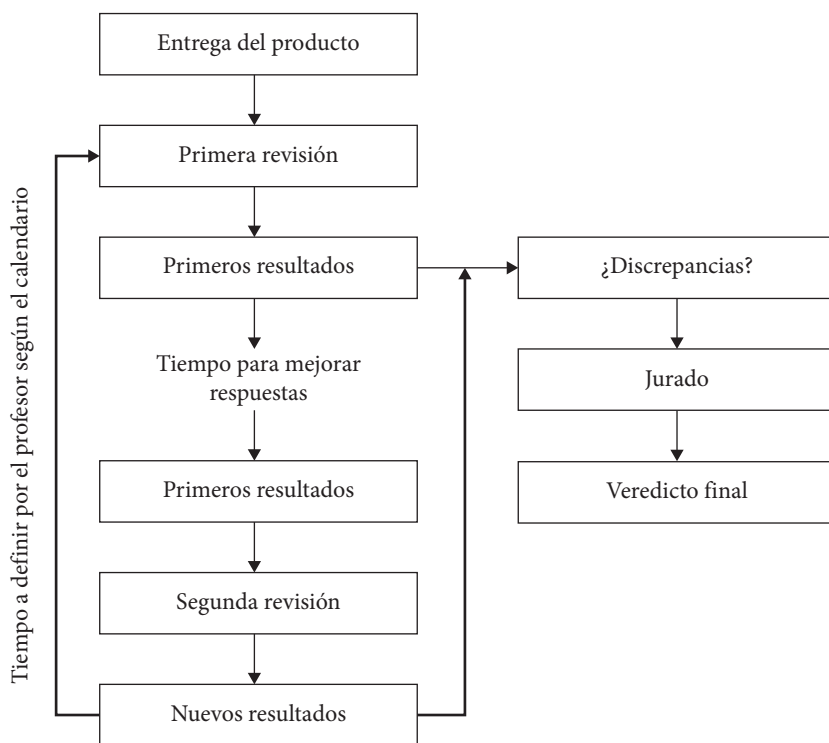


Figura 36. Diagrama para orientar una evaluación auténtica en la enseñanza de la química con base en el ac

Fuente: elaboración propia.

De conformidad con la figura 36, cumplido el tiempo de entrega del producto o productos acordados en coherencia con los respectivos objetivos para la experiencia de aprendizaje, el docente los recibe y los valora;

de esta valoración surgen unos primeros resultados que son conocidos por los estudiantes.

Luego, con el fin de responder a las posibles discrepancias con la valoración y, ante todo, con miras a recolectar información destinada al mejoramiento tanto de la prueba o producto, como ya se mencionó, estos se devuelven a los estudiantes, quienes proceden a elaborar nuevas respuestas o a dar sus propias justificaciones argumentando por qué no están de acuerdo con los primeros resultados emitidos por el docente. El docente recibe nuevamente el producto y lo revisa para dar el segundo juicio valorativo.

En caso de que persista algún desacuerdo, se procede a revisar conjuntamente con el autor o los autores las modificaciones incorporadas, preferiblemente en presencia de otro docente o de otros estudiantes que no tengan intereses en el resultado final. De esta reunión se derivan los resultados finales de valoración de los productos del curso o de la experiencia en cuestión.

Acerca del planteamiento de los objetivos observables de aprendizaje

En coherencia con los desarrollos planteados hasta ahora como orientaciones para diseñar formas de enseñar y aprender química, y con los diferentes grados de progreso en las operaciones de pensamiento propuestos en la taxonomía SOLO, a continuación, se presentan algunas apreciaciones acerca del establecimiento de resultados esperados del aprendizaje de la química en general y, de manera concreta, para la enseñanza y el aprendizaje de un tema o de un curso específico.

En términos generales, con muy pocas excepciones, si existen, e independientemente del tema o nivel de escolaridad en el cual se lleve a cabo, la enseñanza de la química conlleva una dimensión teórica y otra procedimental o experimental.

Así mismo, la química, como una aproximación construida por los científicos para explicar los fenómenos del mundo y su devenir en términos de átomos y moléculas interactuantes, se interpreta tanto en el nivel perceptible a los sentidos humanos como en el nivel abstracto o imaginario, siempre en una interacción continua, como se muestra en la figura 37.

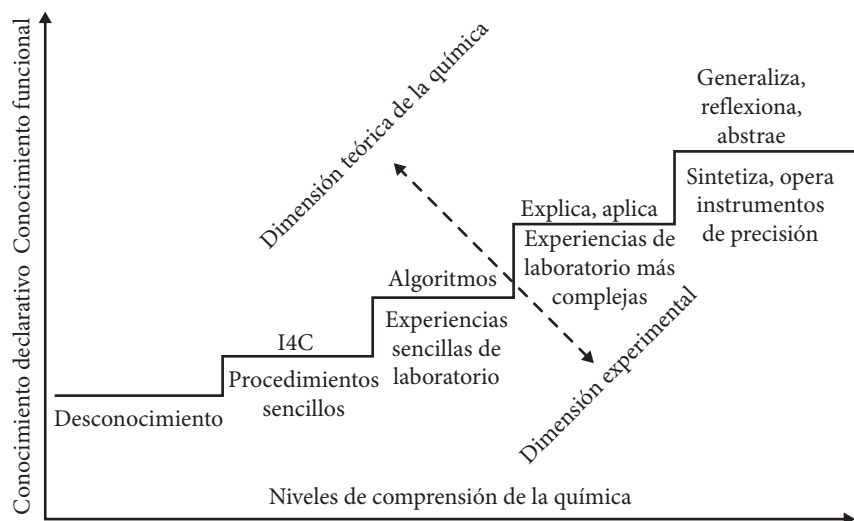


Figura 37. Dimensiones de la química y desarrollo de las operaciones cognitivas

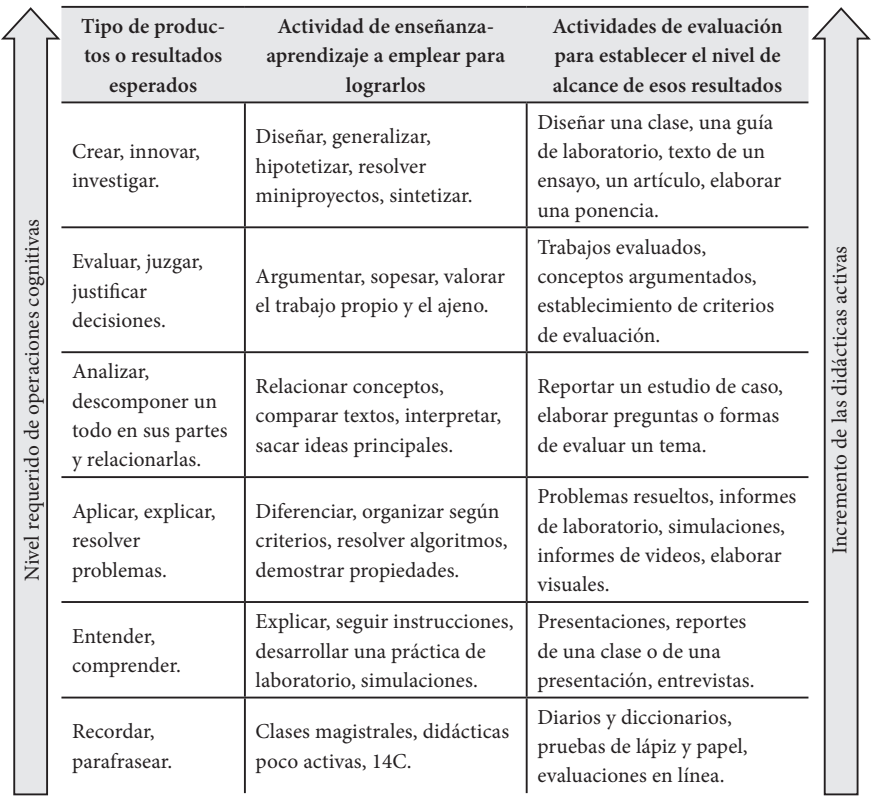
Fuente: elaboración propia.

Por otra parte, en el mismo contexto descrito, desde las estrategias de enseñanza se puede orientar un aprendizaje de los conocimientos declarativos de un tema o de un curso. Esta ha sido la aproximación predominante durante mucho tiempo y, por tanto, cuenta con una tradición muy consolidada en el medio colombiano.

Sin desconocer que la perspectiva anterior, si bien ha dado sus frutos, en la actualidad se encuentra en crisis, las demandas de competencias y de la aplicación de lo aprendido, entre muchas otras variables, reclaman un avance más allá del aprendizaje declarativo. Se demanda una perspectiva más aplicada y relacional de esta ciencia, en articulación con otros campos del conocimiento y con los entornos de las sociedades actuales.

En esta perspectiva, la búsqueda de alternativas de enseñanza que propendan por el aprendizaje de un conocimiento funcional con base en sólidos conocimientos declarativos representa una opción prometedora.

Camino a la planeación de la enseñanza de un tema de química general, por ejemplo, una buena idea es analizar las relaciones que pueden establecerse entre los diferentes objetivos de aprendizaje que se quieren lograr y las formas de evaluar esos productos esperados. En la figura 38 se ilustra un ejercicio de análisis de estas relaciones.



Tipo de productos o resultados esperados	Actividad de enseñanza-aprendizaje a emplear para lograrlos	Actividades de evaluación para establecer el nivel de alcance de esos resultados
Crear, innovar, investigar.	Diseñar, generalizar, hipotetizar, resolver miniproyectos, sintetizar.	Diseñar una clase, una guía de laboratorio, texto de un ensayo, un artículo, elaborar una ponencia.
Evaluar, juzgar, justificar decisiones.	Argumentar, sopesar, valorar el trabajo propio y el ajeno.	Trabajos evaluados, conceptos argumentados, establecimiento de criterios de evaluación.
Analizar, descomponer un todo en sus partes y relacionarlas.	Relacionar conceptos, comparar textos, interpretar, sacar ideas principales.	Reportar un estudio de caso, elaborar preguntas o formas de evaluar un tema.
Aplicar, explicar, resolver problemas.	Diferenciar, organizar según criterios, resolver algoritmos, demostrar propiedades.	Problemas resueltos, informes de laboratorio, simulaciones, informes de videos, elaborar visuales.
Entender, comprender.	Explicar, seguir instrucciones, desarrollar una práctica de laboratorio, simulaciones.	Presentaciones, reportes de una clase o de una presentación, entrevistas.
Recordar, parafrasear.	Clases magistrales, didácticas poco activas, 14C.	Diarios y diccionarios, pruebas de lápiz y papel, evaluaciones en línea.

Figura 38. Relaciones entre tipos de aprendizaje esperados, actividades de enseñanza-aprendizaje y evaluación

Fuente: elaboración propia.

En el ejercicio de interpretar la figura 38 es preciso tener presente que la información bajo la primera columna cobra sentido cuando se está enseñando un tema de química o los contenidos de un determinado curso. Así, por ejemplo, entender hace referencia a la acción de pensamiento de los estudiantes cuando aprenden las temáticas asociadas a la tabla periódica. En este caso, se espera que comprendan y den cuenta, por ejemplo, de la ubicación de los elementos C, N y O en el segundo período, con base en las respectivas notaciones espectrales; por lo tanto, este verbo debe estar enunciado en el objetivo.

De igual manera, cuando se trata de enseñar y aprender los conceptos asociados a las propiedades periódicas de los elementos, la información de la columna central se relaciona con las aproximaciones didácticas preparadas por el docente para lograr que los estudiantes lleguen a entender y, en consecuencia, a explicar la ubicación de estos tres elementos en el segundo período, tomando como punto de partida la disposición de sus electrones en los niveles 1 y 2 de energía y en sus respectivos orbitales.

En este sentido, seguir instrucciones se refiere a una situación en la cual el docente pide a los estudiantes realizar una actividad como la siguiente:

Actividad de enseñanza aprendizaje

Objetivo específico. Relacionar información química consultada acerca de algunos elementos químicos en la tabla periódica y representarlos en un diagrama.

Elabore un croquis de la tabla periódica y consulte la notación espectral de los elementos C, N y O. Analícela y, a partir del número de electrones en el nivel 2, ubique cada elemento en el período 2 y explique la razón para hacerlo. A continuación, escriba su respuesta:

De la misma manera, y en coherencia con el AC, la información presentada a la derecha en la figura 38, última columna, ha de leerse como el producto de la realización de una actividad del mismo tipo que la anterior, recibida por el docente para evaluar qué tan bien los estudiantes la han desarrollado y, ante todo, la explicación que aportan sobre las razones por las cuales establecieron esa ubicación.

En este sentido, cobra significado la expresión reporte de una clase, la cual implica que los estudiantes elaboren un escrito sobre el tema tratado en el aula y lo entreguen al docente para su evaluación. Se trata, con estas actividades, de mantener a los estudiantes en permanente actividad.

Debe tenerse presente, en el contexto de la tabla periódica, que en sus versiones recientes la distribución de los elementos se organiza en términos crecientes del número atómico, y que, por tanto, la numeración de los grupos se presenta en números arábigos.

Actividad de evaluación

Objetivo específico. Relacionar notaciones espectrales de algunos elementos entre sí y, con esta información, ubicarlos en la tabla periódica.

Dadas las siguientes notaciones espectrales $1s^22s^2 2p^5$ y $1s^22s^1$, ubique, sobre una representación visual de la tabla periódica, los elementos correspondientes. Consulte sus respectivos nombres y estado natural. Escriba a continuación los resultados de su consulta:

Tan elementales como son las actividades descritas arriba, muestran cómo están alineadas y orientadas a lograr que los estudiantes entiendan y expliquen la forma en que estos elementos químicos están posicionados en la tabla periódica siguiendo sus notaciones espectrales.

Como complemento de las actividades anteriores, parece pertinente ampliarlas y proyectarlas mediante la lectura de un libro relacionado con el tema o con el *syllabus* del espacio académico. Es aconsejable seleccionar el libro de común acuerdo con los estudiantes desde el comienzo del curso o del tema. Con esta estrategia, de una parte, se contribuye a generar en ellos expectativas de largo alcance y, de otra, se promueve la relación de la química con el pasado o con el futuro, manteniendo así su motivación por la disciplina, su aprendizaje y sus posibles aplicaciones.

Algunos ejemplos de objetivos en términos de productos esperados para el aprendizaje de algunos temas de química general

Como se ha mencionado en páginas anteriores, la formulación de los objetivos observables del aprendizaje, productos finales o resultados del estudio de un tema o de los temas de un curso corresponden a las acciones que los estudiantes deben saber y saber hacer luego de pasar por el período académico destinado para su tratamiento.

Desde este punto de vista, los objetivos han de estar redactados de tal manera que la acción expresada mediante uno o varios verbos insertos en su formulación se encuentre alineada con las estrategias didácticas planeadas y con sus correspondientes actividades de evaluación, que permitan verificar si se alcanzaron o no los resultados y en qué medida. Este alineamiento queda reflejado al incluir el mismo verbo en los tres momentos: los objetivos redactados, las actividades de enseñanza y las actividades de evaluación diseñadas por el docente. Lo anterior se representa en la figura 39.

En relación con el número de objetivos planteados para un tema o para un curso, este varía de conformidad con la naturaleza del tópico, los temas establecidos y la experiencia profesional del docente. En todo caso, es preferible pocos objetivos y bien logrados que muchos objetivos parcialmente alcanzados o con escaso seguimiento evaluativo.

Como lo reconoce Biggs, existe un compromiso entre el alcance de una enseñanza de calidad y la cantidad de temas a cubrir. Usualmente, este compromiso también incluye el de los estudiantes con el perfeccionamiento de sus operaciones cognitivas de orden superior (Biggs y Tang, 2011). En otros términos, la cobertura de muchos temas conduce generalmente hacia el aprendizaje declarativo y el enfoque superficial, mientras que la cobertura reducida, con buenas actividades asociadas a las didácticas activas y centradas en la acción de los estudiantes, propende por un conocimiento funcional mediante un enfoque profundo de aprendizaje (Soler, 2015).

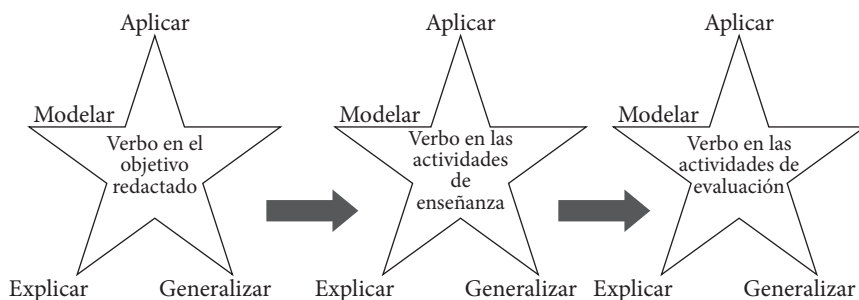


Figura 39. Relaciones entre la formulación de objetivos observables, las actividades de enseñanza y la evaluación del aprendizaje

Fuente: elaboración propia.

La observación continua del alineamiento ilustrado en la figura 39 conlleva la redacción de los objetivos en términos de aquello que los estudiantes hacen y, por tanto, los elementos de su estructura son un verbo que indica la meta o el producto a lograr, el tema dentro de la química al cual se hace referencia, el contexto en el cual se ubica ese tema y las actividades de enseñanza. Es por esto que una mirada relacional global de la química ha de estar en el horizonte de los objetivos generales, reservando los específicos para los cursos y los temas asignados en los contenidos seleccionados para cada espacio académico.

En la redacción de los objetivos pertinentes puede ser de utilidad partir de una idea como la que se condensa en la figura 39. Previa la selección del tema que se va a enseñar, se establece con claridad aquello que se quiere lograr en los estudiantes a partir de su aprendizaje, es decir, aquello que se espera que produzcan como evidencia de lo que saben y saben hacer. Luego se seleccionan las actividades que van a desarrollar para lograrlo y la forma en que se van a evaluar. En esta última parte, el docente ha de tener muy claro que se trata de los productos o logros que, a manera de evidencias, los estudiantes deben entregar al final de una clase, sesión de trabajo, unidad o semestre.

Tabla 5. Orientaciones para redactar objetivos de aprendizaje en función de resultados esperados

Tema objeto de la sesión	Estrategias didácticas	Actividades de evaluación
Las sustancias	Exposición corta por parte del docente, trabajo individual y en grupos pequeños. Lectura de textos.	Un reporte escrito del trabajo individual o del grupo.
Verbo(s) a incluir en la redacción del(los) objetivo(s).	Expresiones de las acciones representadas por los verbos en términos de actividades.	Especificación del tipo de productos finales por los cuales los participantes son responsables.
Identificar, describir, clasificar, seleccionar, sintetizar.	Análisis situacional, extracción de ideas principales.	Informe de lo analizado y resumen de las ideas o conceptos principales.

Fuente: elaboración propia.

Hecho lo anterior y siguiendo el modelo 3P resumido en la figura 27, a continuación se presenta una aproximación de su aplicación para el tema mencionado en la tabla 5: las sustancias. En líneas generales, las aproximaciones seguidas para el tratamiento de los temas objeto de cada ejemplo se pueden considerar como lecciones de química alineadas.

Lección 1. Las sustancias

Introducción

En el ambiente natural que nos rodea se encuentra toda una mezcla de materiales. Para su comprensión y explicación, los científicos, a lo largo del tiempo, se han dado a la tarea de estudiarlos y caracterizarlos previa su separación. Esta aproximación ha dado lugar a la explicación de muchos de los fenómenos observados a diario: la lluvia, los terremotos, la producción de suelos después de milenios a partir de la descomposición de las rocas, solo por mencionar algunos.

En la actualidad, la ciencia ha puesto al servicio de la humanidad una amplia gama de explicaciones de fenómenos naturales y artificiales en dos niveles. El primero corresponde a lo que es posible captar con los sentidos humanos, mientras que el segundo se relaciona con la razón y la abstracción. El primer nivel se conoce como el macromundo o dominio macroscópico y el segundo como el micromundo o dominio submicroscópico (Jong y Taber, 2008). Este segundo nivel corresponde a explicaciones basadas en la abstracción, es decir, construcciones del pensamiento humano que tratan sobre todo aquello a lo cual los sentidos no tienen acceso: átomos, moléculas, electrones y, en general, la estructura íntima de los materiales y su dinámica. Todas las explicaciones producidas a lo largo del tiempo se expresan mediante una terminología y un lenguaje particular conocidos como terminología o lenguaje científico; en este caso, la terminología o lenguaje químico.

La química es uno de los campos del conocimiento humano que busca explicar el mundo natural y su devenir en términos de átomos, moléculas, especies iónicas y sus interacciones e intercambios energéticos.

Objetivo general

Relacionar de manera integral los conceptos asociados a las actividades desarrolladas en la lección y representarlos en una estructura visual.

Actividad de presagio o preparación

Objetivo específico. Indagar en la mente de los estudiantes algunas razones por las cuales han seleccionado como parte de su proyecto de vida formarse como profesores de química, a fin de preparar su mente para llevar a cabo los procesos que implica tal preparación.

Actividad

Observe detenidamente la figura 40 de manera individual y luego coméntela con el compañero(a) del lado; reflexione(n) acerca de preguntas como las planteadas.

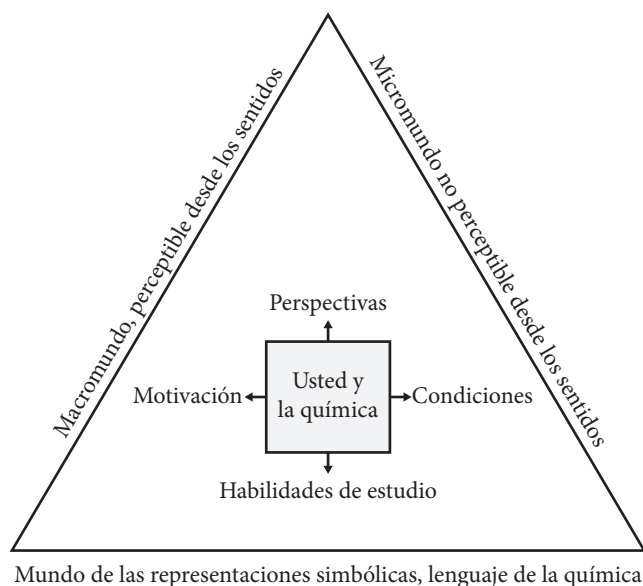


Figura 40. Actividad de preparación para el inicio de un proceso de aprendizaje

Fuente: elaboración propia.

¿Qué perspectivas tengo para el estudio de la química? ¿Por qué quiero dedicarle mi tiempo a su estudio? ¿Qué motivos tengo para estudiar química? ¿Son motivos internos?, ¿cuáles? ¿Son externos?, ¿cuáles?

¿Con qué condiciones y apoyos cuento para dedicarme a su estudio? Analice, en este contexto, recursos como el tiempo de dedicación, el ambiente donde vive, las fuentes de información, entre otros; son las herramientas con las que cuenta para tener éxito en el aprendizaje.

¿Qué tanto se conoce a sí mismo y con qué habilidades de estudio cuenta? Por lo tanto, me preguntaría si poseo capacidad de síntesis, análisis, operaciones matemáticas, lectura y manejo del tiempo. Tener un autoconocimiento de habilidades como estas es necesario para saber cómo enfrentar una actividad o una tarea de aprendizaje en un momento dado.

Luego de este proceso, lleve a su diario de aprendizaje, diccionario o portafolio los aspectos más importantes derivados de la reflexión anterior, tanto individual como compartida. Recuerde que esta información puede ser de gran apoyo en el momento de mostrar evidencias de su compromiso y responsabilidad asumidos con el curso o con el tema.

Actividades de proceso

Objetivo específico. Interpretar y completar un diagrama sintético relacionado con las explicaciones dadas por los científicos acerca de objetos naturales.

Actividad

A partir de la lectura del texto de la introducción anterior, complete la siguiente estructura visual representada en la figura 41 con las ideas principales.

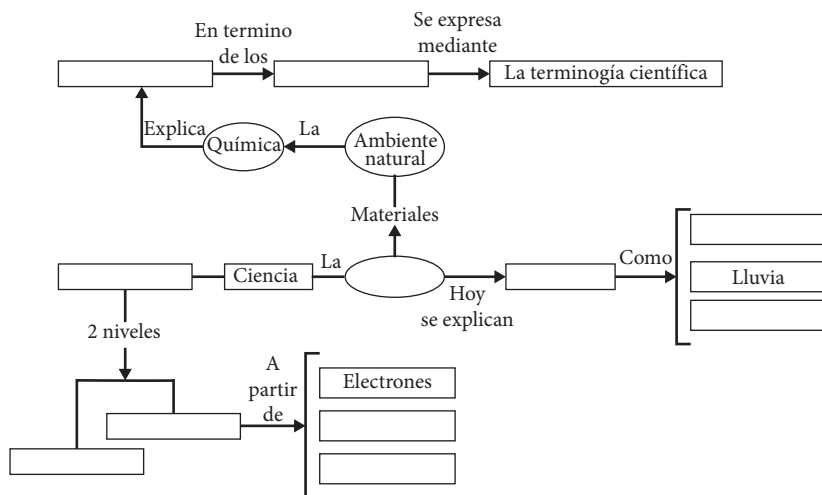


Figura 41. Actividad de proceso correspondiente a la enseñanza y aprendizaje del tema "Las sustancias químicas"

Fuente: elaboración propia.

Recursos necesarios. Para ejecutar las actividades planteadas tanto en esta lección como en las siguientes, lleve al aula el mayor número posible de fuentes de información: celulares, computadores, textos de química, entre otros. Quizá algunos estudiantes quieran hacer uso de estos recursos no de manera individual, sino en grupos pequeños; en alguna medida este aspecto queda a consideración del docente, de acuerdo con el número de estudiantes del curso. También puede apoyarse en la información de los anexos 1 y 2.

Objetivos generales

- Identificar, describir y clasificar diferentes tipos de materiales y sustancias a partir del análisis de una imagen correspondiente a un paisaje natural y entregar al final de la sesión un reporte escrito con las mezclas y sustancias identificadas y descritas.

- Construir, al finalizar las actividades, una visual a manera de síntesis en la que se muestren los principales conceptos asociados a las actividades realizadas.

Actividad

Objetivo específico. A partir de la observación de la imagen adjunta (figura 42), identifique al menos una mezcla homogénea, una heterogénea y, eventualmente, un elemento y un compuesto; entregue un informe escrito con la descripción de cada uno.

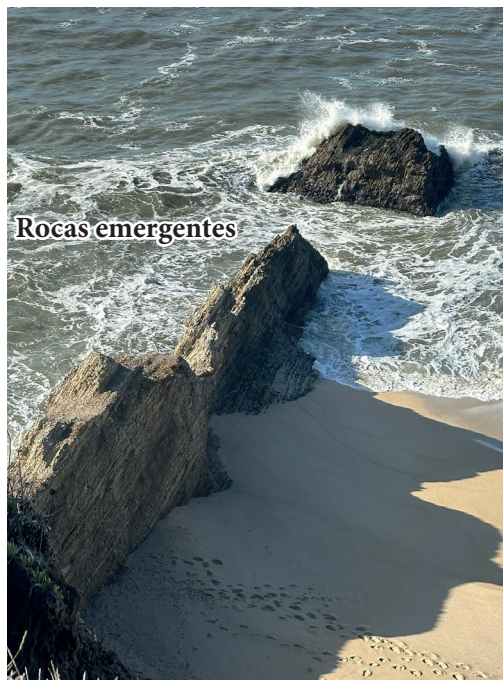


Figura 42. Paisaje que ilustra la forma en que los materiales se encuentran mezclados en el ambiente natural

Fuente: fotografía tomada en los alrededores de la falla geológica de San Andrés, California, mostrando los efectos del terremoto de 1906.

Identificar y clasificar

En la imagen se representa un escenario marino. Obsérvela y escriba en la siguiente tabla, bajo cada categoría, mínimo un ejemplo si lo hay.

Categoría	Mezcla homogénea	Mezcla heterogénea	Elemento	Compuesto
Descriptores				
Ejemplo				
Descripción				

En los siguientes espacios escriba un pequeño párrafo describiendo la figura 42.

¿Qué hacen los científicos para separar las sustancias?

De la misma manera que usted, en la actividad anterior, ha tratado de identificar y describir algunas mezclas, los científicos, apelando a procesos más rigurosos y técnicos, logran separarlas hasta alcanzar los niveles más altos de discriminación posibles.

Actividad

Objetivo específico. Identificar y describir diferentes procesos para separar mezclas.

Si, a partir de la situación real ilustrada en la figura 42, usted tuviera que producir agua potable, ¿cuál de los procedimientos representados en la figura 43 utilizaría y por qué?

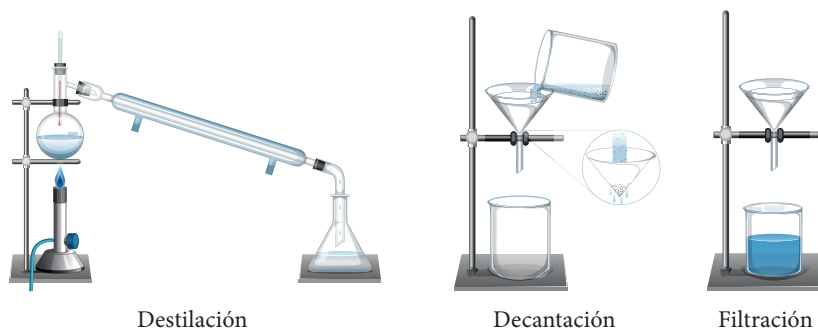


Figura 43. Procedimientos físicos para separar mezclas: destilación, decantación y filtración

Fuente: elaboración propia.

Describe su respuesta a continuación.

Consulte otros métodos para separar mezclas y obtener agua potable. Describalos brevemente a continuación.

Consulte otras formas de separar mezclas y descríbalas a continuación.

Seguramente, por procesos como los anteriores, se logra la separación de muchas mezclas hasta obtener sustancias puras de tipo compuesto, como la sal de cocina (NaCl) y el agua potable (H_2O). Eventualmente, también es posible obtener, en pocos casos, sustancias puras de naturaleza elemental, como el oro (Au) y la plata (Ag), que, si bien en su extracción inicial fueron obtenidas mediante procedimientos artesanales ligados netamente a procesos físicos, en la actualidad requieren de procesos industriales que incluyen reacciones químicas.

Tenga presente que los métodos ilustrados en la figura 43 no son suficientes para obtener agua potable. Consulte un procedimiento con este propósito y prepare una cartelera o una presentación para exponerla en plenaria.

Actividad

Objetivo específico. Identificar y relacionar información química con contextos más allá de la misma disciplina.

Sobre un croquis del mapa de Colombia, ubique en los diferentes departamentos los sitios en los cuales se encuentran yacimientos de minerales. Prepare una presentación de su trabajo ante el grupo. Incluya algunas relaciones entre estos procedimientos y el medioambiente. Limite su exposición a un tiempo máximo de 30 minutos.

Actividad

Objetivo específico. Proponer procesos y procedimientos de laboratorio para separar mezclas.

Si, a partir de una situación real como la ilustrada en la figura 42, se necesitara producir oxígeno elemental, ¿considera usted que es posible? Sí ☐ No ☐.

Si su respuesta es negativa, escriba a continuación sus argumentos:

Si su respuesta es afirmativa, describa un procedimiento a seguir:

La denominación de sustancias puras

Introducción

En la medida en que la química se fue desarrollando, los investigadores encontraron un número cada vez mayor de elementos, a cada uno de los cuales se le asignó un nombre y un símbolo. Como resultado de este proceso se ha llegado al número de elementos que hoy se pueden consultar en la tabla periódica.

Actividad

Objetivo específico. Desarrollar la capacidad para identificar y seleccionar fuentes válidas de información científica y aplicarla en la solución de situaciones de aprendizaje.

Consulte el origen, nombre y símbolo de representación de los primeros diez elementos de la tabla periódica. Diligencie con esta información la estructura presentada en la figura 44.

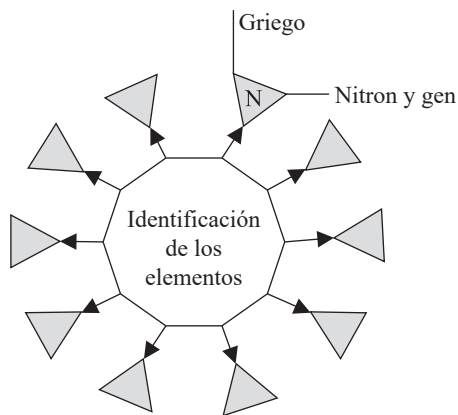


Figura 44. Ejercicio de aplicación sobre la identificación de los primeros diez elementos químicos

Fuente: elaboración propia.

Escriba, con sus propias palabras, una oración a manera de generalización que describa algunos detalles del origen y la denominación de los elementos químicos.

Una síntesis de los conceptos asociados a las actividades anteriores

En atención al objetivo general de la lección, en la figura 45 se presenta una ilustración de lo que se espera que los estudiantes hagan a partir de lo aprendido en el desarrollo de las actividades anteriores relacionadas con las sustancias químicas. Obsérvese que esta actividad, que bien puede ser de evaluación, exige operaciones cognitivas de alto nivel como sintetizar e interpretar.

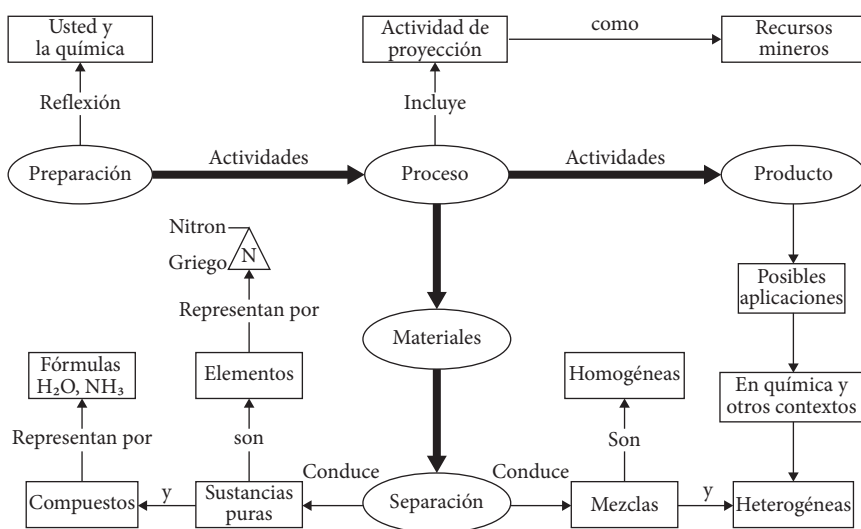


Figura 45. Relaciones entre conceptos de sustancias químicas y su aprendizaje

Fuente: elaboración propia.

Actividades de producto

Objetivo específico. Desarrollar la capacidad para comprender y aplicar información química en el análisis de situaciones ambientales.

Como se recordará, las actividades de evaluación o de producto deben ser del mismo tipo de las desarrolladas en las actividades de procedimiento. A esta dimensión es conveniente adicionar otro elemento valorativo: la formación en los estudiantes de una manera de pensar que reconozca la utilidad de los conocimientos construidos, tanto hacia el interior de la química como más allá de esta ciencia, en otros campos del saber humano.

En relación con esta última perspectiva, cualquier énfasis que se haga en el aula para alcanzarla suele ser insuficiente; se trata de lograr que los estudiantes —particularmente aquellos que no ven utilidad a la química— encuentren algún uso a los constructos químicos aprendidos. Esta aplicación tiene, en principio, dos orientaciones:

1. Aprender a dar utilidad a los conocimientos y relacionarlos con otros dentro del dominio de la química.
2. Aprender a utilizar lo aprendido para establecer vínculos con otros campos del saber científico.

Actividad

Objetivo específico. Reflexionar acerca de las posibles aplicaciones de los conceptos aprendidos en las actividades realizadas.

Para su reflexión, observe la figura 46 y complete las terminaciones que esos conocimientos pueden tener tanto en el contexto de la química como en otros campos del saber. Prepare una presentación para un debate en clase a manera de sesión plenaria.

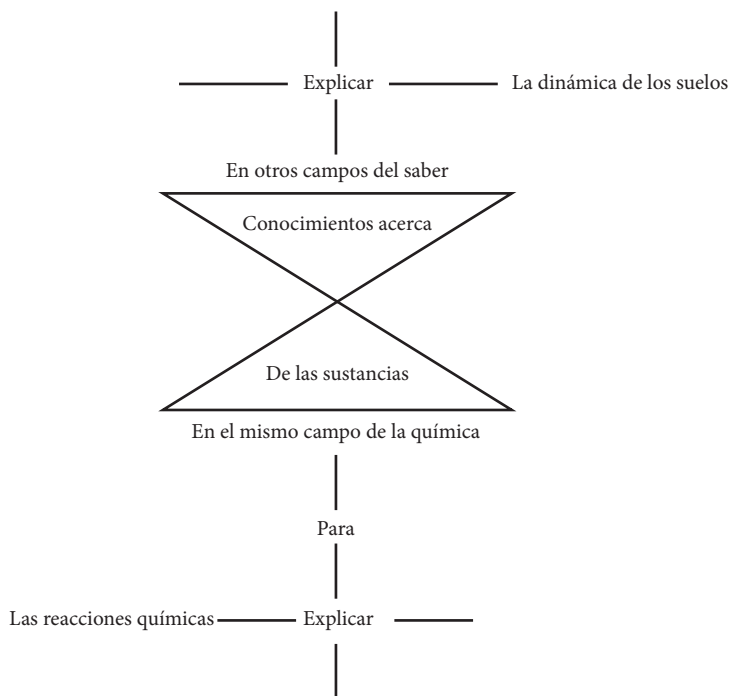


Figura 46. Dimensiones orientadoras sobre el uso de conocimientos sobre sustancias químicas en distintos contextos

Fuente: elaboración propia.

En la figura 47 se representa un paisaje natural. Obsérvelo detenidamente y, previa consulta de los siguientes términos —coloide, roca, meteorización y mezcla homogénea—, identifique por lo menos tres de ellos y descríbalos en los espacios dados para tal efecto.



Figura 47. Paisaje con diferentes materiales mezclados en el ambiente natural

Fuente: fotografía del autor. Cascada de Camoyo, Boyacá.

Actividad

Objetivo específico. Seleccionar y relacionar información química con propósitos definidos.

Con los siguientes términos y expresiones —hidrógeno, elementos, agua con sal, neblina, fórmula, decantación, filtración y procesos físicos—, organícelos por pares y, con cada par organizado, escriba una oración que tenga sentido en el contexto químico. Escriba a continuación sus respuestas:

1.
2.
3.
4.

El oxígeno en la atmósfera

Introducción

Se cree que el oxígeno en la atmósfera se formó a partir del origen de la fotosíntesis. En la medida en que este proceso se extendió por los mares del planeta, el elemento, por difusión, saturó la atmósfera hasta alcanzar los niveles de concentración actuales. Parte de este oxígeno, cuando alcanzó la altura de la estratosfera y entró en contacto con las radiaciones ultravioleta, dio origen a la capa de ozono.

En la actualidad, algunos compuestos en fase gaseosa, como los freones, también por difusión a través de la atmósfera, han alcanzado la estratosfera y se han puesto en contacto con las radiaciones ultravioleta. De esta reacción fotoquímica se producen especies químicas con electrones libres, llamadas radicales, que interactúan con las moléculas de ozono produciendo una molécula de oxígeno y un átomo del elemento libre.

De esta manera, en la estratosfera se presentan dos procesos opuestos que se producen bajo la presencia de radiaciones ultravioleta.

Actividad

Objetivo específico. Desarrollar la capacidad para trabajar e interpretar información química en equipo y expresar sus relaciones a través de representaciones visuales.

Lea cuidadosamente el texto anterior y, a partir de su interpretación, trabajando en grupos pequeños, realice los ejercicios que se plantean a continuación. Terminada la actividad, entréguela a su docente y acuerde con él si el resultado forma parte de la evaluación o no.

- a. Elabore un diagrama imaginario en el que represente los dos procesos mencionados.

- b. Postule las ecuaciones correspondientes para cada uno.

- c. ¿Qué sucedería si la velocidad de producción de oxígeno fuera mayor que la de destrucción del ozono?

- d. ¿Qué sucedería si la velocidad de destrucción del ozono fuera mayor que la de producción de oxígeno?

- e. ¿Qué sucedería si las velocidades de los dos procesos fueran iguales?

- f. De conformidad con los debates actuales relacionados con la posible destrucción de la capa de ozono, ¿en su concepto cuál de los procesos enunciados arriba estaría superando la velocidad del otro?

Lección 2. Distribución de los elementos químicos en la tabla periódica

Introducción

Hacia el establecimiento de objetivos observables de aprendizaje, como ya se mencionó, puede ser de ayuda para el diseño de las lecciones la elaboración de una estructura guía similar a la tabla 6.

Tabla 6. Guía para elaborar objetivos observables de aprendizaje sobre elementos y tabla periódica

Tema	Estrategia didáctica	Actividades de evaluación Productos esperados
Organización de los elementos en la tabla periódica.	Exposición corta por parte del docente, trabajo en grupos pequeños. Buscar y seleccionar información química pertinente; síntesis de lo aprendido.	Elaboración de un diagrama mostrando algunas relaciones entre los conceptos asociados a las actividades desarrolladas. Analizar, sintetizar y relacionar información.
Verbo(s) a incluir en la redacción del (de los) objetivo(s).	Expresiones de las acciones de los verbos en términos de actividades.	Especificación de los productos esperados de los estudiantes.
Interpretar, clasificar, seleccionar, sintetizar, aplicar, relacionar.	Interpretación y síntesis de información, extracción de ideas principales de un texto; relacionar las notaciones espectrales de los elementos entre sí y con la organización de la tabla periódica.	Informe de resultados y síntesis de las ideas o conceptos principales asociados a la tabla periódica. Presentación y entrega de visuales construidas para evidenciar las relaciones entre las notaciones espectrales y los grupos y períodos de la tabla periódica.

Fuente: elaboración propia.

Actividades de presagio o preparación

Objetivos generales

- Comprender y explicar la representación de los símbolos de los elementos químicos y su ubicación en la tabla periódica.

- Construir un esquema visual de la ecología conceptual asociada a las actividades diseñadas para aprender la ubicación y la distribución de los símbolos de elementos químicos en la tabla periódica.

Introducción

El trabajo sistemático de los científicos a lo largo del tiempo, orientado a comprender la estructura interna de los materiales, ha conducido a identificar y caracterizar los más de 100 elementos que en la actualidad se representan en la tabla periódica. Esta identificación y caracterización se ha realizado tanto en la naturaleza como en los laboratorios, de manera sintética o artificial. De esta forma, al conjunto de los 121 elementos cuya representación constituye el cuadro periódico, pertenecen tanto los elementos encontrados naturalmente como aquellos que han sido sintetizados por el ser humano, es decir, elementos en estado natural y elementos sintéticos o artificiales.

Es necesario anotar, además, que una vez identificados y caracterizados los elementos químicos —un proceso puramente cualitativo— siguió el establecimiento de los atributos que los diferencian, tanto física como químicamente. Este establecimiento incluyó procesos cuantitativos. Por lo tanto, en la tabla periódica aparece, además de la denominación de cada elemento, algunas de las propiedades que le son inherentes.

Actividad

Objetivo específico. A partir de la lectura atenta de un texto, escribir un párrafo que refleje la interpretación mental elaborada por el estudiante.

Lea detenidamente el texto de la introducción anterior y, con sus propias palabras, escriba a continuación su interpretación:

Actividad

Objetivo específico. Aplicar la información de la tabla periódica en la construcción personal de diagramas de representación de los elementos químicos.

La figura 48 representa la forma y la ubicación general de la información principal dada en la tabla para cada elemento. Analícela detenidamente y realice los ejercicios que se plantean posteriormente.

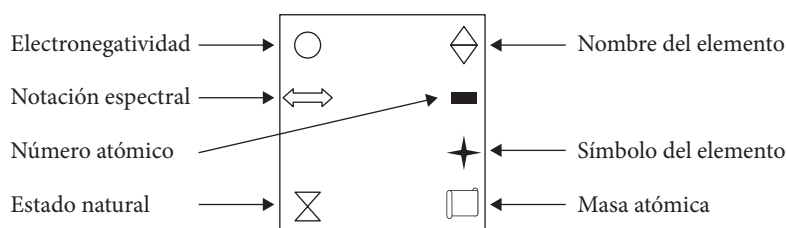
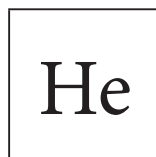


Figura 48. Convenciones para identificar propiedades de los elementos en la tabla periódica

Fuente: elaboración propia.

1. Con ayuda de una tabla periódica, construya la representación de los dos primeros elementos. Tenga presente que, dependiendo de la versión de la tabla que consulte, el lugar de la información en la representación puede variar, pero siempre se encuentra registrada. Es posible que, para encontrarla, deba seguir algunas convenciones adicionales que acompañan la versión de la tabla consultada. Igualmente, y como ya se mencionó, la organización de los elementos en los grupos y períodos se realiza con números arábigos; de esta manera, los grupos se enumeran del 1 al 18.



2. Teniendo en cuenta los tres niveles de representación de la química —macro, micro o submicroscópico y simbólico—, identifique a cuál de ellos pertenece la información presentada anteriormente para los elementos y explique por qué. Escriba a continuación sus respuestas:

Submicroscópico:

Macroscópico:

Simbólico:

Una vez diligenciado el esquema anterior, escriba a continuación una generalización acerca del resultado; no deje de incluir en su escrito el número de elementos en cada período, su relación con la terminación de la notación espectral y la numeración que identifica a cada período.

Actividades de proceso

Actividad

Objetivo específico. Relacionar la notación espectral de algunos elementos con los grupos y períodos de la tabla periódica.

A partir de la comparación de la distribución electrónica de los elementos de las cuatro primeras filas (períodos) de la tabla periódica, escriba una generalización para todos los demás períodos de la tabla. ¿Qué relación hay entre la notación espectral y el número de períodos de la tabla? Para esta actividad observe el siguiente croquis.

Nota. Los elementos 119, 120 y 121 son sintéticos y no son estables a temperatura ambiente; por lo tanto, no se han podido aislar ni caracterizar totalmente.

IA-1		VIII A															
		IIIA				IVA				VA				VIA			
		13				14				15				16			
		13				14				15				16			
		13				14				15				16			
		13				14				15				16			
		13				14				15				16			
		13				14				15				16			
		13				14				15				16			
		13				14				15				16			
		13				14				15				16			
		13				14				15				16			
		13				14				15				16			
		13				14				15				16			
		13				14				15				16			
		13				14				15				16			
		13				14				15				16			
		13				14				15				16			
		13				14				15				16			
		13				14				15				16			
		13				14				15				16			
		13				14				15				16			
		13				14				15				16			
		13				14				15				16			
		13				14				15				16			
		13				14				15				16			
		13				14				15				16			
		13				14				15				16			
		13				14				15				16			
		13				14				15				16			
		13				14				15				16			
		13				14				15				16			
		13				14				15				16			
		13				14				15				16			
		13				14				15				16			
		13				14				15				16			
		13				14				15				16			
		13				14				15				16			
		13				14				15				16			
		13				14				15				16			
		13				14				15				16			
		13				14				15				16			
		13				14				15				16			
		13				14				15				16			
		13				14				15				16			
		13				14				15				16			
		13				14				15				16			
		13				14				15				16			
		13				14				15				16			
		13				14				15				16			
		13				14				15				16			
		13				14				15				16			
		13				14				15				16			
		13				14				15				16			
		13				14				15				16			
		13				14				15				16			
		13				14				15				16			
		13				14				15				16			
		13				14				15				16			
		13				14				15				16			
		13				14				15				16			
		13				14				15				16			
		13				14				15				16			
		13				14				15				16			
		13				14				15				16			
		13				14				15				16			
		13				14				15				16			
		13				14				15				16			
		13				14				15				16			
		13				14				15				16			
		13				14				15				16			
		13				14				15				16			
		13				14				15				16			
		13				14				15				16			
		13				14				15				16			
		13				14				15				16			
		13				14				15				16			
		13				14				15				16			
		13				14				15				16			
		13				14				15				16			
		13				14				15				16			
		13				14				15				16			
		13				14				15				16			
		13				14				15				16			
		13				14				15				16			
		13				14				15				16			
		13				14				15				16			
		13				14				15				16			
		13				14				15				16			
		13				14				15				16			
		13				14				15				16			
		13				14				15				16			
		13				14				15				16			
		13				14				15				16			
		13				14				15				16			
		13				14				15				16			
		13				14				15				16			
		13				14				15				16			
		13				14				15				16			
		13				14				15				16			
		13				14				15				16			

Describa a continuación algunas de las relaciones derivadas del croquis.

Actividad

Objetivo específico. A partir de las notaciones espectrales de los metales alcalinos, elementos del grupo IA-1 de la tabla, comprender y explicar su distribución en el grupo.

Consulte las notaciones espectrales de los metales alcalinos (elementos que conforman el primer grupo de la tabla) y ubique el símbolo de cada elemento en la columna de la figura 50, junto con la terminación de sus respectivas notaciones. Tenga presente que el hidrógeno no es un metal y se encuentra en el grupo debido a la terminación de su notación espectral.

Terminada la actividad anterior, escriba una oración en la que describa la relación entre la terminación de las notaciones espectrales y el período al cual pertenece cada elemento.

	IA-1
1	
2	
3	
4	
5	
6	
7	

Figura 50. Esquema para realizar la actividad sobre metales alcalinos

Fuente: elaboración propia.

Actividad

Objetivo específico. A partir de las notaciones espectrales de los metales alcalinotérreos, elementos del grupo IIA-2 de la tabla, comprender y explicar su distribución en el grupo.

Siguiendo la misma ruta establecida para el grupo de los metales alcalinos, realice ahora lo mismo para los metales alcalinotérreos, correspondientes a la segunda columna de la tabla o grupo IIA-2. Diligencie el siguiente croquis (figura 51) con los símbolos y las terminaciones de las notaciones espectrales.

	IA-1	
1		IIA-2
2		
3		
4		
5		
6		
7		
	119	120

Figura 51. Esquema para realizar la actividad sobre metales alcalinos y alcalinotérreos

Fuente: elaboración propia.

Terminada la actividad anterior, escriba un párrafo en el que describa la relación entre la terminación de las notaciones espectrales y el grupo al cual pertenece cada elemento de los dos grupos.

Como se puede observar en estos dos grupos de la tabla, los electrones más externos se adicionan en los subniveles s , que corresponden al segundo número cuántico o azimutal, razón por la cual se conoce como la región s de la tabla.

Para realizar las actividades que siguen puede apoyarse en las actividades anteriores relativas a los grupos y períodos principales, además de la tabla periódica.

Actividad

Objetivo específico. Aplicar las notaciones espectrales de los elementos de transición para explicar su ubicación en las familias de la tabla.

Las familias de los elementos de transición conforman el cuerpo central de la tabla, entre los elementos calcio y galio, para la primera serie de transición, y se conocen como la región d , dado que en sus notaciones espectrales los electrones diferenciadores —los que hacen distinta la notación de un elemento respecto de la del siguiente— llenan orbitales d , además de los correspondientes s , p y, en algunos casos, f .

Tomando como base la notación espectral de estos elementos de transición simple, ubique en el siguiente esquema (figura 52) la notación espectral y el símbolo de cada uno de ellos.

- ¿Cuántos elementos se encuentran entre los grupos principales IIA-2 y IIIA-13 de la tabla?

- ¿Qué relación tiene este número con la máxima cantidad de electrones que pueden ubicarse en los orbitales d?

Apóyese en una tabla de distribución de los electrones según el orden energético de los niveles, subniveles y orbitales respectivos. Escriba su respuesta a continuación:

IIIB	IVB	VB	VIB	VIIB	—— VIIB ——			IB	IIIB
3	4	5	6	7	8	9	10	11	12

Figura 52. Esquema para la realizar la actividad sobre elementos de la región d

Fuente: elaboración propia.

Actividad

Objetivo específico. Ubicar los símbolos y las notaciones espectrales de los elementos de los grupos principales IIIA-13, IVA-14, VA-15, VIA-16, VIIA-17 Y VIIIA-18 que corresponden a los cuatro primeros períodos, y relacionar esta distribución con la posición de cada elemento en los respectivos grupos y períodos.

Para esta actividad utilice el croquis de la figura 53. Como sucede con el hidrógeno, el helio (He) se encuentra en el grupo VIIIA-18 en razón de que su notación espectral está completa, no con ocho, sino con dos electrones en su único nivel de energía.

Región p					VIIIA-18
IIIA-13	IVA-14	VA-15	VIA-16	VIIA-17	

Figura 53. Esquema para realizar la actividad sobre elementos de la región p

Fuente: elaboración propia.

Ahora, que ha terminado la actividad, escriba un párrafo describiendo las relaciones entre las notaciones espectrales de los elementos de estos grupos y su ubicación en el respectivo período.

Actividades de producto

Objetivo específico. Aplicar los conocimientos construidos a partir de las actividades anteriores para realizar una interpretación de un croquis general de la tabla y expresarla en un texto corto para entregarlo al docente como actividad de evaluación. En la ejecución de esta tarea utilice el diagrama de la figura 54.

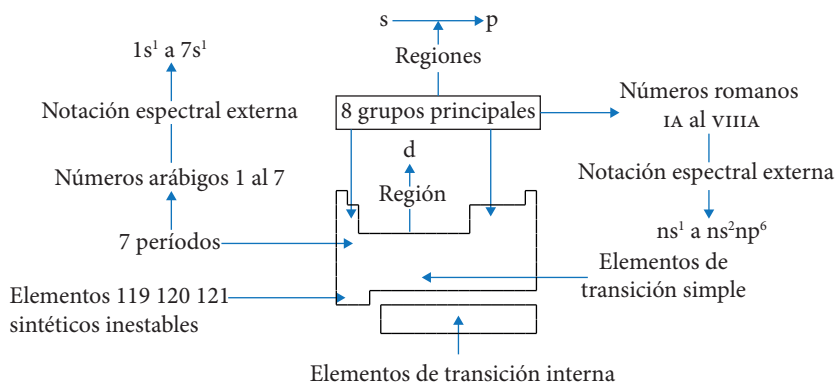


Figura 54. Visión global de la tabla periódica en términos de la información de propiedades de los elementos

Fuente: elaboración propia.

Actividad

Objetivo específico. A partir de la observación y reflexión individual y grupal —si el docente lo considera pertinente de conformidad con la organización del curso—, construya, con base en la figura 54, un párrafo que evidencie los resultados del proceso de reflexión en términos de las ideas principales que contiene el diagrama.

Lección 3. Periodicidad química y propiedades periódicas

Introducción

Los trabajos de los químicos alemanes L. Meyer y J. Döbereiner, junto con los de los ingleses J. Newlands y H. Moseley y el soviético D. Mendeléiev, en relación con la clasificación de los elementos químicos, condujeron a lo que en la actualidad es una de las representaciones sintéticas, desde el punto de vista simbólico, más completas y complejas de un campo científico: la tabla periódica de los elementos químicos. Esta puede considerarse

comparable, guardando las proporciones, con la representación de la columna geológica y la de los minerales (Eagar, 1976; Lof, 1980).

En realidad, un amplio y relacional conocimiento de la tabla periódica se convierte, para quien lo ha construido, en un punto de partida o concepto nuclear para la enseñanza de la química. Es decir, un concepto que, a manera de faro, ilumina y transforma la concepción y la forma de ver y de pensar la química y sus perspectivas. Un concepto o expresión nuclear (Buzan, 1989; Biggs y Tang, 2011; Biggs *et al.*, 2022; Entwistle, 2009).

Objetivos generales

- Establecer relaciones entre la notación espectral de los elementos, su ubicación en la tabla periódica y su comportamiento químico.
- Construir una perspectiva global de la tabla periódica y la variación de algunas propiedades de los elementos en los grupos y períodos.

Actividades de presagio o de preparación

Actividad

Objetivo específico. Relacionar los desarrollos de la clasificación de los elementos químicos con los contextos históricos en los cuales evolucionó.

A partir de la lectura del texto de la introducción anterior, prepare, para cada uno de los químicos allí mencionados, una cartelera o un póster en el cual se evidencien, entre otros aspectos, los aportes de cada uno de ellos al establecimiento de la ley periódica y algunos datos del ambiente social donde vivieron. Puesto que el resultado de esta actividad es susceptible de valoración con fines de evaluación, acuerde este aspecto con su docente.

No olvide legajar su trabajo en el portafolio o describirlo en el diario personal de aprendizaje. Actividades como esta, en la enseñanza de un curso de química, ilustran una de las posibles formas de relacionar la disciplina con los contextos históricos y sociales en los cuales se ha desarrollado.

Actividad

Objetivo específico. Consultar, interpretar y sintetizar información química y producir un texto escrito de elaboración propia.

Consulte el enunciado de la llamada ley periódica y, con sus propias palabras, sintetícela a continuación.

Actividades de proceso

Objetivo específico. Analizar y describir la dirección de variación de algunas propiedades periódicas de los elementos en la tabla periódica.

El carácter metálico

Actividad

Objetivo específico. Relacionar la variación del carácter metálico de los elementos con su posición en los grupos principales de la tabla periódica.

Con ayuda de una tabla periódica, complete la figura 55 para los elementos del grupo principal IVA-14. Observe que, al descender en el grupo, se pasa del carbono (C), base fundamental de la química orgánica y un típico elemento no metálico, hasta un típico metal, el plomo (Pb).

Una vez diligenciado el diagrama, describa a continuación una generalización para la variación del carácter metálico en los grupos principales de la tabla.

IVA-14

Figura 55. Esquema para realizar la actividad sobre la variación del carácter metálico en el grupo IVA-14

Fuente: elaboración propia.

Actividad

Objetivo específico. Consultar y explicar qué son los elementos anfóteros y establecer su ubicación en la tabla periódica.

A continuación, en la figura 56, se presenta un croquis de la tabla periódica. Consulte en qué consiste el comportamiento anfótero de algunos elementos; sobre el croquis, marque la línea divisoria de los elementos metálicos y no metálicos, y ubique a lado y lado de la línea, por lo menos, cuatro de los llamados elementos anfóteros.

[illegible]

Figura 56. Croquis de la tabla periódica para realizar la actividad sobre elementos que, en algunos casos, actúan como ácidos y en otros como bases, según la teoría de Arrhenius

Fuente: tomado y adaptado de Chang y Overby (2020).

Hecho lo anterior, escriba un pequeño párrafo describiendo la distribución general de los elementos anfóteros a lado y lado de la línea trazada, así como de los metales y no metales, teniendo en cuenta la misma línea. Esta última parte puede realizarla indicando sobre el croquis su respuesta con una flecha.



Consulte el comportamiento anfótero de algunos elementos químicos, desde otras perspectivas teóricas de ácidos y bases.



Propiedades no metálicas

Actividad

Objetivo específico. Relacionar la variación del comportamiento no metálico con la variación del comportamiento metálico y la forma como varían estos parámetros en los grupos.

Teniendo en cuenta la generalización derivada de la actividad anterior sobre la variación del comportamiento metálico en los grupos y su ubicación en la tabla periódica, reflexione acerca de la forma como varía el comportamiento no metálico en los elementos del grupo IVA-14 y describa esa tendencia en el siguiente espacio.



Escriba a continuación una comparación de la variación del comportamiento metálico con el comportamiento no metálico en los grupos de la tabla periódica. Haga uso de la figura 57 para su respuesta.

IVA-14

Figura 57. Esquema para realizar la actividad sobre la variación del comportamiento metálico y no metálico en los elementos del grupo IVA-14

Fuente: elaboración propia.

A partir de la generalización anterior, escriba en el siguiente espacio un párrafo en el cual, con sus propias palabras, describa la variación del comportamiento metálico y no metálico en otros grupos principales de la tabla.

El radio atómico

Actividad

Objetivo específico. Relacionar la variación del radio atómico con la posición de los elementos del grupo IVA-14 de la tabla periódica.

Consulte qué es el radio atómico y los valores respectivos del radio atómico para los elementos del grupo IVA-14. Escríbalos en el diagrama de la figura 58 y analícelos. Compare los valores de los radios atómicos de estos elementos con los de otros grupos de la tabla y redacte a continuación la tendencia de variación del radio de los átomos para los grupos principales de la tabla.

IVA-14

Figura 58. Esquema para realizar la actividad sobre el radio atómico del grupo IVA-14

Fuente: elaboración propia.

Energía de ionización

Actividad

Objetivo específico. Indague acerca del concepto de potencial o energía de ionización y sus valores para aplicarlos a la explicación de la variación de este parámetro en los grupos principales de la tabla.

Consulte ahora qué es el potencial de ionización y los respectivos valores de este parámetro para los elementos del grupo IIA-2. Escríbalos en el diagrama ilustrado en la figura 59. Compárelos con los valores

para los elementos de otros grupos y describa a continuación la respectiva tendencia de variación en los grupos principales de la tabla. Tenga presente que el último elemento de este grupo es radioactivo.

IIA-2

Figura 59. Esquema para realizar la actividad sobre la energía de ionización en el grupo IIA-2

Fuente: elaboración propia.

El radio iónico

Introducción

Cuando un elemento, y en general una especie química, acepta o cede electrones, se carga eléctricamente. Si cede electrones, la carga de la especie es positiva, mientras que si los acepta, la carga es negativa. En el primer caso se dice que se ha formado un catión y, en el segundo, un anión. Reflexione acerca del aumento o la disminución del tamaño de los átomos de un elemento cuando se produce el fenómeno descrito.

Actividad

Objetivo específico. Comprender el concepto de radio iónico y analizar la variación de sus valores en el primer grupo de la tabla periódica.

Consulte los valores del radio iónico para los elementos del grupo IA-1 y ubíquelos en el diagrama de la figura 60. No olvide escribir también el símbolo de cada uno de los elementos. Describa a continuación la tendencia de variación que presentan estos valores al recorrer el grupo de forma descendente y generalice, para los elementos de los demás grupos principales, la variación de esta propiedad, previa comparación de los valores de este parámetro con los de otros grupos. Escriba su generalización a continuación.



Figura 60. Esquema para realizar la actividad sobre la variación del radio iónico en los elementos del grupo IA-1

Fuente: elaboración propia.

Afinidad electrónica

Actividad

Objetivo específico. Adquirir conocimiento sobre el concepto de afinidad electrónica y relacionar la variación de esta tendencia en los grupos de la tabla periódica.

VIIA-17

Figura 61. Esquema para realizar la actividad sobre la afinidad electrónica y su variación en los elementos del grupo VIIA-17

Fuente: elaboración propia.

Consulte el concepto de afinidad electrónica y los valores correspondientes para los elementos del grupo VIIA-17. Ubique en la figura 61 para cada elemento su símbolo y el valor consultado. Siguiendo la ruta de las actividades anteriores, compare estos valores con los de otros elementos en diferentes grupos principales y describa a continuación la tendencia que presenta, en general, la variación de la afinidad por los electrones en los grupos de la tabla.

Electronegatividad

Actividad

Objetivo específico. Construir significado para el concepto de electronegatividad y analizar su variación en los grupos y períodos de la tabla periódica.

IVA-14

Figura 62. Esquema para realizar la actividad sobre el concepto de electronegatividad y su variación en los elementos del grupo IVA-14

Fuente: elaboración propia.

Por un procedimiento semejante al seguido para las propiedades anteriores, averigüe el concepto de electronegatividad para los elementos del grupo IVA-14 y escríbalos, junto con el símbolo de cada elemento, en el diagrama diseñado para este propósito (figura 62). Relacione estos valores con los correspondientes a los de elementos de otros grupos y describa a continuación la tendencia de variación de estos valores en todos los grupos principales de la tabla.

--

Actividades de producto

Objetivo general

Establecer, con fines de valoración final del aprendizaje, la aplicación que lograron los estudiantes acerca de los conceptos asociados a la tabla periódica y la variación de algunas propiedades generales de los elementos en los grupos y en los períodos.

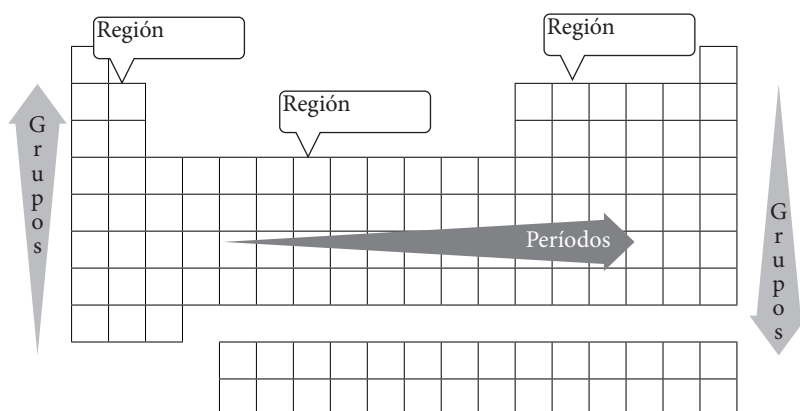


Figura 63. Panorama global de la tabla periódica y variación de algunas propiedades periódicas

Fuente: elaboración propia.

Actividad

Objetivo específico. Interpretar información química presentada en un diagrama y sintetizarla en un texto escrito de elaboración propia.

A manera de síntesis, en la figura 63 se presenta una ilustración de lo que podría ser una visión global de la estructura de la tabla periódica y la variación de algunas de las propiedades periódicas de los elementos en algunos grupos y períodos. A partir de ella, escriba tres párrafos en los cuales describa las propiedades que varían siguiendo la dirección de las flechas y otro párrafo para la denominación de las regiones de la tabla.

Actividad

Objetivo específico. Aplicar algunos de los conocimientos construidos en relación con la tabla periódica y las propiedades periódicas de los elementos anfóteros.

En el siguiente diagrama de Venn (figura 64), según sus conocimientos y sus consultas, ubique cuatro elementos metálicos, cuatro no metálicos y cuatro anfóteros. Tenga presente la teoría de Arrhenius.

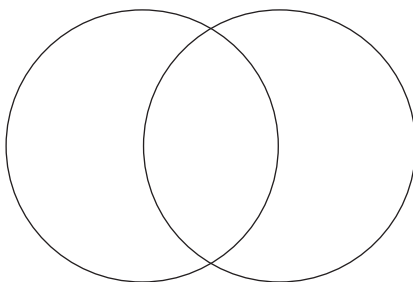


Figura 64. Diagrama para el desarrollo de la actividad sobre elementos anfóteros

Fuente: elaboración propia.

Ahora que ha terminado la actividad, escriba en el siguiente espacio una descripción del ejercicio realizado.

Actividad

Objetivo específico. A partir de los intereses personales, aplicar los conocimientos construidos en relación con la variación de algunas propiedades periódicas de los elementos para la realización de varios ejercicios de evaluación.

Observe detenidamente la figura 63; seleccione dos de los parámetros relacionados con algunas propiedades periódicas y complete las siguientes oraciones de conformidad con su selección:

El de los átomos de arriba hacia abajo en los grupos, mientras que disminuye.

Los parámetros y en los grupos de la tabla periódica siguen la misma dirección de variación.

Escriba a continuación un párrafo en el cual describa la variación de las siguientes propiedades de los elementos del grupo IIA-2: radio iónico y afinidad electrónica.

Como se puede observar, en el desarrollo de las lecciones anteriores alineadas, en su conjunto se presenta un enfoque de construcción de conocimientos de forma inductiva. En su mayoría, se busca que, a partir del aprendizaje de conocimientos básicos de química, los estudiantes avancen hacia el perfeccionamiento de operaciones de pensamiento de orden superior en coherencia con SOLO.

Estas operaciones cognitivas de orden superior se expresan en la construcción y representación de visiones relacionales globales a partir de los llamados conceptos nucleares; en este caso, los grupos y los períodos de la tabla periódica de los elementos químicos.

La construcción de visiones globales, con posterioridad a la ejecución por parte de los participantes de una serie de actividades de exigencia cognitiva progresivamente creciente, permite a quien la desarrolla con compromiso alcanzar la construcción de su propia agrupación de conceptos acerca de un tópico nuclear de la química; en este caso, alrededor de la tabla periódica.

El enfoque de enseñanza de la química así desarrollado, acompañado de un trabajo colaborativo en el aula, de la discusión entre estudiantes y de

la **continua asesoría del docente**, permite que quienes lo realicen aporten sus ideas sobre el tema, las discutan con sus compañeros y, de esta manera, aprendan a aprender de y con los otros.

Por otra parte, se puede observar, en coherencia con el AC, la función del docente de crear escenarios apropiados en los cuales los estudiantes construyan su propio conocimiento, diseñen buenas actividades de enseñanza-aprendizaje y acompañen su desarrollo en el aula.

Es de anotar, además, que la aproximación inductiva para enseñar los conceptos ligados a los nucleares mediante series de pequeñas actividades es coherente con teorías del aprendizaje como la del procesamiento de información. Según esta teoría, el rendimiento académico de los estudiantes aumenta en la medida en que la demanda cognitiva de la tarea en química, en este caso, se ubique dentro de los límites del procesamiento de información establecidos para los seres humanos, en promedio entre cinco y nueve unidades de información (Johnstone, 1980; Johnstone y El-Banna, 1989).

Lección 4. Ley periódica y variación de algunas propiedades de los elementos en los períodos

Introducción

Con frecuencia, en el contexto de la química y de las ciencias en general, el trabajo sistemático de los científicos conduce al establecimiento de ciertos comportamientos generales de la naturaleza que, usualmente, se conocen o describen como leyes. Este es el caso de la llamada ley periódica, que se presenta cuando se ubican los elementos en la tabla periódica como síntesis de su organización y de la variación de sus propiedades en los grupos y períodos.

Objetivos generales

- Establecer relaciones conceptuales entre la notación espectral de los elementos y la variación de algunas de sus propiedades periódicas a lo largo de los períodos donde se ubican.
- Construir una panorámica global de la tabla periódica y de la variación de algunas de las propiedades periódicas analizadas.

Actividades de preparación o presagio

Actividad

Objetivo específico. Analizar y describir la forma como varían algunas propiedades de los elementos en los períodos de la tabla periódica.

Tomando como base la figura 63 (página 269), realice individualmente o en pequeños grupos, de conformidad con la organización hecha por el profesor del curso, los ejercicios que se plantean a continuación.

Analice la variación del comportamiento ácido de los elementos en la figura 63 y, a partir de sus reflexiones, escriba a continuación una oración que describa el resultado del análisis realizado.

Actividades de proceso

Actividad

Objetivo específico. Seleccionar y analizar, de conformidad con los intereses personales, algunas propiedades periódicas de los elementos y describir comparativamente sus variaciones en los grupos y períodos.

Tomando como base la información de la figura 63, seleccione para los grupos y para los períodos una propiedad periódica diferente a las ya

comentadas y escriba a continuación una comparación sobre la forma como estos dos parámetros varían en los grupos y en los períodos.



Actividad

Objetivo específico. Explicar de forma visual algunos conocimientos contruidos en relación con la tabla periódica y la variación de algunas de las propiedades de los elementos.

Trabajando en forma individual o en grupos pequeños, construya en el siguiente espacio una representación visual para explicar la forma en la cual varían tres de las propiedades periódicas analizadas.

Actividades de producto

Actividad

Objetivo específico. En forma individual o grupal, según criterio del docente, desarrolle y entregue, al final de la sesión o en el tiempo acordado, los ejercicios que se postulan luego de la rejilla ilustrada en la figura 65.

Si bien es posible y recomendable que el docente, en la medida en que los estudiantes desarrollan las actividades, vaya recogiendo algunos informes de las actividades terminadas con el objetivo de valorarlas y calificarlas, su ubicación en el portafolio o en el diario reflexivo de aprendizaje es muy importante e, incluso, necesaria en algunos casos.

De conformidad con la planeación inicial del curso o de las clases, y preferiblemente previo acuerdo con los estudiantes, el docente puede solicitar al grupo el portafolio, el diario de aprendizaje o el diccionario personalizado de aprendizaje con miras a valorar el compromiso y el progreso académico de sus estudiantes.

Asimismo, la evaluación incrustada o auténtica implica, por parte del docente, una observación constante y detallada del desempeño de sus estudiantes (Cárdenas y Pastrana, 2016). De esta manera, al final del curso tanto los estudiantes como el docente cuentan con evidencias suficientes para decidir y emitir juicios de valor en relación con el nivel alcanzado de los objetivos observables establecidos al comienzo del curso o del semestre.

1 $ns^2 ns^1$	4 $ns^2 np^5$	7 Regiones s p y d de la tabla periódica
2 De izquierda a derecha en los periodos la electronegatividad aumenta mientras que en los grupos disminuye de arriba hacia abajo.	5 El par de elementos Ge/As están ubicados en la tabla periódica como elementos metálicos.	8 En la región d de la tabla se encuentra un elemento en fase líquida y otro sintético a condiciones normales de temperatura y presión.
3 En los grupos el elemento menos electronegativo es el Fr mientras que el más electronegativo es el F.	6 Los elementos Na y Mg tienen tendencia a formar cationes como lo hacen los elementos F y Cl.	9 Comportamiento ácido.

Figura 65. Rejilla con información química para ejercitar operaciones cognitivas

Fuente: elaboración propia.

Analice la información de la casilla 1 y escriba a qué grupo de la tabla corresponde. Describa cómo varía en ese grupo el radio atómico al recorrerlo de abajo hacia arriba.

Relacione la información de la casilla 7 con las regiones de la tabla periódica y escriba a continuación una descripción que dé cuenta de la relación establecida.

Lea cuidadosamente y analice la información de la casilla 6. Indique si es falsa o verdadera y justifique su respuesta.

Describa a continuación la forma en que varía la propiedad periódica mencionada en la casilla 9 para los elementos del grupo IVA-14.

Lea y analice la afirmación que se presenta en la casilla 2. Escriba a continuación si es verdadera o falsa y justifique su respuesta.

Escriba a continuación la respuesta para la afirmación presente en la casilla 8.

Ubique el par de elementos dados en la casilla 5 en la tabla periódica y escriba si la afirmación dada es falsa o verdadera.

Ubique en la tabla periódica los elementos mencionados en la casilla 3. Indique si la afirmación es falsa o verdadera y justifique su respuesta.

Entre los ejercicios anteriores falta plantear uno para la información de una de las casillas. Identifíquela y escriba para ella una oración relacionándola con la tabla periódica.

Actividad

Objetivo específico. Aplicar conocimientos contruidos a partir de las actividades relacionadas con la tabla periódica para solucionar ejercicios vinculados con su estudio.

Analice la información dada en la rejilla de la figura 66 y, a partir de su reflexión, responda los ejercicios propuestos a continuación.

1 CaCO ₃	2 S	3 Fe
4 C	5 3 Moles HCl 1 Mol H ₂ O 1 Mol NaOH	6 H ₂ SO ₄

Figura 66. Rejilla para realizar actividades de producto

Fuente: elaboración propia.

Identifique en la figura 66 las casillas en las cuales se representan tres elementos. Escriba a continuación sus símbolos y nombres.

Compare la información de la casilla 1 con la de la casilla 6 y escriba a continuación el resultado de su comparación.

Clasifique la información de las casillas 2, 5 y 6 como sustancias puras o mezclas. Escriba a continuación sus respuestas.

Mezclas:

Sustancias puras:

A partir de la información dada en la casilla 5, calcule la fracción molar de cada componente y escriba a continuación sus resultados, incluyendo el procedimiento seguido para los cálculos.

¿Cuántos moles totales hay en la mezcla?

Fracción molar componente 1

Fracción molar componente 2

Fracción molar componente 3

Escriba a continuación un párrafo resumiendo las ideas centrales del proceso que acaba de realizar.

Relacione la actividad anterior con la estrategia I4C y escriba a continuación las relaciones establecidas.

Lección 5. La importancia de un conocimiento profundo de las relaciones tabla periódica y notaciones espectrales de los elementos

Introducción

Se ha dicho que la tabla periódica y, más concretamente, el conocimiento profundo de sus relaciones con las notaciones espectrales, para quien lo ha construido, se torna en uno de los conceptos nucleares a partir de los cuales es posible diseñar una manera diferente de enseñar y aprender química.

Este grado de diferencia está relacionado, en primer lugar, con el dominio conceptual que cada docente construya de su disciplina en general y de la química en particular. A mayor dominio conceptual, mayor posibilidad de que, una vez establecido, preferiblemente de manera colectiva, un concepto nuclear, el docente pueda orientar el trabajo de los estudiantes hacia formas de ver y concebir tanto la química como su enseñanza en perspectivas diferentes.

En segundo lugar, este dominio se relaciona con el conocimiento básico que acompañe al docente para la enseñanza de esa disciplina. En esta dirección, y tomando como referencia el pensamiento de Berthiaum acerca del conocimiento pedagógico disciplinar específico (DPK, por sus siglas en inglés), es preciso tener presente también un tercer elemento: el conocimiento profesional del docente, su experiencia y la sabiduría construida a lo largo de su ejercicio en el aula y en sus investigaciones (Berthiaum, 2009).

Es en este sentido que se resalta la importancia y el papel de la tabla periódica en la enseñanza de la química; desde allí, a partir de su comprensión, es posible establecer relaciones cada vez más amplias con otros temas al interior de la disciplina y, más allá de ella, con otros campos del saber, como se ilustra mediante los siguientes ejemplos.

Objetivo general

A partir de la comprensión de los conceptos asociados a la tabla periódica y sus relaciones con las notaciones espectrales, analizar y explicar la formación de cationes de los elementos de algunos grupos principales.

Actividad de preparación

Actividad

Objetivo específico. Interpretar y relacionar información en prosa con la presentada en un diagrama.



Figura 67. Esquema de comprensión de lectura en la fase de preparación

Fuente: elaboración propia.

Lea cuidadosamente la introducción de la lección 5 y relacione las ideas principales con las que se presentan en la figura 67. A partir de lo anterior, realice los siguientes ejercicios:

Tres ideas relacionadas con la sigla incluida en 1 son:

Según la lectura, las ideas más relacionadas con la posibilidad de orientar la enseñanza de la química en diferentes perspectivas están marcadas con los números:

De conformidad con la lectura introductoria de esta lección, se recomienda realizar la selección de los conceptos nucleares en forma (marque su respuesta):

☐ Individual por el docente ☐ Colectiva por un grupo de docentes

Sugiera en el espacio en blanco un posible título para la lectura:

Escriba a continuación un pequeño párrafo justificando su sugerencia:

Actividades de proceso

La formación de iones

Introducción

Es bien conocido el hecho de que, cuando una especie química cede electrones, forma otra especie conocida como catión; mientras que, cuando acepta electrones, forma otra especie de carga negativa, denominada anión.

Teniendo en cuenta que, en general, para los elementos de los grupos IA-1 y IIA-2, la terminación de la notación espectral más externa, que representa sus electrones de valencia, es $ns1$ para los del grupo IA-1 y $ns2$ para los del grupo IIA-2, y que estos elementos tienden a perder electrones con facilidad, al hacerlo forman especies químicas con cargas positivas +1 y +2 respectivamente. En otras palabras, forman cationes cuyas notaciones espectrales quedan con la capa externa vacía, con dos electrones o con ocho electrones en la periferia.

En este sentido, es pertinente tener en cuenta que los valores de n para estos dos grupos varían desde $n = 1$ hasta $n = 7$. Es de anotar, sin embargo, que las especies catiónicas no se encuentran como tales de manera independiente; en solución acuosa, por ejemplo, el H^+ se encuentra en la forma solvatada con moléculas de agua, es decir, como H_3O^+ .

Actividad

Objetivo específico. Con base en los electrones de valencia de los elementos que conforman los dos primeros grupos de la tabla periódica, explicar la formación de cationes con notaciones espectrales de cero, dos y ocho electrones en la periferia.

Escriba a continuación la notación espectral del hidrógeno, del litio y del berilio. Para cada uno de ellos determine el número de electrones que

quedan en la superficie del ion formado y diligencie los siguientes espacios en blanco:

Notaciones espectrales:

H Li Be

H⁺ número de electrones del catión

Li⁺ número de electrones del catión

Be²⁺ número de electrones del catión

Actividad

Objetivo específico. Comparar el número de electrones en la periferia de los cationes Li⁺ y Be²⁺ con la notación espectral del gas noble inmediatamente anterior en la tabla periódica.

Con ayuda de las notaciones espectrales, compare el número de electrones en la periferia de cada catión formado, de conformidad con la actividad anterior, con la notación espectral del gas noble inmediatamente anterior y escriba a continuación el resultado de esta comparación.

Actividad

Objetivo específico. Relacionar las notaciones espectrales de los cationes formados en la actividad anterior con las de los elementos Na y Mg.

Realice el mismo ejercicio de la actividad anterior (para los elementos H, Li y Be) con los elementos Na y Mg. Diligencie, para cada uno de estos dos elementos, la respectiva información en los siguientes espacios:

Na^+ número de electrones en la periferia

Mg^{2+} número de electrones en la periferia

Actividad

Objetivo específico. Comparar las notaciones espectrales de los cationes formados en la actividad anterior con las correspondientes a los gases nobles inmediatamente anteriores en su ubicación en la tabla periódica (ver Anexo 1; Stark y Wallace, 1984).

Con ayuda de las notaciones espectrales anteriores, compare el número de electrones en la periferia de cada catión formado con la notación espectral del gas noble inmediatamente anterior y escriba a continuación el resultado de esta comparación.

Combine los resultados de las comparaciones anteriores en un párrafo a manera de generalización para la formación de iones con cero, dos y ocho electrones en la periferia.

Por el procedimiento mediante el cual los elementos ceden electrones para la formación de cationes (iones positivos), es posible explicar también la formación de cationes con 18 electrones en la periferia y su relación con la notación del gas noble anterior.

De esta manera, a partir de las relaciones conceptuales entre la posición que ocupan los elementos en los grupos y períodos de la tabla periódica, se puede continuar con el estudio de la química de los compuestos iónicos, que seguramente son temas con los cuales los estudiantes se encontrarán en cursos posteriores, más allá de la química general.

En cuanto al establecimiento de relaciones de la química con otros campos del saber, es posible citar el intercambio catiónico entre minerales

para formar compuestos distintos. Este proceso natural se conoce como sustitución isomórfica; un ejemplo es la sustitución de los cationes de potasio (K^+) por el ion amonio (NH_4^+) en el feldespato de potasio para producir un mineral menos abundante en la naturaleza, conocido como budingtonita (Barker, 1964; Erd *et al.*, 1964).

El proceso anterior se presenta principalmente en contextos terrestres asociados con procesos geotérmicos acuosos. Así, la química de algunos compuestos iónicos se relaciona directamente con la mineralogía.

En una segunda aproximación a la búsqueda de relaciones de la química con otras disciplinas, es posible asociar la química de los iones con los procesos de meteorización en el contexto de la geoquímica y de la química de suelos, como se deriva del siguiente ejemplo.

Actividad

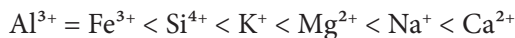
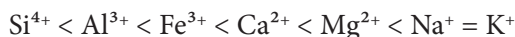
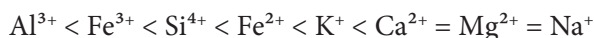
Introducción

Es bien conocido que las rocas formadas a grandes profundidades de la corteza terrestre, cuando afloran a la superficie, son susceptibles de ataque por factores como el viento, la lluvia, la energía solar, las plantas y, más recientemente, los seres humanos. Como consecuencia de estas interacciones, se producen procesos físicos, químicos, biológicos y antrópicos que las descomponen.

Los productos de esta descomposición, con el tiempo, son transportados a distintas distancias de su origen y depositados en las regiones más bajas del relieve terrestre, donde continúan sus procesos de transformación. Aquellos productos solubles en el agua son llevados por las soluciones naturales a los grandes lagos, ríos y, finalmente, a los mares, que actúan químicamente como los más grandes vasos de precipitado, ya que en ellos se produce una gran cantidad de reacciones químicas entre los

diferentes componentes provenientes de los continentes y de la atmósfera, principalmente.

Quizá uno de los procesos de meteorización química —y tal vez el primero de ellos— es la disolución de los minerales que conforman las rocas. Por este proceso se liberan diferentes componentes químicos de los minerales que se descomponen; de estos productos de la desintegración de las rocas, los más solubles constituyen la química de soluciones naturales. Para ilustrar el caso que nos ocupa, es posible tomar del trabajo de Chesworth, mencionado por Cárdenas (1987) con algunas modificaciones de notación, las series de movilidad de los cationes de los metales del primero y segundo grupos de la tabla periódica:



Objetivo específico. Explorar las relaciones conceptuales entre los cationes que se forman para algunos elementos y su movilidad en los procesos de meteorización química en ambientes naturales.

Analice detenidamente las series de movilidad de los cationes en soluciones acuosas. En estas series, los cationes están ordenados según su facilidad de movilidad en el agua. A partir de su análisis, complete los siguientes espacios:

En sus propios términos, escriba a continuación una lectura de la primera serie:

Teniendo en cuenta las series de movilidad propuestas por Chesworth, indique cuáles son los cationes más solubles y, por tanto, transportados por el agua a lugares muy alejados de donde se formaron; y cuáles son los menos solubles y tienden a permanecer en el lugar de origen.

- ▶ Más solubles y, por tanto,
- ▶ Menos solubles y, por tanto,

Cuando este proceso se lleva a cabo de manera acelerada y por largos períodos de tiempo en un determinado lugar, las consecuencias para el deterioro de los suelos pueden ser drásticas.

Consulte y escriba a continuación algunas consecuencias de la erosión avanzada de los suelos. Relaciónelas con los posibles problemas sociales que se derivan de este estado de los suelos:

Actividades de producto

Objetivo específico. Relacionar y aplicar algunos de los conceptos aprendidos a las dinámicas químicas que se presentan en los suelos.

Una de las interacciones que se presentan entre las especies que integran la química de los suelos se representa en la figura 68. Cuando este proceso se da a gran escala, la absorción de potasio por las plantas contribuye a la disminución del pH de los suelos y, por tanto, tiende a favorecer su acidez.

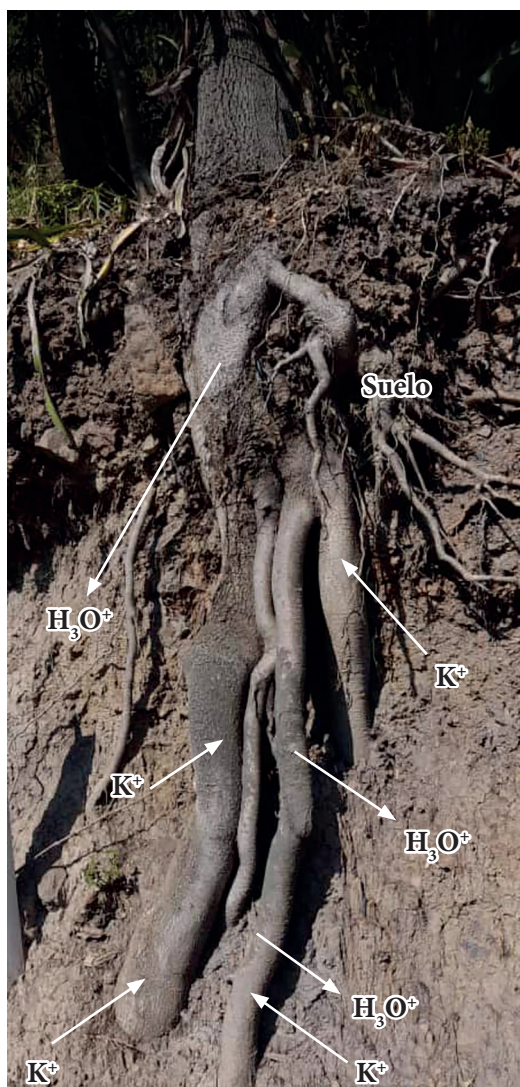


Figura 68. Representación de una situación particular del intercambio de especies químicas entre los nutrientes del suelo y las plantas

Fuente: elaboración propia a partir de la fotografía del archivo personal del autor y Hill y Kolb (1999).

Observe detenidamente la figura mencionada y describa a continuación el proceso que se ilustra:

Lección 6. Tabla periódica y enlaces químicos

Introducción

La tabla periódica, su estructura y el cambio que presentan algunas de las propiedades de los elementos en los grupos y períodos se han presentado en las lecciones anteriores como una puerta de entrada a diferentes temas de la química. No cabe duda de que, por este camino, se puede avanzar hacia una enseñanza y aprendizaje de esta ciencia en la perspectiva de que quienes la sigan construyan visiones más amplias y relacionales, a partir de las cuales puedan generar sus propias formas de pensar este campo del saber y sus relaciones con la misma química y con otros campos científicos, con seguridad y confianza en sí mismos.

La tabla periódica y los enlaces químicos, tema de esta lección, constituyen una ampliación que profundiza en el tratamiento de un aspecto que ayuda a perfeccionar el camino que se ha venido abriendo en la perspectiva anterior.

Actividades de preparación o de presagio

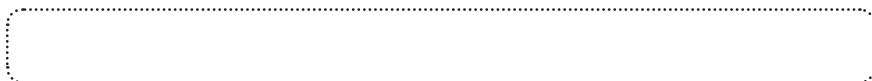
Objetivo general

Construir una perspectiva global de la tabla periódica y sus relaciones con las distribuciones electrónicas en los elementos de las regiones s, p y d, en términos de la posibilidad de formar enlaces químicos. Expresar esta perspectiva mediante una estructura visual en la que se muestren estas relaciones.

Actividad

Objetivo específico. Analizar y explicar algunas relaciones entre la forma de los subniveles y orbitales atómicos s y p con la formación de enlaces químicos entre los elementos.

Consulte la forma que tienen las regiones espacio-energéticas de mayor probabilidad electrónica (reempes), correspondientes a los subniveles s y p. Para este propósito puede apoyarse en el anexo 2. Elabore a continuación un modelo de sus nubes electrónicas para cada uno de estos subniveles:



Asuma que, en el centro de una de esas nubes s, se encuentra el protón de un átomo de hidrógeno y, a su alrededor, su único electrón. Dibuje ese modelo a continuación.



Ahora, dibuje el mismo modelo para otro átomo de hidrógeno a una distancia X cualquiera y asuma que se acercan desde el infinito hasta superponerse y aproximarse tanto que las fuerzas de repulsión de los protones, de carga positiva, ya no lo permiten más.

Este proceso conduce a dos posibilidades: que los átomos se mantengan unidos o que se separen. En el primer caso, se forma una molécula diatómica de H_2 ; en el segundo, el sistema resulta inestable y los átomos se separan. Si los átomos permanecen unidos, se ha formado un enlace σ , caracterizado por su gran estabilidad.

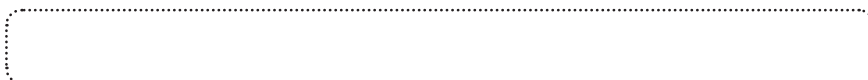
Dibuje el proceso descrito en el siguiente espacio:



Actividades de proceso

Objetivo específico. Seleccionar, a partir de fuentes de información química, conceptos asociados a la terminología de esta ciencia y aplicarlos a la explicación de algunos enlaces químicos.

Consulte las condiciones necesarias para que se forme un enlace estable por superposición de orbitales atómicos y escríbalas a continuación. Incluya en su consulta conceptos como enlace químico, spin de un electrón y sus valores, número de electrones necesario para formar un enlace y número de electrones presentes en los orbitales que se superponen para formarlo:



Actividad

Objetivo específico. Analizar y explicar la estabilidad de los gases nobles en función de sus notaciones espectrales.

El desarrollo de la actividad anterior debió conducirlo a la conclusión de que, en la formación de muchos enlaces químicos, se requieren orbitales que tengan electrones desapareados.

Teniendo en cuenta esta descripción, ahora desarrolle la misma actividad para el elemento helio a partir de su notación espectral $1s^2$. Analice

cuidadosamente esta notación y diga si es posible o no, según esta perspectiva, que se forme una molécula de He_2 . Escriba y explique a continuación su respuesta.

Se puede formar una molécula diatómica de He_2 porque:

No se puede formar la molécula de He_2 porque:

Consulte la formación de esta molécula de conformidad con otra teoría del enlace químico y resuma su consulta a continuación:

La línea de razonamiento anterior puede seguirse para explicar la estabilidad de los gases nobles, al no tener electrones desapareados. La existencia de moléculas diatómicas, en principio, se da cuando los elementos en forma atómica presentan electrones desapareados.

Más adelante, seguramente en cursos de química inorgánica estructural, los estudiantes tendrán la oportunidad de explicar por estos procedimientos algunas moléculas heteroatómicas, es decir, formadas por elementos diferentes.

Igualmente, se puede seguir el análisis para construir modelos de formación de enlaces donde intervienen orbitales s y p, como en el caso de las moléculas del berilio, Be_2 , y el BeCl_2 , y posteriormente construir el concepto de hibridación para, de esta manera, adentrarse en las teorías del enlace e incluso de la química orgánica.

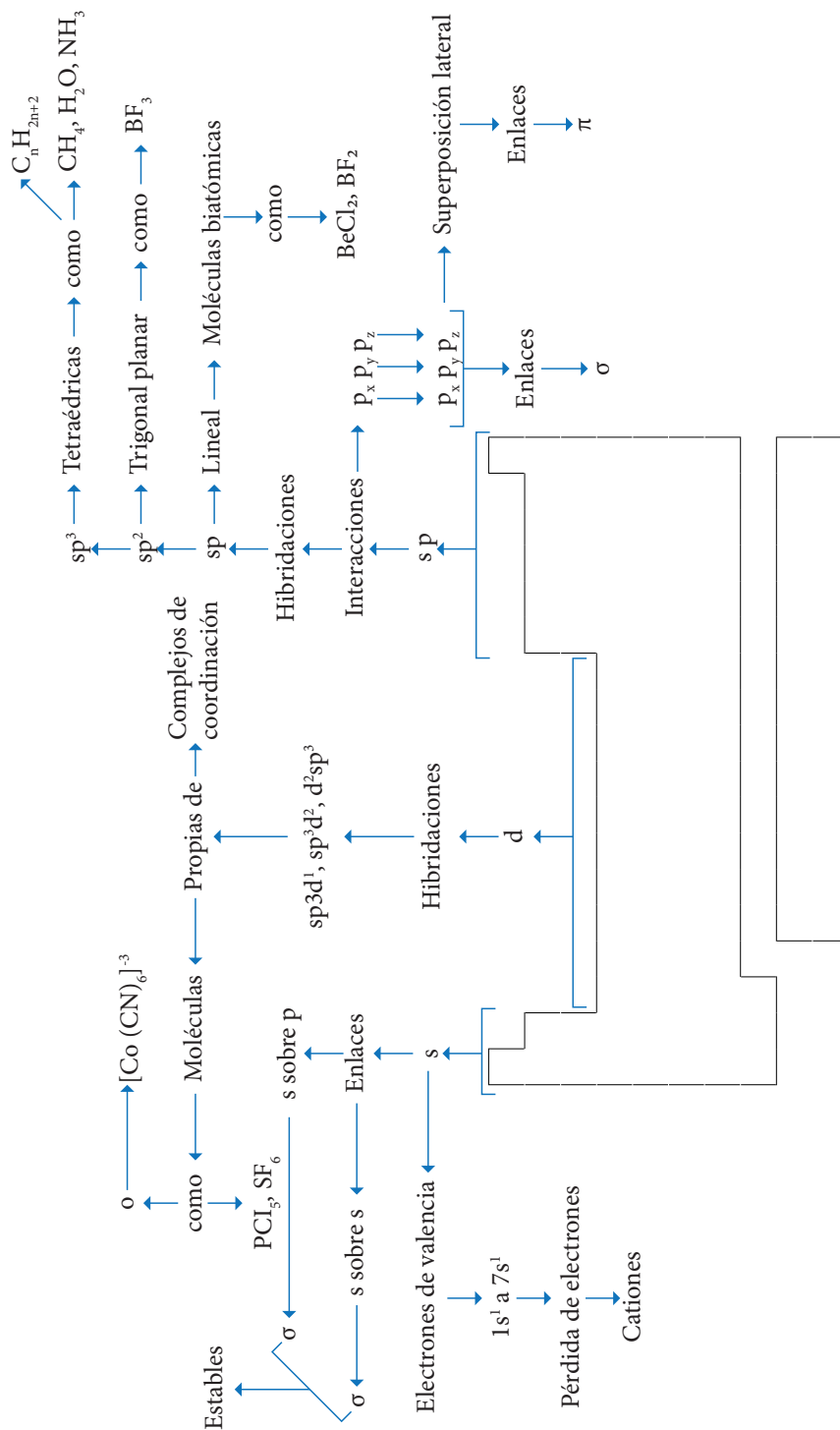


Figura 69. Panorama de la tabla periódica y relaciones con otros temas de la química como los enlaces químicos

Fuente: elaboración propia.

Como se puede deducir del diagrama anterior (figura 69), desde la estructura de la tabla periódica y sus relaciones con las notaciones espectrales es posible fomentar, en docentes y estudiantes, la construcción de visiones amplias de la química general como plataforma para valorar y determinar la importancia de esta ciencia y sus vínculos con conceptos y estructuras propias de la química, pero también con otros campos del conocimiento; en los casos antes mencionados, a manera de ilustración, con la mineralogía y la geoquímica.

Con la mineralogía, en la medida en que, por la vía del estudio de las sustituciones isomórficas de los cationes —cationes semejantes en tamaño que se sustituyen en los silicatos— y sus procesos de disolución, se da paso a las dinámicas de meteorización química en la corteza terrestre, la formación y evolución de los suelos e incluso su deterioro, que finalmente conduce a la formación de lateritas. Estas lateritas están constituidas principalmente por óxidos de aluminio y silicio, como productos más estables de la ruta de meteorización química, y son abundantes en los suelos altamente erosionados.

De este modo, se está al borde del tratamiento de una de las problemáticas ambientales actuales: las relaciones entre la producción de alimentos, el crecimiento poblacional y el deterioro de los suelos. Temas como estos no solo están incluidos en las agendas actuales de discusión y análisis, sino que también resultan apropiados para llevar a cabo actividades en las cuales los estudiantes aprendan y evolucionen en operaciones cognitivas como la discusión argumentada. La producción de escritos sobre estos temas puede convertirse en un escenario para el mejoramiento de la competencia escritural y del trabajo en equipo, entre otros aspectos.

Por otra parte, de conformidad con las notaciones espectrales ilustradas en las diferentes rutas de la figura 69, se puede percibir la búsqueda de relaciones con las teorías del enlace. Para este caso, básicamente, se ha tomado de manera parcial la teoría de los electrones de valencia. Desde

esta teoría, los elementos se enlazan mediante la superposición de orbitales parcialmente llenos y su extensión a través del modelo teórico de la mezcla de orbitales puros da origen a nuevos orbitales híbridos con orientaciones particulares en el espacio y con la misma energía.

Nótese que esta línea de razonamiento compromete operaciones cognitivas de alto nivel, como modelar, abstraer, generalizar, relacionar y sintetizar, las cuales corresponden a los intervalos superiores SOLO: relacional, multirrelacional (multiestructural) y abstracto extendido (Biggs y Tang, 2011; Biggs y Kennedy, 2022; Soler, 2015). Por esta vía, la enseñanza de la química general puede conducir a otros ámbitos de la disciplina, como la química orgánica, la inorgánica estructural y la química de los complejos de coordinación.

El valor de la función del docente y de la
responsabilidad de los estudiantes

Una mirada general de las actividades propuestas en las lecciones anteriores seguramente invita a muchos lectores a preguntarse si nuestros estudiantes están preparados para asumir su propia construcción de conocimiento a partir de enfoques como este.

Seguramente, al comienzo no mucho, pero en coherencia con el AC y el aprendizaje activo, se aprende haciendo (Brown y Shavelson, 1996; Biggs y Tang, 2011; Biggs *et al.*, 2022). Se aprende a construir conocimiento construyéndolo; se aprende a poner en práctica y desarrollar las operaciones cognitivas de orden básico, intermedio y superior ejercitándolas; se aprende a aplicar conocimiento aplicando lo que se aprende; a relacionar, relacionando; a elaborar generalizaciones, haciendo generalizaciones; a investigar, investigando.

Esta es la monumental tarea de los docentes colombianos que acogen la perspectiva del AC: generar compromiso y responsabilidad en sus estudiantes para el desarrollo de sus propias operaciones cognitivas y, con ellas, aprender a construir y dar uso al conocimiento adquirido.

También es una tarea cada vez más apremiante para los docentes propender por el mejoramiento de la capacidad de los estudiantes para escribir. En esta dirección se han orientado gran parte de las actividades anteriores: estimular esa capacidad de escritura que parece desvanecerse rápidamente en los estudiantes.

De manera particular, a lo anterior habría que adicionar, de conformidad con Biggs (2010), por lo menos dos de las tres responsabilidades para los profesores en acción encargados de formar al profesorado: “Enseñar a sus estudiantes a tratar con personas y servir de consejero en relación con el mejoramiento de la enseñanza a la unidad institucional en la cual labora” (Biggs, 2010, p. 277).

Un aspecto muy importante, entre muchos otros, para el docente en esta dirección es mantener siempre la atención de los estudiantes en no olvidar que se está trabajando en las dimensiones submicroscópica y simbólica de la química. La carencia de esta claridad conceptual es quizá una de las principales fuentes de dificultad en el aprendizaje.

En apoyo de la función del docente, desde la teoría del AC, se encuentra la necesidad de crear y mantener en sus espacios de docencia un ambiente dinámico de aprendizaje. Es necesario mantener continuamente a los estudiantes en acción. Con este propósito se han diseñado las actividades de enseñanza-aprendizaje de las lecciones anteriores, de conformidad con la literatura mencionada, que no pasan de ser ilustraciones y sugerencias.

Actividades de producto

Actividad

Objetivo específico. Interpretar información química presentada en diagramas, como el representado en la figura 70, y transformarla en textos escritos.

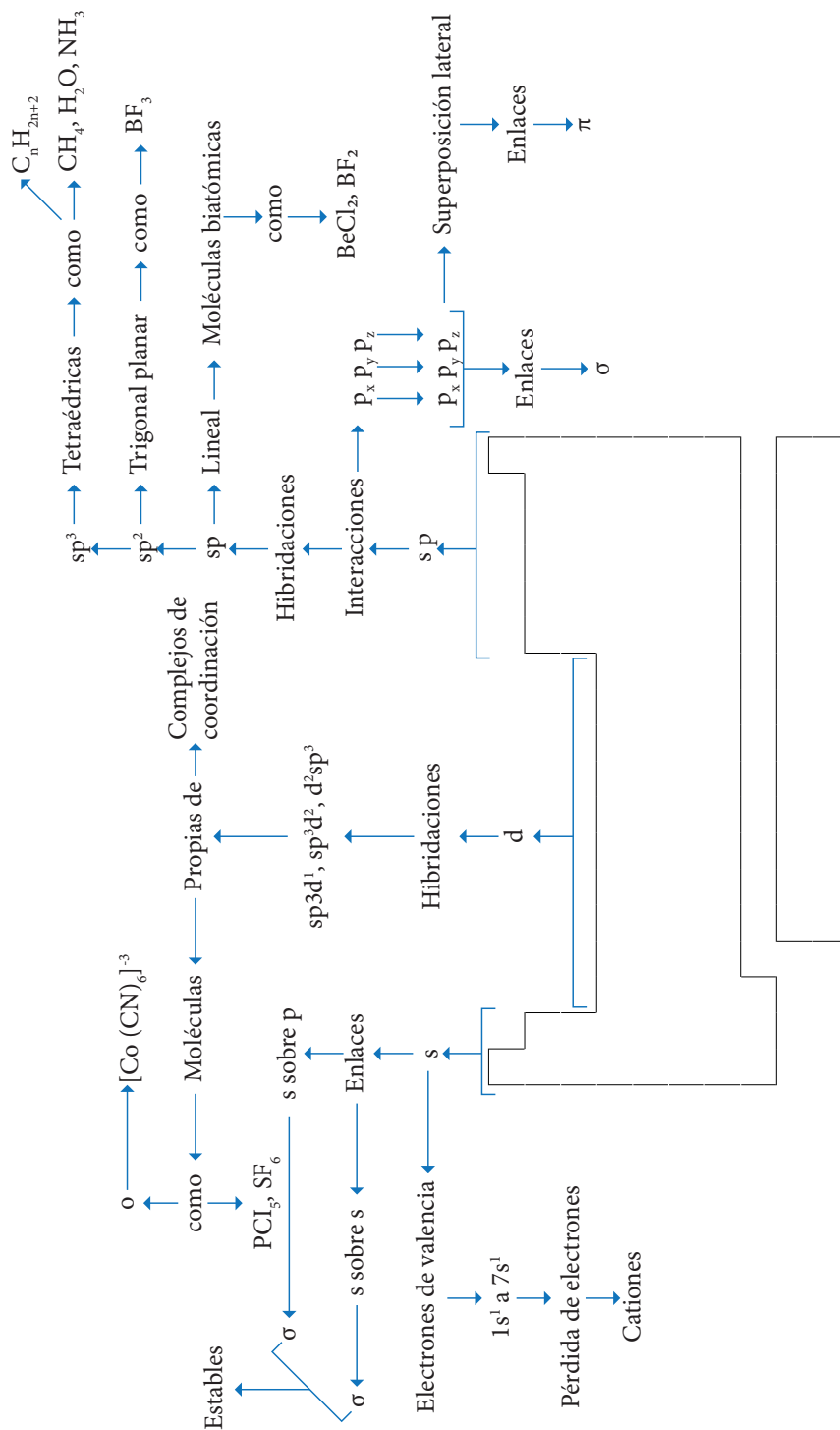


Figura 70. Tabla periódica y relaciones internas de la química para realizar actividades de producto

Fuente: elaboración propia.

Actividad

Objetivo específico. Relacionar y aplicar algunos conocimientos contruidos a partir del estudio de las lecciones anteriores con la formación de cationes de los elementos más pesados de los metales alcalinos.

En la figura 70 siga la ruta de la parte baja izquierda del diagrama, interprétela y escriba un párrafo explicando la formación de cationes para los elementos potasio (K) y rubidio (Rb), a partir de la facilidad de estos elementos para ceder electrones.

Actividad

Objetivo específico. Relacionar y aplicar algunos conocimientos contruidos a partir del estudio y la consulta bibliográfica para explicar la manera como se forman los enlaces sigma, σ , y pi, π .

De conformidad con el procedimiento anterior, repítalo, pero ahora para la ruta de la parte baja del lado derecho de la figura 70, enfocándose en la formación de enlaces sigma, σ , y pi, π . Escriba a continuación su interpretación.

Actividad

Objetivo específico. Sintetizar de manera escrita la interpretación realizada a partir de información química presentada de manera global en una visual.

Observe y analice detenidamente la figura 70 y, a partir de su observación, escriba un párrafo de síntesis con las ideas principales derivadas de sus procesos de análisis.

Actividad

Objetivo específico. Sintetizar de manera escrita los resultados de la abstracción realizada para la estructura de la tabla periódica presentada en forma visual.

Observe y analice la figura 63 (página 299) y construya, a partir de la dirección de las flechas, una comparación de la variación de la electronegatividad en sus grupos y períodos.

Actividad

Objetivo específico. Interpretar y aplicar algunos conocimientos conceptuales de la química a la realización de ejercicios que implican operaciones matemáticas sencillas.

Asumiendo que, mediante un proceso de combustión incompleta de la madera, usted logró producir carbono de muy alta pureza, ¿cuántos gramos de ese carbón debería pesar exactamente para vender un mol del elemento? A partir de la interpretación de esta actividad, realice los siguientes ejercicios.

Escriba a continuación los procesos llevados a cabo para la solución de la situación anterior.

Elabore un diagrama con el mayor número de conceptos asociados a los cálculos llevados a cabo.



Describa a continuación alguna dificultad, si la tuvo, que le limitó la realización de los cálculos con éxito.



Actividad

Objetivo específico. Aplicar algunos conceptos químicos particulares a situaciones de la cotidianidad como una aproximación para extender la química más allá de los contextos escolares.

En el supermercado usted puede comprar un kilo de sal de potasio (KCl). Si la sustancia que compra fuera completamente pura, ¿cuántos moles de KCl habría comprado?

Escriba a continuación, con sus propias palabras, el proceso mediante el cual busca la solución de la situación y, más allá de expresar los resultados en términos de moles, indique en qué otras unidades podría reportarlos. Justifique sus respuestas en el siguiente espacio.



Actividad

Objetivo específico. Seleccionar y relacionar información química asociada con las actividades de producto propuestas para esta lección.

Seleccione una de las lecciones descritas y compare el tipo de actividades presentadas como producto con las propuestas como actividades de proceso. Escriba a continuación una comparación entre aquellas que se relacionan con propiedades sensibles a los sentidos humanos y las que no lo son. Explique su respuesta. Tenga en cuenta que el nivel simbólico siempre está presente.



Implicaciones del enfoque de enseñanza anterior en los diseños curriculares

Básicamente, el enfoque seguido en las lecciones anteriores para la enseñanza de la química conlleva cuatro pilares teóricos básicos: la organización de la enseñanza bajo las orientaciones del AC; en coherencia con lo anterior, la transformación paulatina de la clase magistral tradicional hacia un ambiente de enseñanza y aprendizaje más activo, en el cual se crean condiciones para que los participantes elaboren activamente sus propios conocimientos como formas particulares y globales de ver y explicar el mundo; la selección, por parte del docente, de conceptos, eventos o expresiones nucleares; y una forma de evaluación que refleje más de cerca lo que acontece en el contexto del aula.

Extendiendo las ideas anteriores hacia los diseños curriculares, los conceptos nucleares pueden tomarse como puntos de partida para la organización de currículos no solamente para los componentes, cursos o espacios académicos que los integran —como en el caso de los temas ilustrados en las lecciones anteriores para la química general—, sino también para la propuesta de reestructuración y/o diseños alternativos de esos planes

de formación profesional en su totalidad (Biggs y Tang, 2011). Una idea complementaria a esta se encuentra en los trabajos de Cisternas *et al.*, (2025) quienes, en el contexto de la educación por competencias, reportan un estudio “que evalúa la alineación constructiva de un programa de educación continua basado en competencias, generado mediante herramientas de inteligencia artificial” (p. 43).

Mientras que el enfoque ilustrado a lo largo de este capítulo procura la construcción, por parte de los estudiantes, de visiones relacionales más amplias de la química, tanto hacia su interior como hacia otros contextos científicos, para los cursos o espacios particulares es responsabilidad de cada profesor. La generalización del enfoque para todo un plan de estudios necesariamente ha de ser una tarea acometida conjuntamente por toda la comunidad académica de cada unidad, departamento o facultad que lo acoja.

En cualquiera de los dos casos mencionados, esa transformación pasa por acciones intencionadas para lograr que los docentes se familiaricen con el enfoque del AC y, de manera comprometida, lo lleven a sus aulas de clase.

No se desconoce, con lo anterior, la importancia que en la actualidad amerita la reflexión y aplicación de las tecnologías de la información y la comunicación en la educación y, más concretamente, en el aula de clase; por el contrario, puesto que equipos como los celulares son objetos nucleares de aprendizaje activo por excelencia —difícilmente se observa un usuario de celular interactuando con él de manera distraída, inactiva o desatenta—, una buena aproximación educativa es integrarlos, conjuntamente con otros equipos, a la clase de manera intencionada y como fuente de información concreta que ha de ser transformada en conocimiento por cada estudiante.

En este sentido, parafraseando a Michel Serres, si todo está en la red —léase, toda la información química de calidad, para este caso—, queda a los docentes como tarea orientar el uso de estos equipos en dirección al fortalecimiento y la evolución de las operaciones cognitivas de los estudiantes, y enfatizar la estructuración de un pensamiento racional y relacional (Serres,

2014). Es pertinente recordar que, en la actualidad, como siempre, los instrumentos tecnológicos actúan como un medio de apoyo a la labor docente.

Una visión panorámica de las ideas presentadas en las páginas anteriores

Por lo menos parte de las ideas centrales planteadas en las páginas anteriores y resumidas en la figura 76 se sintetizan a continuación.

Por una parte, los desarrollos de la psicología del aprendizaje han aportado a la educación explicaciones acerca de las formas como aprenden los seres humanos en sus procesos de adaptación al ambiente; estos aportes, sin embargo, en principio revestían un carácter general y dejaban a los especialistas lo relacionado con la enseñanza y el aprendizaje de las disciplinas como tales. Por otra parte, con el tiempo, la investigación en el aprendizaje y la enseñanza de las disciplinas ha comenzado a dar sus frutos y, en la actualidad, estas dos perspectivas confluyen cada vez más en beneficio del mejoramiento de los procesos docentes y de aprendizaje de las ciencias y, de manera más concreta, de la química. En realidad, en favor del mejoramiento de las aproximaciones a la enseñanza y al aprendizaje de las ciencias y, por lo tanto, de la química, se asiste hoy a una afortunada concurrencia de diferentes campos del saber científico y tecnológico que promete un mejor futuro para la educación en ciencias.

Construyendo sobre gran parte de los logros anteriores, el AC, en una perspectiva integradora, ofrece una orientación más para el mejoramiento de la enseñanza de las disciplinas en general y, en consecuencia, de la química en particular. Es pertinente dejar claro que dicha perspectiva se ubica en un contexto amplio de factores complejos y complementarios que, desde diferentes ángulos, han venido generando una necesidad de cambio en la educación y en la enseñanza. Aquí se hace referencia al ingreso de la tecnología en la sociedad en general y en el aula de clase en forma concreta, como factor determinante de la llamada cuarta revolución industrial, uno de los principales impulsores de esta transformación.

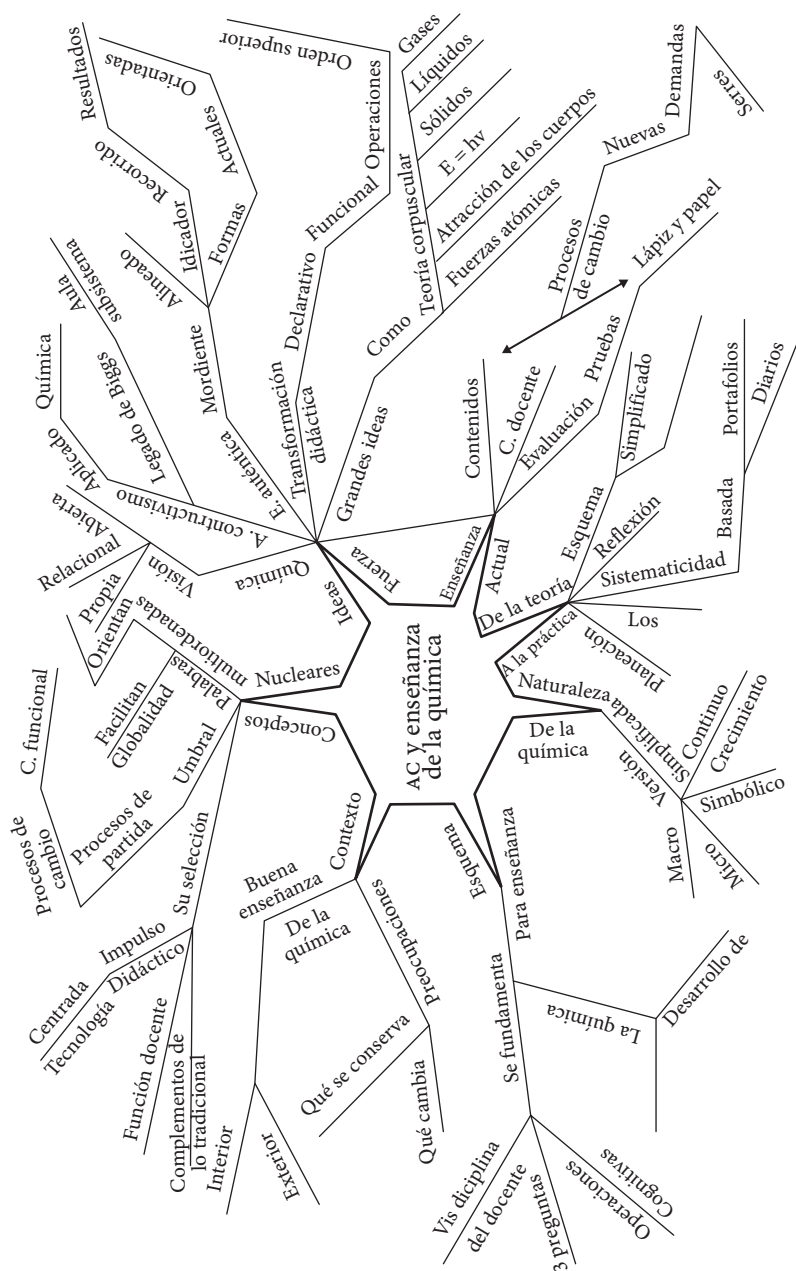


Figura 71. Síntesis de ideas expuestas en el capítulo III

Fuente: elaboración propia.

Aparece así una oportunidad más, asociada a los desarrollos del Espacio Europeo de Educación Superior, para reorientar la enseñanza de las ciencias hacia horizontes más amplios, en los cuales un estudiante, además de ser responsable de la elaboración de sus relaciones conceptuales, adquiera una forma de pensar la química con proyección explicativa y relacional, tanto hacia el interior de esta ciencia como hacia otros campos del conocimiento, con fundamento en el desarrollo de operaciones de pensamiento superior. Se propende, de esta manera, por una transformación del aprendizaje de la química hacia el conocimiento funcional, con prioridad en el aprendizaje de conceptos o en el aprendizaje declarativo.

Haciendo eco al pensamiento del filósofo francés Michel Serres, el contexto dentro del cual ha de promoverse la transformación mencionada está apalancado también por los cambios que, en la actualidad, se observan en los estudiantes y en el objeto del aprendizaje. En relación con los estudiantes, la población universitaria actual presenta comportamientos e intereses distintos de aquellos que tradicionalmente asistían a la universidad: sus intereses y motivaciones están altamente direccionados por los múltiples y variados canales de información y comunicación; su comportamiento en el aula también es diferente, y la captación de su atención o de su silencio por parte del docente es cada vez más difícil de mantener en clase. Esto, sin mencionar su carácter pasivo y poco participativo, matizado por una sensación de apatía y desinterés por el cumplimiento de sus responsabilidades académicas, con muy pocas excepciones.

A los cambios perceptibles en el comportamiento de los estudiantes se suma también una variación en la ubicación del objeto del aprendizaje y en los espacios donde este proceso se realiza. Como lo describe Serres, la información química —por ejemplo, aquella que debe ser transformada en conocimiento— ya no está “quieta” en una biblioteca o en los libros de texto: se desplaza con cada estudiante de un lugar a otro en el interior de un celular o de un computador, y el lugar de estudio puede variar desde la sala de una biblioteca hasta un parque. En contextos crecientes como los

mencionados, los desafíos para los docentes se multiplican y se matizan cada vez más con incertidumbres y temores: ¿qué se cambia?, ¿qué permanece?, ¿cuál es mi función?

Camino a orientar una transformación didáctica de la química, quizá sirvan de apoyo los denominados conceptos nucleares, originados en el pensamiento de Tony Buzan hacia finales de los años ochenta del siglo xx bajo la denominación de palabras o expresiones multiordenadas en el campo de la educación en economía.

Parafraseando al autor mencionado, los conceptos nucleares, propuestos como punto de partida para la autoconstrucción de una visión panorámica pero relacional de ideas centrales de un tema de química o de un curso en particular, son conceptos, expresiones, términos u objetos fáciles de recordar, que preferencialmente pertenezcan al vocabulario especializado en química, pero que a la vez sean de uso común por los estudiantes y que polaricen el mayor número de ideas asociadas con el núcleo de referencia.

Dentro de los límites de las diferencias individuales, pero producto de la autorreflexión de un estudiante o de un docente acerca de un tema determinado o curso en particular, su construcción requiere, como todo aprendizaje, de un proceso consciente y comprometido de elaboración durante un tiempo específico. Para algunos, este tiempo puede ser corto; para otros, un poco más largo. Sin embargo, lo que al comienzo puede considerarse dispendioso se ve recompensado con creces en el momento de realizar un repaso, una presentación o una síntesis de las ideas fuerza presentes en el tema estudiado.

Su utilidad en el aula varía de conformidad con la competencia académica del docente, el contexto disciplinar y los objetivos para los cuales sean empleados por él. En cualquier caso, representan una “fotografía mental” de lo más importante de un objeto de estudio. Resultan, en este momento, muy pertinentes, cuando los detalles acerca de esas ideas principales están a disposición inmediata de los usuarios mediante una entrada

a las grandes autopistas de la información centralizadas en un celular, un computador u otro tipo de instrumento tecnológico. En este sentido, conjugando una didáctica orientada a las grandes ideas científicas y los conceptos nucleares, presentan un alto potencial de apoyo para la autoformación de visiones relacionales de la química como un paso esencial para la posterior profundización y especialización en sus diferentes campos.

Ahora bien, la idea de los conceptos nucleares, la aproximación a pensar la educación como un gran sistema compuesto por subsistemas y, en particular, la clase como uno de ellos, las ideas del AC, la evaluación auténtica y el isomorfismo entre las estrategias para enseñar y aprender con las de evaluación, conjuntamente con el compromiso y la responsabilidad del estudiante bajo la guía de un docente, en un contexto favorable a la transformación didáctica, se constituyen en una plataforma apropiada y prometedora para la autoconstrucción del aprendizaje de la química y la autoformación.

Puesto que esta plataforma debe construirse sobre otra de naturaleza tradicional, fincada en una larga historia y predominio que la dotan de cierta consolidación en nuestro medio, de una parte, el comienzo de su construcción ha de ser inmediato, y de otra, es preciso reconocer que su progreso e instalación completa seguramente procederán en un largo tiempo.

Lo anterior, en razón de que, si bien el AC procede —coloquialmente hablando— de la cotidianidad, su ingreso práctico al aula de clase y, sobre todo, su sostenimiento allí no necesariamente es tan fácil. Requiere un proceso de tiempo y de familiarización, por parte de docentes y estudiantes, especialmente con las fuentes de recolección de información con fines de evaluación auténtica, la elaboración y revisión de miniproyectos e informes, así como el diseño, elaboración y diligenciamiento de portafolios, diccionarios y diarios de aprendizaje, entre otras formas.

Esto sin ahondar en la planeación de la enseñanza en términos del modelo 3P, la taxonomía SOLO y las didácticas activas, que, como quedó establecido, son solamente guías y orientaciones para una enseñanza de la química alineada en un aula de clase que, día a día, se transforma en un espacio de actividad continua del estudiante para la construcción de sus propios aprendizajes. Todo ello orientado por objetivos establecidos en términos de resultados observables, como evidencias de que los estudiantes ahora saben y saben hacer lo que no podían antes del curso, en relación con una ciencia de naturaleza altamente abstracta y de la cual, en el aula, solo se ofrece una visión simplificada y de forma acelerada.

Finalmente, en relación con las seis lecciones de química planteadas, es preciso dejar claro que no se trata de sentar cátedra acerca de cómo hacer una enseñanza alineada. Por el contrario, y es la intención de presentarlas sin ningún orden en particular ni con una estructura uniforme, se busca invitar a los docentes —tanto en formación como en ejercicio— a pensar enfoques diferentes para un ejercicio más dinámico de sus funciones en el aula.

Se los invita, especialmente, a crear en los y las estudiantes expectativas de largo alcance, no solamente en su formación como maestros, sino también, y prioritariamente, en su vida como profesionales, fincados en un sólido conocimiento de sí mismos y en el desarrollo de sus operaciones cognitivas de orden superior. Son estas operaciones cognitivas los ingredientes fundamentales para la construcción de hábitos de autorreflexión como punto de partida para continuar aprendiendo durante toda la vida, como estrategia de adaptación de los seres humanos a sus diferentes ambientes.

Referencias

- Ackoff, R. L. (1999). *Recreación de las corporaciones: Un diseño organizacional para el siglo XXI*. Oxford University Press.
- Alonso, C. M., Gallego, D. J. y Honey, P. (1994). *Los estilos de aprendizaje: procedimientos de diagnóstico y mejora*. Ediciones Mensajero.
- Ausubel, D. P. (1968). *Educational psychology: A cognitive view*. Holt, Rinehart and Winston.
- Bain, K. (2014). *Lo que hacen los mejores estudiantes de la universidad*. Publicacions de la Universitat de València.
- Barker, D. (1964). *Ammonium In Alkali Feldspars*. *The American Mineralogist*, 49(7-8), 851-858. http://www.minsocam.org/msa/collectors_corner/amtoc/toc1964.htm
- Bartley, W. A. (1995). *A framework For Validation Of The Use Of Performance Assessment In Science* [Tesis doctoral, The University of British Columbia]. <https://open.library.ubc.ca/media/download/pdf/831/1.0054788/1>
- Beltrán, F. F., Bulwik, M., Lastres, L. y Vidarte, L. (1999). *Reflexiones sobre la enseñanza de la química en distintos niveles EGB-Polimodal*. Magisterio del Río de la Plata.
- Bertalanffy, L. V. (1968). *Teoría general de los sistemas*. Fondo de Cultura Económica. <https://fad.unsa.edu.pe/bancayseguros/wp-content/uploads/sites/4/2019/03/Teoria-General-de-los-Sistemas.pdf>

- Berthiaume, D. (2009). *Teaching In The Disciplines*. En H. Fry, S. Ketteridge y S. Marshall (Eds.), *A handbook for teaching and learning in higher education: Enhancing academic practice* (3.^a ed., pp. 215-225). Routledge.
- Biggs, J., Tang, K. y Kennedy, G. (2022). *Teaching For Quality Learning At University* (5.^a ed.). McGraw-Hill; Open University Press.
- Biggs, J. (2014). *Constructive Alignment In University Teaching*. HERDSA News. https://www.tru.ca/__shared/assets/Constructive_Alignment36087.pdf
- Biggs, J. y Tang, C. (2011). *Teaching For Quality Learning At University: What The Student Does* (4.^a ed.). Open University Press; McGraw-Hill.
- Biggs, J. (2010). *Calidad del aprendizaje universitario* (P. Manzano, Trad.). Narcea.
- Biggs, J. (1999). What The Student Does: Teaching For Enhanced Learning. *Higher Education Research y Development*, 18(1), 57-75. <https://doi.org/10.1080/0729436990180105>
- Biggs, J. (1993). What Do Inventories Of Students' Learning Processes Really Measure? A Theoretical Review And Clarification. *British Journal of Educational Psychology*, 63(1), 3-19.
- Biggs, J. (1987). *Student approaches to learning and studying*. <https://files.eric.ed.gov/fulltext/ed308201.pdf>
- Bloom, S. B., Hastings, T. J. y Madaus, F. G. (1975). *Evaluación del aprendizaje* (Vol. 1). Troquel.
- Bogoya, M. D., Vinent, S. M., Jurado, V. F., Pérez, A. M., Caicedo, A. M., Oliveros, G. G., Parra, S. F., Cárdenas, F. A., Sellares, G. J. y Torrado, M. C. (2000). *Hacia una cultura de la evaluación para el siglo XXI: Evaluación de competencias básicas*. UNIBIBLOS.
- Bohórquez, L. J. y Castelblanco, C. K. I. (2021). *El aprendizaje experiencial de Kolb y la enseñanza de algunas propiedades periódicas de los elementos de la tabla periódica: Una experiencia a través de un diario de aprendizaje* [Trabajo de grado, Universidad Pedagógica Nacional]. <http://repository.pedagogica.edu.co/bitstream/handle/20.500.12209/17385/Aprendizaje%20Experiencial.pdf?sequence=6&isAllowed=y>
- Bransford, J. D. y Stein, B. S. (1988). *Solución ideal de problemas*. Editorial Labor.

- British Council y Secretaría de Educación de Bogotá. (2017). *Escuelas formadoras y maestros de maestros: Propuesta EFMMA. Estructura del piloto, antecedentes y referentes*. <https://sa1db5d8e45e850f0.jimcontent.com/download/version/1507234600/module/13535768035/name/PRESENTACION%20CONVENIO%20LZ%20british.pdf>
- Brown, H. J. y Shavelson, J. R. (1996). *Assessing Hands-On Science: A Teacher's Guide To Performance Assessment*. Corwin Press.
- Bruner, J. S. (1971). *Toward a Theory Of Instruction*. Oxford University Press.
- Bueno i Torrens, D. (2019). *Neurociencia aplicada a la educación*. Síntesis.
- Buzan, T. (1989). *Use Your Head*. BBC Books.
- Calvin, D. A. (1971). *Estudios sobre enseñanza programada: Moderno sistema de educación*. Limusa-Wiley.
- Cárdenas, F. A. (2023). *EFMMA en la Universidad Pedagógica Nacional: Informe de su desarrollo*. Departamento de Química, Universidad Pedagógica Nacional.
- Cárdenas, F. A. (2022). Alineamiento constructivo y evaluación auténtica: Orientaciones teóricas complementarias para la enseñanza de la química. En D. Parga (Ed.), *Educación en ciencias y matemáticas: Contextos, desafíos y oportunidades* (Cátedra Doctoral n.º 13). Universidad Pedagógica Nacional.
- 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&ycontext=ap>
- Cárdenas, F. A. (1990). *Informe de actividades de pasantía internacional*. Departamento de Química, Universidad Pedagógica Nacional; Centre for Science Education, University of Glasgow.
- Cárdenas, F. A. (1987). *The Geochemistry Of A Late Precambrian Weathering Profile Northwest Scotland* [Tesis doctoral, University of Strathclyde].
- Cárdenas, F. A. y Pastrana, H. L. (2016). *Aprendizaje y evaluación auténtica: Experiencias y perspectivas de aplicación*. Editorial Kimpres.
- Cárdenas, F. A. y Gélvez, C. A. (2008). *Química y ambiente I y II* (3.ª ed.). McGraw-Hill.

- Cárdenas, F. A. y Gélvez, C. A. (2008a). *Química y ambiente II* (3.^a ed.). McGraw-Hill.
- Cárdenas, F. A. y González, F. M. (2005). *Dificultades de aprendizaje en química: Caracterización y búsqueda de alternativas para superarlas: Ampliación y continuación. Informe final de investigación*. Universidad de La Salle.
- Cárdenas, F. A. y González, F. M. (2005). Dificultades de aprendizaje en química general y sus relaciones con los procesos de evaluación. *Enseñanza de las Ciencias*, Número Extra (VII Congreso), 1-6.
- Cárdenas, F. A. y Montealegre, R. (2001). Miniproyectos como apoyo a la enseñanza de la química general a nivel universitario. *Revista de Educación en Ciencias / Journal of Science Education*, 2(2), 100-102.
- Cárdenas, F. A. y Montealegre, R. (2001a). Algunas apreciaciones de los estudiantes acerca de los miniproyectos como apoyo a la enseñanza de la química a nivel universitario. *Revista de Investigación*, 69-79. Universidad de La Salle.
- Cárdenas, F. A. y Montealegre, R. (2000). *Miniproyectos como apoyo a la enseñanza de la química a nivel universitario*. Informes de investigación (noviembre 19 de 1999; marzo 1 de 2000; junio 20 de 2000). Universidad de La Salle, Facultad de Educación, Departamento de Química y Biología.
- Cárdenas, F. A. y Sarmiento, P. F. (2000). Desarrollo y evaluación de competencias en ciencias. En M. D. Bogoya, S. M. Vinent, V. F. Jurado, A. M. Pérez, A. M. Caicedo, G. G. Oliveros, S. F. Parra, F. A. Cárdenas, G. J. Sellares y M. C. Torrado, *Competencias y proyecto pedagógico*. Universidad Nacional de Colombia.
- Cárdenas, F. A., Blanco, D. A. M. y Umbarila, X. C. (2023). *Laboratorio de Observación de Evolución de Cohortes (LOEC): Subproyecto Alertas tempranas para prevenir la deserción en el Programa de Licenciatura en Química*. Universidad Pedagógica Nacional.
- Cárdenas, F. A., Sarmiento, P. F. y Leal, H. C. (2003). Formación y evaluación de competencias en ciencias naturales. En M. D. Bogoya (Ed.), *Proyecto Evaluación Censal de Competencias*. Universidad Nacional de Colombia.
- Cárdenas, F. A., Salcedo, L. E. T. y Erazo, M. P. (1995). Los miniproyectos en la enseñanza de las ciencias experimentales. *Actualidad Educativa*, 2(9-10), 84-99.

- Cárdenas, F. A., Cárdenas, R. R., Erazo, M. P., Jaramillo, H. M. y Moreno, C. A. (2009). *Ciencias 9*. McGraw-Hill.
- Cárdenas, F. A., Cárdenas, R. R., Erazo, M. P., Jaramillo, H. M. y Moreno, C. A. (2009a). *Ciencias 8*. McGraw-Hill.
- Cárdenas, F. A., Cárdenas, R. R., Erazo, M. P., Jaramillo, H. M. y Moreno, C. A. (2009b). *Ciencias 7*. McGraw-Hill.
- Cárdenas, F. A., Cárdenas, R. R., Erazo, M. P., Jaramillo, H. M. y Moreno, C. A. (2009c). *Ciencias 6*. McGraw-Hill.
- Carless, D. (2015). Learning-Oriented Assessment In Practice. *National Institute for Learning Outcomes Assessment*. <https://niloaweb.sitehost.iu.edu/wp-content/uploads/2019/08/Viewpoint-Carless.pdf>
- Carless, D. (2007). Learning-Oriented Assessment: Conceptual Bases And Practical Implications. *Innovations in Education and Teaching International*, 44(1), 57-66.
- Carmona, T. M. P. y Flores, G. 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.
- Castaño, Z. J., Tamayo Alzate, O. E. y Castañeda, M. W. (2021). Un escenario para el aprendizaje a través de proyectos de diseño en contextos sociales: Laboratorio Estratégico de Diseño Integral (LEDI). *Revista KEPES*, 19(25), 135-164. <https://doi.org/10.17151/kepes.2022.19.25.6>
- Chang, R. y Overby, J. (2020). *Química* (13.^a ed.; G. Nagore y S. A. M. Sarmiento Ortega, Trads.). McGraw-Hill.
- Cisternas, N., Guzmán, E. y Rivas, A. (2025). Inteligencia artificial como asistente para desarrollar un currículum de educación continua basado en competencias. *Revista de Investigación Educativa*, 43. <https://doi.org/10.6018/rie.619441>
- Clear, J. (2021). *Hábitos atómicos: Cambios pequeños, resultados extraordinarios*. Editorial Planeta.
- Cohen, L. y Manion, L. (1989). *Research Methods In Education*. Biddles.
- Colombia Aprende. (2016). *Derechos básicos de aprendizaje en ciencias*. Ministerio de Educación Nacional. <https://www.colombiaaprende.edu.co/recurso-coleccion/derechos-basicos-de-aprendizaje-en-todas-las-areas>

- Cortés, M. B. y Pinzón, S. M. (2008). *Una aplicación del diccionario personalizado: Dificultades en la producción escrita en inglés como lengua extranjera* [Tesis de maestría, Universidad de La Salle].
- De Celis, I. G. y Silva, S. S. (2017). *Evaluación auténtica*. Editorial Magisterio.
- De Morán, J. A., De Bullaude, E. G. y De Zamora, M. K. (1995). Motivación hacia la química. *Enseñanza de las Ciencias*, 13(1), 66-71.
- Díaz, V. M. (1995). *Propuesta: Programa interinstitucional de doctorado en educación*. Universidad del Valle; Universidad de Antioquia; Universidad Industrial de Santander; Universidad Nacional de Colombia; Universidad Pedagógica Nacional.
- Domínguez, F. S. (1975). *As experiencias em química*. EDART.
- Driver, R., Guesne, E. y Tiberghien, A. (1985). *Children's Ideas In Science*. Open University Press.
- Eagar, M. R. (1976). *The Geological Column*. Manchester Museum.
- Entwistle, N. (2009). *Teaching For Understanding At University: Deep Approaches And Distinctive Ways Of Thinking*. Palgrave Macmillan.
- Entwistle, N. (1991). *La comprensión del aprendizaje en el aula*. Paidós.
- Erd, C. R., White, E. D., Farey, J. J. y Lee, E. D. (1964). Buddingtonite, An Ammonium Feldspar With Zeolitic Water. *The American Mineralogist*, 49(7-8), 831-850. http://www.minsocam.org/msa/collectors_corner/amtoc/toc1964.htm
- Escudero, E. T. (2003). Desde los *test* hasta la investigación evaluativa actual: Un siglo, el xx, de intenso desarrollo de la evaluación en educación. *Revista Electrónica de Investigación y Evaluación Educativa (RELIEVE)*, 9(1), 14-43. <https://ojs.uv.es/index.php/RELIEVE/article/view/4348/4025>
- Furió, M. C. (2007). *Seminario intensivo: Visiones deformadas de la ciencia y la enseñanza-aprendizaje de los conceptos científicos* [Material de seminario]. Maestría en Docencia de la Química, Departamento de Química, Universidad Pedagógica Nacional.
- Fernández, F. T. y Fernández, G. J. (1994). Técnica de trabajo con profesores sobre su práctica docente: Terapia de Knoll. *Investigación en la Escuela*, (22), 91-104.

- Frith, D. S. y Macintosh, G. F. (1984). *A teacher's Guide To Assessment*. Stanley Thornes.
- Gagné, R. M. y Briggs, J. L. (1976). *La planificación de la enseñanza*. Trillas.
- Gagné, R. M. (1977). *Como se realiza a aprendizagem*. Livros Técnicos e Científicos Editora.
- Gallego, B. R. (1990). *Saber pedagógico*. Cooperativa Editorial Magisterio.
- Gallego, B. R., Pérez, M. R. y Rincón, P. I. (1995). La didáctica: El problema de enseñar a leer y escribir. *Actualidad Educativa*, 2(9-10), 90-95.
- Gil, D., Carré, A. D., Caillot, M., Martínez, J. y Castro, L. R. (1988). La resolución de problemas de lápiz y papel como actividad de investigación. *Investigación en la Escuela*, 6, 20-30.
- Gil, D. (1991). ¿Qué hemos de saber y saber hacer los profesores de ciencias? (Intento de síntesis de las aportaciones de la investigación didáctica). *Enseñanza de las Ciencias*, 9(1), 69-77. <https://redined.educacion.gob.es/xmlui/bitstream/handle/11162/169352/51357-93386-1-PB.pdf?sequence=1>
- Goñi Zabala, J. M. (2005). *El Espacio Europeo de la Educación Superior: Un reto para la universidad. Competencias, tareas y evaluación, los ejes del currículo universitario*. Octaedro.
- Greenwood, N. N. y Earnshaw, A. (1984/1985). *Chemistry Of The Elements*. Pergamon Press.
- Guba, E. G. y Lincoln, Y. S. (1989). *Fourth Generation Evaluation*. Sage.
- Guillén, M. (1995). *Cinco ecuaciones que cambiaron el mundo: El poder y la belleza de las matemáticas* (F. Páez de la Cadena, Trad.). Debate.
- Haden, B. y Johnstone, A. (1990). Mini Projects: An Introduction To The World Of Chemistry. *Chemeda, Australian Journal of Chemical Education*, 27, 39-45.
- Hadden, R. y Johnstone, A. H. (1989). *Practical problem solving for standard grade chemistry*. Centre for Science Education, University of Glasgow.
- Harari, Y. N. (2014). *De animales a dioses: Breve historia de la humanidad* (J. Ros, Trad.). Debate.
- Harlen, W. (2010). *Principles and big ideas of science education*. Association for Science Education. <https://www.ase.org.uk/download/file/fid/6741>
- Head, J. (1985). *The Personal Response To Science*. Cambridge University Press.

- Hederich, C. (2013). Estilística educativa. *Revista Colombiana de Educación*, 64, 21-56.
- Hidalgo, N. y Murillo, F. J. (2017). Las concepciones sobre el proceso de evaluación del aprendizaje de los estudiantes. *REICE. Revista Iberoamericana sobre Calidad, Eficacia y Cambio en Educación*, 15(1), 107-128. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5800412>
- Hill, W. J. y Kolb, K. D. (1999). *Química para el nuevo milenio*. Prentice Hall Iberoamericana.
- Howard, K. y Sharp, J. A. (1983). *The Management Of A Student Research Project*. Camelot Press.
- Izquierdo, A. M. y Aduriz-Bravo, A. (2021). Contribuciones de Giere a la reflexión sobre la educación científica. *ArtefactoS. Revista de Estudios de la Ciencia y la Tecnología*, 10(1), 75-87. <https://doi.org/10.14201/art20211017587>
- Johnstone, A. H. y El-Banna, H. (1989). Understanding Difficulties: A Predictive Model. *Studies in Higher Education*, 14(2), 159-167.
- Johnstone, A. H. (1980). Learning Difficulties In School Science—Towards A Working Hypothesis. *European Journal of Science Education*, 2(2), 175-181.
- Johnstone, A. H. (2000). Teaching Of Chemistry—Logical Or Psychological? *Chemical Education: Research and Practice in Europe*, 1(1), 9-15.
- Johnstone, A. (2006). Chemical education in Glasgow in perspective. *The Royal Society of Chemistry*, 7(2), 49-63.
- Jong, D. O. y Taber, S. K. (2008). Teaching And Learning The Many Faces Of Chemistry. En K. S. Abell y N. G. Lederman (Eds.), *Handbook of research on science education* (Cap. 22). Routledge/Taylor y Francis.
- Jorba, J. y Sanmartí, N. (2008). La función pedagógica de la evaluación. En *Evaluación como ayuda al aprendizaje* (pp. 21-42). Graó.
- Kaku, M. (2018). *El futuro de la humanidad: La colonización de Marte, los viajes interestelares, la inmortalidad y nuestro destino más allá de la Tierra* (J. M. Ibeas, Trad.). Nomos.
- Kellett, N. C. y Johnstone, A. H. (1980). Learning difficulties in school science – towards a working hypothesis. *European Journal of Science Education*, 2, 175-181. *hypothesis. European Journal of Science Education*, 2, 175-181.

- Kempa, R. (1986). *Assessment In Science*. Cambridge University Press.
- Kennedy, J. (2003). *Study Skills: Maximise Your Time To Pass Exams*. Studymates Ltd.
- Kolb, D. A. (1984). *Experiential Learning: Experience As The Source Of Learning And Development*. Prentice Hall.
- Ladino, Y. (2020). *Línea de investigación La Química y su Enseñanza* (Documento maestro). Universidad Pedagógica Nacional.
- Lof, P. (1980). *Minerals Of The World*. Elsevier Science.
- Mager, R. F. (1984). *Pautas de Mager para el diseño de objetivos de aprendizaje*. <https://eduteka.icesi.edu.co/articulos/Tema15>
- Marín, N. M. y Cárdenas, F. A. (2011). Valoración de los modelos más usados en la enseñanza de las ciencias basados en la analogía “el alumno como científico”. *Enseñanza de las Ciencias*, 29(1), 35-46. <https://raco.cat/index.php/Ensenanza/article/view/243821>
- Middlecamp, C. y Kean, E. (1986). *How to Survive And Even Excel In General Chemistry: An Indispensable “How To Learn It” Guide To Anyone Taking Introductory Chemistry*. McGraw-Hill.
- Millás, J. J. y Arsuaga, J. L. (2020). *La vida contada por un sapiens a un neandertal*. Alfagaura.
- Ministerio de Educación Nacional. (2004). *Estándares básicos de competencia en ciencias naturales y sociales: Lo que necesitamos saber y saber hacer*. https://www.mineduacion.gov.co/1780/articles-81033_archivo_pdf
- Montenegro, A. I. (2004). *Influencia de preguntas cognitivas y metacognitivas en el proceso de aprendizaje en ciencias con el apoyo de un sistema inteligente* [Tesis doctoral, Universidad Pedagógica Nacional].
- Mora Forero, J. R. (s. f.). *Originalidad*. <https://jorgemoraforero.com/>
- Mora Forero, J. R. (2018). *Hojarasca de otoño: Cuentos cortos y cortantes*. Amazon.
- Mora, F. (2022). *Neuroeducador: Una nueva profesión*. Alianza Editorial.
- Myers, N., Elkington, J., Laidlaw, K. y Pearson, J. (1989). *The Gaia Atlas Of Planet Management: For Today's Caretakers Of Tomorrow's World*. Pan Books.
- Nicol, D. J. y Macfarlane-Dick, D. (2006). *Formative Assessment And Self-Regulated Learning: A Model And Seven Principles Of Good Feedback Practice*. (Recurso en línea). <https://static1.squarespace.com/static/5b4fde59b27e395aa>

- 0453296/t/5bf5ef35b8a045b4c0fad886/1542844215031/Formative_Assessment_and_Self-Regulated_Learning_A.pdf
- Norton, L. (2009). Assessing student learning. En H. Fry, S. Ketteridge y S. Marshall (Eds.), *A Handbook For Teaching And Learning In Higher Education: Enhancing Academic Practice* (3.^a ed., pp. 132-149). Routledge.
- Novak, J. D. (1998). *Learning, Creating And Using Knowledge: Concept Maps As Facilitative Tools In Schools And Corporations*. Lawrence Erlbaum Associates.
- Novak, J. D. (2003). *Journal of Research in Science Teaching*, 40(Supplement), S1-S7.
- Nowotny, H., Scott, P. y Gibbons, M. (2006). *Re-Thinking Science: Knowledge and the Public*. Blackwell Publishers.
- Ondarza, R. N. (1985). *El impacto del hombre sobre la Tierra*. Trillas.
- Ortega, R. (2005). El espacio europeo de educación superior: Una oportunidad de cambio para la enseñanza en la universidad. *Investigación en la Escuela*, 57, 5-13.
- Perales, J. P., Suárez, A. P., González, F. M., García, G. G., García, G. F. y Rivarossa, A. (2000). *Resolución de problemas*. Síntesis.
- Pessoa de Carvalho, M. A. (1995). El papel de las actividades en la construcción de conocimiento en clase. *Investigación en la Escuela*, 25, 61-70.
- Phillips, E. M. y Pugh, D. S. (1994). *How To Get A Phd: A Handbook For Students And Their Supervisors*. Open University Press.
- Pimentel, C. G. (1966). *Chemistry: An Experimental Science*. Freeman.
- Porlán, R. (2018). Didáctica de las ciencias con conciencia. *Enseñanza de las Ciencias*, 36(3), 5-22.
- Porras, H. J. (2008). *Converting Class Syllabi To The Outcomes-Based Teaching And Learning Format*. Communication Studies Department, HKBU.
- Pozo, J. I., Pérez, M. P., Domínguez, J., Gómez, A. M. y Postigo, A. Y. (1994). *La resolución de problemas*. Aula XXI.
- Prieto, M. (2023). ¿Está alineado tu sistema de enseñanza y evaluación con los resultados de aprendizaje que pretendes lograr? La respuesta de John Biggs (Serie *Mis gurús en Educación: John Biggs*). *Profesor 3.0*. <https://profesor3punto0.blogspot.com/2017/05/esta-alineado-tu-sistema-de-ensenanza-y.html>

- Reyes, H. L., Salcedo T., L. E. y Perafán E., G. A. (1999). *Acciones y creencias: Tesoro oculto del educador* (Tomo I). Universidad Pedagógica Nacional. Informe de investigación.
- Reyes, H. L., Salcedo T., L. E. y Perafán E., G. A. (1999). *Acciones y creencias: Tesoro oculto del educador* (Tomo III). Universidad Pedagógica Nacional. Informe de investigación.
- Reyes, H. L., Salcedo T., L. E. y Perafán E., G. A. (1999). *Acciones y creencias: Tesoro oculto del educador* (Tomo IV). Universidad Pedagógica Nacional. Informe de investigación.
- Rivas, M. F., Marín, A. F. y Ballester, G. C. (2002). *La técnica de la rejilla: Manual de construcción, aplicación y tratamiento de la información*. Universitat de València.
- Sánchez, M. A., Gil, P. D. y Martínez-Torregrosa, J. (1996). Evaluar no es calificar: La evaluación y la calificación en una enseñanza constructivista de las ciencias. *Investigación en la Escuela*, 30, 15-26.
- Sanmamed, G. M. (1995). ¿Cómo enseñan y aprenden a enseñar los futuros profesores? Análisis de los procesos de aula. *Investigación en la Escuela*, 25, 27-42.
- Santos Guerra, A. M. (1996). Evaluar es comprender: De la concepción técnica a la dimensión crítica. *Investigación en la Escuela*, 30, 5-13.
- Sarzoza, H. S. (2013). Aprendizaje desde la perspectiva del estudiante: Modelo teórico de enseñanza y aprendizaje 3P. *Acción Pedagógica*, 22, 114--21.
- Schlesinger, B. A. (1994). *Explaining Life*. McGraw-Hill.
- Schwab, K. (2016). *La cuarta revolución industrial* (Trad. Portafolios). El Tiempo Casa Editorial.
- Schwab, K. (2021). *La cuarta revolución industrial*. Penguin Random House Grupo Editorial.
- Serres, M. (2014). *Pulgarcita*. Gedisa.
- Shavelson, J. R. (1992). What We've Learned About Hands-On Science Assessment. <https://itransfer.org/downloads/labdiscussionitems/AssessingHandsOnScience.pdf>

- Solano, F. G. y Shavelson, R. J. (1987). Development of Performance Assessments In Science: Conceptual, Practical And Logistical Issues. *Educational Measurement: Issues and Practice*, Otoño, 16-24.
- 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.
- 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, Universidad Pedagógica Nacional].
- Soler, M. G. (2018). *La enseñanza de las ciencias desde los principios del alineamiento constructivo*. Universidad Pedagógica Nacional.
- Soler, M. G., Cárdenas, F. A., Blanco, M. A. D. y Umbarila, X. (2020). *Deserción estudiantil: Una investigación de cohorte en el programa de licenciatura en química*. Universidad Pedagógica Nacional.
- Soler, M. G., Cárdenas, F. A., Hernández-Pina, F. y Monroy, H. F. (2017). Enfoques de aprendizaje y enfoques de enseñanza: Origen y evolución. *Educación*, 20(1), 65-88.
- Sridharan, B. y Mustard, J. (2016). *Authentic Assessment Methods: A Practical Handbook For Teaching Staff. Part I. Business And Law Learning Innovations: Building Capacity For Enhanced Learning*. Deakin University. https://www.researchgate.net/publication/289996648_Authentic_Assessment_Methods_A_Practical_Handbook_for_Teaching_Staff_Part-I_Deakin_University
- Stark, J. G. y Wallace, H. G. (1984). *Chemistry Data Book*. John Murray.
- Tarback, J. E. y Lutgens, K. F. (1992). *The Earth: An Introduction To Physical Geology*. Macmillan.
- Toro, B. L. J. (2014). *Conocimiento pedagógico del contenido y las concepciones de ciencia del docente: Un estudio sobre el desempeño de los estudiantes en las pruebas de química de saber 11* [Tesis doctoral, Universidad Pedagógica Nacional].

- Treagust, D. F. (2007). General Instructional Methods And Strategies. En K. S. Bell y G. N. Lederman (Eds.), *Handbook of research on science teaching* (pp. 373-391). Routledge, Taylor and Francis Group.
- Turco, P. R. (1997). *Earth Under Siege: From Pollution To Global Change*. Oxford University Press.
- Tyler, R. W. (1975). *Principios básicos de currículo e ensino* (L. Vallandro, Trad.). Globo.
- Umbarila, X. y Cárdenas, F. A. (2023). La estrategia 14C: Una estrategia didáctica para el desarrollo de habilidades de pensamiento y el aprendizaje de la química. *Tecné, Episteme y Didaxis: TED*, 53, 275–292. <http://www.scielo.org.co/pdf/ted/n53/0121-3814-ted-53-275.pdf>
- Universidad Pedagógica Nacional, Consejo Académico. (2003). *Acuerdo 004, por el cual se reglamentan aspectos relacionados con el plan de trabajo del profesor universitario*. [http://ciarp.pedagogica.edu.co/wp-content/uploads/antiguo/normatividad/Acuerdo%20004_2003 %20Plan%20de%20Trabajo.pdf](http://ciarp.pedagogica.edu.co/wp-content/uploads/antiguo/normatividad/Acuerdo%20004_2003%20Plan%20de%20Trabajo.pdf)
- Universidad Pedagógica Nacional. (2013). *Autorización tratamiento de datos personales y de menores de edad*. <https://upedagogicanacional.isolucion.co/BancoConocimientoUpedagogicanacional/c/cc9ff5cbb8694f50865c2135b-6f7131b/FOR009GSI-Autorizacindedatospersonalesydemenoresdeedad.V01ajustado1.pdf>
- Von Hippel, F. A. (2023). *La era de la química: Cómo los químicos cambiaron el hambre y la enfermedad, mataron a millones y cambiaron nuestra relación con la tierra*. (E. Pérez-Manzucu, Trad.). Bauplan Books.
- White, R. T. (1979). Achievement, Mastery, Proficiency, Competence. *Studies in Science Education*, 6, 1-22.
- Witter, P. G. (1975). *Ciencia, ensino e aprendizagem*. Editora Alfa Omega.
- Wood, C. (2006). The development of creative problem solving in chemistry. *Chemistry Education Research and Practice*, 7(2), 96-113.
- Zapata, P. N., Oviedo, P. E., Cárdenas, F. A., Gómez, H. M. y Rendón, F. M. (2011). Los estilos de aprendizaje según CHAEA y sus aplicaciones para la didáctica universitaria. *Revista Internacional Magisterio. Educación y Pedagogía*, 9(51), 82-86.

Anexo 1.

Notaciones espectrales de los elementos en estado fundamental. Destacando las correspondientes al grupo VIII, Gases nobles, tomados de *Chemistry Data Book* de J. G. Stark y H. G. Wallace (1984).

Símbolo	Z	Notación espectral
H	1	1s ¹
He	2	1s ²
Li	3	1s ² 2s ²
Be	4	1s ² 2s ²
B	5	1s ² 2s ² 2p ¹
C	6	1s ² 2s ² 2p ²
N	7	1s ² 2s ² 2p ³
O	8	1s ² 2s ² 2p ⁴
F	9	1s ² 2s ² 2p ⁵
Ne	10	1s ² 2s ² 2p ⁶
Na	11	1s ² 2s ² 2p ⁶ 3s ¹
Mg	12	1s ² 2s ² 2p ⁶ 3s ²
Al	13	1s ² 2s ² 2p ⁶ 3s ² 3p ¹
Si	14	1s ² 2s ² 2p ⁶ 3s ² 3p ²
P	15	1s ² 2s ² 2p ⁶ 3s ² 3p ³
S	16	1s ² 2s ² 2p ⁶ 3s ² 3p ⁴
Cl	17	1s ² 2s ² 2p ⁶ 3s ² 3p ⁵
Ar	18	1s ² 2s ² 2p ⁶ 3s ² 3p ⁶

Símbolo	Z	Notación espectral
K	19	$1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^4 s^1$
Ca	20	$1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^4 s^2$
Se	21	$1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^1 4s^2$
Ti	22	$1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^2 4s^2$
V	23	$1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^3 4s^2$
Cr	24	$1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^5 4s^1$
Mn	25	$1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^5 4s^2$
Fe	26	$1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^6 4s^2$
Co	27	$1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^7 4s^2$
Ni	28	$1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^8 4s^2$
Cu	29	$1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^{10} 4s^1$
Zn	30	$1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^{10} 4s^2$
Ga	31	$1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^{10} 4s^2 4p^1$
Ge	32	$1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^{10} 4s^2 4p^2$
As	33	$1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^{10} 4s^2 4p^3$
Se	34	$1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^{10} 4s^2 4p^4$
Br	35	$1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^{10} 4s^2 4p^5$
Kr	36	$1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^{10} 4s^2 4p^6$
Rb	37	-Kr-5s ¹
Sr	38	-Kr-5s ²
Y	39	-Kr-4d ¹ 5s ²
Zr	40	-Kr-4d ² 5s ²
Nb	41	-Kr-4d ⁴ 5s ¹
Mo	42	-Kr-4d ⁵ 5s ¹
Tc	43	-Kr-4d ⁶ 5s ¹
Ru	44	-Kr-4d ⁷ 5s ¹
Rh	45	-Kr-4d ⁸ 5s ¹
Pd	46	-Kr-4d ⁹ 5s ¹
Ag	47	-Kr-4d ¹⁰ 5s ¹
Cd	48	-Kr-4d ¹⁰ 5s ²
In	49	-Kr-4d ¹⁰ 5s ² 5p ¹
Sn	50	-Kr-4d ¹⁰ 5s ² 5p ²
Sb	51	-Kr-4d ¹⁰ 5s ² 5p ³
Te	52	-Kr-4d ¹⁰ 5s ² 5p ⁴
I	53	-Kr-4d ¹⁰ 5s ² 5p ⁵
Xe	54	-Kr-4d ¹⁰ 5s ² 5p ⁶
Cs	55	-Xe-6s ¹

Símbolo	Z	Notación espectral
Ba	56	-Xe-5d ¹ 6s ²
La	57	-Xe-5d ¹ 6s ²
Ce	58	-Xe-4f ² 6s ²
Pr	59	-Xe-4f ³ 6s ²
Nd	60	-Xe-4f ⁴ 6s ²
Pm	61	-Xe-4f ⁵ 6s ²
Sm	62	-Xe-4f ⁶ 6s ²
Eu	63	-Xe-4f ⁷ 6s ²
Gd	64	-Xe-4f ⁷ 5d ¹ 6s ²
Tb	65	-Xe-4f ⁹ 6s ²
Y	66	-Xe-4f ¹⁰ 6s ²
Ho	67	-Xe-4f ¹¹ 6s ²
Er	68	-Xe-4f ¹² 6s ²
Tm	69	-Xe-4f ¹³ 6s ²
Yb	70	-Xe-4f ¹⁴ 6s ²
Lu	71	-Xe-4f ¹⁴ 5d ¹ 6s ²
Hf	72	-Xe-4f ¹⁴ 5d ² 6s ²
Ta	73	-Xe-4f ¹⁴ 5d ³ 6s ²
W	74	-Xe-4f ¹⁴ 5d ⁴ 6s ²
Re	75	-Xe-4f ¹⁴ 5d ⁵ 6s ²
Os	76	-Xe-4f ¹⁴ 5d ⁶ 6s ²
Ir	77	-Xe-4f ¹⁴ 5d ⁷ 6s ²
Pt	78	-Xe-4f ¹⁴ 5d ⁹ 6s ¹
Au	79	-Xe-4f ¹⁴ 5d ¹⁰ 6s ¹
Hg	80	-Xe-4f ¹⁴ 5d ¹⁰ 6s ²
Tl	81	-Xe-4f ¹⁴ 5d ¹⁰ 6s ² 6p ¹
Pb	82	-Xe-4f ¹⁴ 5d ¹⁰ 6s ² 6p ²
Bi	83	-Xe-4f ¹⁴ 5d ¹⁰ 6s ² 6p ³
Po	84	-Xe-4f ¹⁴ 5d ¹⁰ 6s ² 6p ⁴
At	85	-Xe-4f ¹⁴ 5d ¹⁰ 6s ² 6p ⁵
Rn	86	-Xe-4f ¹⁴ 5d ¹⁰ 6s ² 6p ⁶
Fr	87	-Rn-7s ¹
Ra	88	-Rn-7s ²
Ac	89	-Rn-6d ¹ 7s ²
Th	90	-Rn-6d ² 7s ²
Pa	91	-Rn-5f ² 6d ¹ 7s ²

Símbolo	Z	Notación espectral
U	92	-Rn-5f ³ 6d ¹ 7s ²
Np	93	-Rn-5f ⁴ 6d ¹ 7s ²
Pu	94	-Rn-5f ⁶ 7s ²
Am	95	-Rn-5f ⁷ 7s ²
Cm	96	-Rn-5f ⁸ 7s ²
Bk	97	-Rn-5f ⁹ 7s ²
Cf	98	-Rn-5f ¹⁰ 7s ²
Es	99	-Rn-5f ¹¹ 7s ²
Fm	100	-Rn-5f ¹² 7s ²
Md	101	-Rn-5f ¹³ 7s ²
No	102	-Rn-5f ¹⁴ 7s ²
Lw-Lr	103	-Rn-5f ¹⁴ 6d ¹ 7s ²
Ha-Rf	104	-Rn-5f ¹⁴ 6d ² 7s ²
Ku-Db	105	-Rn-5f ¹⁴ 6d ³ 7s ²

Anexo 2.

Otra literatura comentada

La siguiente bibliografía, cuya consulta ha sido base para la preparación de las lecciones presentadas, se comenta a continuación con la expectativa de que se convierta en un apoyo para ejecutar las actividades incluidas en ellas.

Bain, K. (2007). *Lo que hacen los mejores profesores universitarios*. Valencia: Publicacions de la Universitat de València (PUV). Traducción de Óscar Barberá.

Un libro que, idealmente, todo docente universitario debería leer. A partir de un largo proceso de entrevistas a numerosos docentes considerados, bajo ciertos criterios, como los mejores, ofrece a sus lectores experiencias dignas de una profunda reflexión acerca de nuestras propias formas de pensar y practicar la docencia.

Bain, K. (2014). *Lo que hacen los mejores estudiantes universitarios*. Valencia: Publicacions de la Universitat de València (PUV). Traducción de Óscar Barberá.

Al igual que el libro anterior, en este texto estudiantes y docentes encuentran los resultados de un gran número de investigaciones y entrevistas que muestran cómo llegar a ser personas brillantes y creativas en los campos laborales y de emprendimiento seleccionados por los universitarios. Lo

más relevante es el énfasis en el compromiso personal, la autoevaluación y la motivación interna como motores del aprendizaje, en contraste con la poca relevancia de la evaluación tradicional como factor externo de motivación.

Levi, P. (2004). *El sistema periódico*. Aleph Editores. Traducción de Carmen Martín Gaité.

Obra indispensable para docentes de química. Ofrece una perspectiva histórica y literaria en la cual se entrelazan la belleza de la literatura con la experiencia del autor italiano como sobreviviente de la Segunda Guerra Mundial. También constituye una puerta de entrada para establecer vínculos entre la química y campos culturales aparentemente distantes de ella.

Rojas, E. M. (2020). *Cómo hacer que te pasen cosas buenas*. Espasa Libros.

Este libro, junto con el anterior, conforma una plataforma más allá de la química y su enseñanza desde la cual es posible iniciar un viaje hacia el interior de cada persona: conocerse, entender el cerebro, gestionar las emociones y construir día a día una vida mejor.

González, B. E. M. (2022). *Aprende a aprender: Aprendizaje basado en neurociencia*. Obregón.

Presenta una aproximación práctica a la aplicación de algunas ideas de la neuroeducación en el aula, orientando el aprendizaje a partir de los mapas mentales de Tony Buzan. Es de gran ayuda para quienes deseen emplear mapas mentales como formas visuales e integradoras en la construcción de conocimientos propios.

Buzan, T. (1989). *Use Your Head*. BBC Books.

Texto fundamental para la preparación del libro anterior e inspirador de los conceptos nucleares propuestos como eje de la enseñanza alineada

de la química. Con ellos se busca contribuir al perfeccionamiento de operaciones cognitivas de alto nivel y a la autoconstrucción de visiones globales de esta ciencia, orientadas hacia las grandes ideas científicas y su relación con otros campos del saber.

Skoog, D. A. y West, D. M. (1980). *Principles Of Instrumental Analysis*. Holt-Saunders.

Presenta los fundamentos teóricos de los métodos instrumentales de análisis químico. Es un recurso para relacionar la química general con la interacción entre materia y radiación electromagnética con fines de determinación cuantitativa de analitos. Una guía pertinente para proponer actividades de aprendizaje vinculadas con el espectro electromagnético.

Hadden, R. A. y Johnstone, A. H. (1989). *Practical Problem Solving For Standard Grade Chemistry*. Centre for Science Education, University of Glasgow.

Acerca el trabajo experimental de la química en el aula desde la resolución de problemas y, en especial, desde el desarrollo de miniproyectos. Sirve como base para diseñar y elaborar este tipo de actividades didácticas.

Bueno i Torrens, B. (2019). *Neurociencia aplicada a la educación*. Síntesis.

Para quienes deseen profundizar en el neuroaprendizaje y la neuroeducación, este texto, junto con los trabajos de Francisco Mora, constituye un buen punto de partida para la planeación y el desarrollo de estrategias didácticas basadas en esta perspectiva.

Mora, F. (2021). *Neuroeducación: Solo se puede aprender aquello que se ama* (3.^a ed.). Alianza Editorial.

Como médico, doctor en neurociencia y catedrático de la Universidad Complutense, el autor presenta una amplia aproximación al fenómeno

del aprendizaje desde los principios fisiológicos de los seres vivos y el despertar a lo nuevo. Enfatiza la necesidad de conocer neurociencias para educar, comprender cómo aprenden los estudiantes y resalta el autoconocimiento como base del progreso académico.

Mora, F. (2022). *Neuroeducación: Una nueva profesión*. Alianza Editorial.

En esta obra, el autor propone la consolidación de una nueva profesión en el ámbito educativo: el neuroeducador. Plantea delineamientos para un plan de pregrado y maestría. Junto con el texto de Bueno i Torres, permite a los lectores formarse una visión amplia de lo que es la neuroeducación y de los posibles esnobismos que podrían surgir en torno a ella.

Duffy, A. J. (1974). *Química inorgánica estructural*. CECSA.

Texto versátil y didáctico, útil para quienes se interesen en el estudio de los modelos estructurales de los compuestos inorgánicos y sus geometrías moleculares a partir de notaciones espectrales.

Longo, R. F. (1975). *Química general*. McGraw-Hill.

Con un enfoque sencillo y didáctico, constituye una puerta de entrada a la comprensión descriptiva de las teorías del enlace.

Jones, M. M., Netterville, J. T., Johnston, O. D., y Wood, L. J. (1971). *Química*. Interamericana.

Desde una mirada didáctica y algebraica, ofrece un buen comienzo para la comprensión de la constitución de los átomos y la interpretación de las series espectrales, incluyendo cálculos de longitudes de onda y su ubicación en distintas regiones del espacio.

Greenwood, N. N. y Earnshaw, A. (1984). *Chemistry of the elements*. Pergamon Press.

Una de las obras más completas sobre los elementos y su comportamiento químico, de gran utilidad como compendio exhaustivo.

Ander, P. y Sonnessa, J. A. (1990). *Principios de química: Introducción a los conceptos teóricos*. Limusa.

Texto fundamental en la biblioteca de un profesor de química. Es particularmente útil para el estudio de las teorías del enlace, la geometría molecular y las hibridaciones.

Bell, F. C., y Lott, K. A. K. (1978). *Un esquema moderno de la química inorgánica*. Alhambra.

Presenta una aproximación esquemática a las estructuras de moléculas deficientes en electrones, explicando sus geometrías mediante enlaces multicentrados y compuestos de coordinación.

Zumdahl, S. S. (1992). *Fundamentos de química*. McGraw-Hill.

Whitten, W. K., Gailey, D. K. y Davis, E. R. (1992). *Química general*. McGraw-Hill.

Kroschwitz, I. J. y Winokur, M. (1987). *Chemistry: A First Course*. McGraw-Hill.

Junto con los textos de Zumdahl y Whitten, forma parte de una trilogía básica para el estudio de la tabla periódica, la variación de propiedades periódicas de los elementos y su explicación mediante notación espectral.

Mackenzie, T. F. (1998). *Our Changing Planet: An Introduction To Earth System Science And Global Environmental Change*. Prentice Hall.

Obra de gran utilidad para quienes deseen comprender el medioambiente y su dinámica, estableciendo relaciones con los cambios químicos que rigen los cuatro componentes del sistema ambiental global.

American Chemical Society. (1997). *Chemistry In Context: Applying Chemistry To Society*. wcr/McGraw-Hill.

Texto orientado a la comprensión de la química y su enseñanza en contextos naturales con y sin intervención humana.

American Chemical Society. (2001). *Chemistry In The Community*. Freeman and Company.

Como su nombre indica, aborda las relaciones de la química con los contextos comunitarios, así como sus aplicaciones e impacto en dichos entornos.

Kelter, B. P., Carr, D. J. y Scott, A. (1999). *Chemistry: A World Of Choices*. wcb/McGraw-Hill.

Una obra didáctica con abundantes ilustraciones que ofrece una visión integrada de la química con el medioambiente, las ciencias de la Tierra, la contaminación, la energía y los alimentos.

Mortimer, E. C. (1983). *Química*. Grupo Editorial Iberoamericana.

Texto convencional de química, útil como base para cursos introductorios de química en los primeros semestres universitarios.

Stark, J. G. y Wallace, H. G. (1984). *Chemistry Data Book*. John Murray.

El texto presenta una serie de datos que un profesional de la química puede consultar de manera rápida y sencilla. Resulta particularmente útil para adelantar las actividades propuestas en las lecciones, en especial aquellas que involucran constantes y valores como la electronegatividad, la afinidad electrónica, los radios iónicos y atómicos, así como las configuraciones electrónicas de los elementos.

Hill, W. J. y Kolb, K. D. (1999). *Química para el nuevo milenio*. Prentice Hall Iberoamericana.

En este texto el lector encuentra una rápida y didáctica complementación de los temas básicos de la química y de otros campos de esta ciencia, como la química orgánica, la Tierra, los alimentos y el hogar.

Chang, R. y Overby, J. (2020). *Química*. McGraw-Hill.

Es una obra amplia que ofrece múltiples orientaciones didácticas para apoyar a docentes y estudiantes en el estudio de la química. Como última edición de un texto con más de 20 años de tradición, presenta contenidos totalmente actualizados y acompañados de una plataforma que permite ampliar conocimientos hacia una visión más global de la química y sus relaciones con otros campos del saber científico.

Se espera que, para los profesionales del ejercicio docente en química y en ciencias en general, tanto en ejercicio como en formación, la literatura citada sea de ayuda no solo para responder a inquietudes de sus estudiantes, sino también para complementar su propia formación más allá de la química.

Asimismo, puede representar para docentes y maestros en formación una base desde la cual generar expectativas de largo alcance en relación con el impacto actual y futuro del género humano sobre el entorno que nos rodea y que, quizá, no cuidamos lo suficiente por desconocimiento. Cuanto mayor sea el conocimiento acerca de “la casa de la humanidad”, más acertadas serán las acciones de las futuras generaciones para su cuidado y sus interacciones sostenibles a largo plazo.

Alineamiento constructivo y enseñanza de la química,
editado por la Universidad Pedagógica Nacional,
fue compuesto en caracteres de la fuente y familia Minion Pro.

Bogotá, Colombia, 2026.

Esta obra ofrece herramientas teóricas y prácticas que, a través del enfoque del alineamiento constructivo de John Biggs, permiten al docente y al estudiante construir juntos experiencias de aprendizaje más significativas, donde las metas, contenidos, actividades y evaluaciones se encuentran en plena coherencia. Surge en un momento en que la enseñanza enfrenta retos inéditos tras la pandemia, y propone caminos para transformar la pedagogía y la didáctica de las ciencias.

Como planteamiento principal, la obra sostiene que el aprendizaje debe centrarse en lo que hace el estudiante, en su capacidad de autorreflexión y en la construcción consciente de su propio conocimiento. De este modo, enfatiza la importancia de guiar a los estudiantes hacia un pensamiento relacional, capaz de trascender la memorización y situar la química en un contexto amplio, conectado con otros campos del conocimiento y con los desafíos contemporáneos de la educación.

La obra es una invitación a la transformación educativa, a explorar nuevas prácticas y a desarrollar operaciones cognitivas de orden superior que permitan repensar la enseñanza de la química desde una perspectiva dinámica, global y multidisciplinar.

Colección Perspectivas Didácticas

ISBN: 978-628-7851-56-6

