LA DINÁMICA HÍDRICA DEL HUMEDAL TORCA–GUAYMARAL COMO PROBLEMA DE CONOCIMIENTO: UNA PROPUESTA PARA ABORDAR SISTEMAS COMPLEJOS EN LA ENSEÑANZA DE LAS CIENCIAS

KATHERINE LONDOÑO HERNÁNDEZ

UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL
FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA
DEPARTAMENTO DE FÍSICA
MAESTRÍA EN DOCENCIA DE LAS CIENCIAS NATURALES
BOGOTÁ, D.C.
2026

LA DINÁMICA HÍDRICA DEL HUMEDAL TORCA–GUAYMARAL COMO PROBLEMA DE CONOCIMIENTO: UNA PROPUESTA PARA ABORDAR SISTEMAS COMPLEJOS EN LA ENSEÑANZA DE LAS CIENCIAS

KATHERINE LONDOÑO HERNÁNDEZ

Trabajo de Grado como requisito para optar por el título de:

MAGISTER EN DOCENCIA DE LAS CIENCIAS NATURALES

Asesorado por:

STEINER EDGAR VALENCIA VARGAS

INGRID VERA OSPINA

UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL
FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA
DEPARTAMENTO DE FÍSICA
MAESTRÍA EN DOCENCIA DE LAS CIENCIAS NATURALES
BOGOTÁ, D. C.
2026

NOTA DE ACEPTACIÓN

_____

_____

JURADO

_____

JURADO

BOGOTÁ, D.C., 2026

“Para todos los efectos, declaramos que el presente trabajo es original y de nuestra total autoría; en aquellos casos en los cuales hemos requerido del trabajo de otros autores o investigadores, hemos otorgado los respectivos créditos”

AGRADECIMIENTOS

A Iara, por ser luz siempre.

A mis asesores, gracias infinitas. Lo aprendido trasciende por mucho estas páginas.

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN 1
1. CONTEXTO PROBLEMÁTICO 3
1.1 CONTEXTO DE ORIGEN 4
1.1.1 Concepción de ecosistemas en el Nivel Básico: controversias y tensiones en la enseñanza 4
1.1.2 Experiencias Propias en la Enseñanza de Ecosistemas en el Nivel Básico ... 9
1.1.3 Otras Experiencias en la Enseñanza de Ecosistemas en el Nivel Básico 17
1.2 DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA 27
1.3 OBJETIVOS 30
1.3.1 Objetivo General 30
1.3.2 Objetivos Específicos 30
1.4 JUSTIFICACIÓN 31
2. PROCEDER METODOLÓGICO 35
3. PROFUNDIZACION TEÓRICA 40
3.1. PROFUNDIZACIÓN DISCIPLINAR 40
3.1.1. Los sistemas en la Perspectiva de la Complejidad 40
3.1.2. ¿A qué se denomina “Dinámica Hídrica”? 69
3.1.3 Los humedales como objeto de estudio y la dinámica hídrica en ellos 71
3.2. PROFUNDIZACIÓN PEDAGÓGICA 90
3.2.1. Los problemas de conocimiento como perspectiva para la construcción de conocimiento en ciencias 90
3.2.2 Un método para el estudio de los sistemas complejos en condiciones de aula. 96
4. INTERVENCIÓN EN EL AULA 102
4.1 CARACTERIZACIÓN DE LOS ACTORES 103
4.2 DESCRIPCIÓN DE LA PROPUESTA 104
4.2.1 Aspectos generales 104
4.2.2 Ruta de intervención en el aula Del territorio al aula: Pensar la trama de relaciones entre el agua, el suelo y la vida en el humedal Guaymaral 105
5.RECUPERACIÓN DE LA EXPERIENCIA 111
5.1 DEL CUESTIONAMIENTO DE LA EXPERIENCIA BÁSICA A LA IDENTIFICACIÓN DE LAS INTERRELACIONES 111

5.1.1 La reconstrucción histórica del sistema como parte del cuestionamiento de la experiencia básica 124
5.1.2 El agua como objeto de conocimiento: la artificialización como estrategia de diferenciación para complejizar la comprensión del sistema humedal Torca–Guaymaral 133
5.1.3 Volviendo a integración: De la profundización disciplinar a la complejización de las relaciones 156
6. PRODUCCIÓN DISCURSIVA 175
7. BIBLIOGRAFIA 182
8. ANEXOS 189

TABLA DE FIGURAS

Figura 1. Síntesis del proceder metodológico 36
Figura 2. Superposición de los polígonos hidrológico, geomorfológico y ecosistémico de los Humedales de Torca y Guaymaral 83
Figura 3 Construcciones de estudiantes acerca de la dinámica de las placas tectónicas 126
Figura 4 Construcciones textuales de estudiantes acerca de la dinámica de las placas tectónicas 126
Figura 5 Construcciones de estudiantes acerca de la dinámica de las placas tectónicas 127
Figura 6 Construcciones escritas y gráficas de estudiantes acerca de las capas de la tierra 128
Figura 7 Construcciones escritas y gráficas de estudiantes acerca de movimiento de placas 128
Figura 8 Construcciones escritas de estudiantes acerca de límites y referentes geográficos (a) 130
Figura 9 Construcciones escritas de estudiantes acerca de límites y referentes geográficos (b) 131
Figura 10 Construcciones escritas de estudiantes acerca de límites y referentes geográficos (c) 131
Figura 11. Montajes experimentales de la primera experiencia de artificialización (Cambio de volumen de las sustancias vs. Temperatura) 135
Figura 12 Ensayos de tensión superficial y capilaridad 136
Figura 13 Fragmento de la guía de laboratorio sobre el cambio de volumen de las sustancias al congelarse, con la transcripción al español 138
Figura 14 Algunas hipótesis formuladas por los estudiantes sobre el laboratorio de congelamiento de sustancias 139
Figura 15. Ejemplo 1 de la tabla de datos del laboratorio sobre cambio de volumen de las sustancias en el congelador 144
Figura 16. Ejemplo 2 de la tabla de datos del laboratorio sobre cambio de volumen de las sustancias en el congelador 145
Figura 17 Apartados de un informe de laboratorio sobre congelación de las sustancias. 147
Figura 18 Estudiantes llevando a cabo la fase experimental de la segunda experiencia de artificialización 149
Figura 19 Algunas respuestas de los grupos a la pregunta ¿ ¿Cómo cambia la capacidad del agua para formar gotas cuando interactúa con otras sustancias? 150
Figura 20. Estudiantes midiendo el ascenso de diferentes sustancias por tubos de diferente diámetro. 152
Figura 21 Explicación sobre las propiedades del agua y su relación con las plantas, producto del consenso de la clase. 155
Figura 22. Estudiantes de diferentes grupos construyendo los mapas de relaciones del humedal Torca Guaymaral 158
Figura 23 Dos ejemplos de mapas de conexiones del Humedal Torca Guaymaral 160
Figura 24. Zoom realizado a una sección de cada mapa de conexiones 161

Figura 25. Respuesta de uno de los grupos a la pregunta ¿Cómo se relaciona la circulación del agua con las formas de la tierra, la composición del suelo y la vegetación? 163

INTRODUCCIÓN

Enseñar ciencias en la escuela supone mucho más que organizar contenidos, desarrollar habilidades o garantizar el cumplimiento de un currículo. Implica tomar decisiones permanentes sobre aquello que merece ser comprendido, las formas desde las cuales se construye el conocimiento y el sentido que dicho conocimiento adquiere para quienes habitan el aula. Sin embargo, estas decisiones suelen quedar subordinadas a estructuras curriculares altamente especializadas que fragmentan el estudio del mundo natural en disciplinas, temas y objetivos de aprendizaje, dificultando que los estudiantes establezcan relaciones entre los conocimientos escolares y los fenómenos complejos que configuran la realidad en la que viven. Esta tensión constituye el punto de partida del presente trabajo.

La propuesta que aquí se desarrolla surge de la inquietud por explorar otras posibilidades para la enseñanza de las ciencias naturales en la educación básica. En particular, parte del interés por comprender cómo el estudio de las dinámicas hídricas del humedal Torca–Guaymaral, abordado desde la perspectiva de los Problemas de Conocimiento y de los sistemas complejos, puede favorecer que los estudiantes construyan explicaciones que trasciendan la fragmentación disciplinar y les permitan reconocer los ecosistemas como totalidades organizadas, dinámicas e interdependientes. Más que incorporar nuevos contenidos al currículo, el propósito consistió en transformar las condiciones desde las cuales dichos contenidos adquieren sentido dentro de la experiencia escolar.

Para ello, el trabajo recupera una experiencia pedagógica desarrollada con estudiantes de grado sexto, entendiendo el aula como un espacio donde la construcción de conocimiento emerge del diálogo entre la experiencia directa, la profundización disciplinar, la formulación de preguntas y la negociación colectiva de significados. Desde esta perspectiva, el conocimiento científico deja de comprenderse como un conjunto de respuestas previamente establecidas y comienza a configurarse como un proceso continuo de construcción de explicaciones sobre el

mundo, en el que la complejidad no representa un obstáculo para la enseñanza, sino una condición propia de los fenómenos que se pretende comprender.

En coherencia con el carácter de profundización de esta maestría, el trabajo no busca validar una estrategia didáctica ni producir generalizaciones sobre la enseñanza de las ciencias. Su propósito consiste en documentar, interpretar y problematizar una experiencia concreta para identificar las condiciones pedagógicas que hicieron posible aproximarse al estudio de un sistema complejo en condiciones de aula. En este sentido, la recuperación de la experiencia se convierte tanto en una forma de comprender la práctica desarrollada como en una oportunidad para resignificar el papel del docente, del currículo y de la escuela en la construcción de conocimiento.

Los capítulos que componen este documento desarrollan progresivamente este recorrido. En ellos se presentan el contexto problemático que dio origen a la propuesta, los referentes conceptuales que la sustentan, la ruta de intervención implementada, la recuperación de la experiencia vivida en el aula y una producción discursiva en la que se articulan las principales reflexiones surgidas durante el proceso. Más que ofrecer una metodología para ser replicada, este trabajo constituye una invitación a pensar la enseñanza de las ciencias como una práctica de construcción colectiva de conocimiento, capaz de abrir nuevas posibilidades para comprender el mundo natural y, con ello, para aprender a habitarlo.

1. CONTEXTO PROBLEMÁTICO

El presente capítulo tiene como propósito reconstruir el contexto problemático que da origen a este trabajo. Para ello, se exploran diferentes tensiones asociadas a la enseñanza de los ecosistemas en la educación básica, particularmente aquellas relacionadas con las visiones reduccionistas de la realidad, fragmentación del conocimiento y las dificultades para integrar la complejidad de los sistemas naturales como parte de la formación en ciencias. A partir de este recorrido se busca situar el problema en un marco teórico y pedagógico que permita comprender las inquietudes que orientan la propuesta y las condiciones desde las cuales emerge.

Este capítulo surge de no sólo de una preocupación teórica sobre la enseñanza de las ciencias, sino también de experiencias concretas desarrolladas en diferentes contextos educativos y del diálogo con investigaciones que han enfrentado desafíos similares. En este sentido, la construcción del contexto problemático permite identificar las tensiones existentes entre los propósitos formativos asociados a la comprensión de los ecosistemas como sistemas complejos y las condiciones institucionales, curriculares y pedagógicas que frecuentemente limitan dicha posibilidad. Asimismo, posibilita reconocer algunos referentes conceptuales y metodológicos que orientan la búsqueda de alternativas para abordar estas dificultades en el aula.

Para desarrollar esta argumentación, el capítulo inicia con una reflexión sobre las controversias y tensiones que caracterizan la enseñanza de los ecosistemas en el nivel básico, analizando las implicaciones de la fragmentación disciplinar, las visiones mecanicistas y las formas de representación que median su estudio. Posteriormente, se recuperan algunas experiencias docentes que han contribuido a la configuración de las preguntas que orientan este trabajo, así como otras investigaciones relacionadas con la enseñanza de los ecosistemas y la construcción de comprensiones complejas del ambiente. Finalmente, a partir del diálogo

entre estos referentes, se delimita el problema de investigación, se formulan los objetivos que orientan el trabajo y se presenta la justificación que sustenta su relevancia académica, pedagógica y formativa.

1.1 CONTEXTO DE ORIGEN

Las preguntas que orientan este trabajo surgieron como resultado de un proceso de reflexión desde la práctica docente en la enseñanza de las ciencias naturales, particularmente de los ecosistemas en la educación básica. Dicho proceso se ha soportado en la experiencia personal, puesta en diálogo con referentes teóricos, otras experiencias de aula y la observación de tensiones relacionadas con las formas en que el conocimiento científico se organiza, se representa y se comunica en la escuela. En este sentido, comprender el origen del problema requiere revisar no solo las discusiones conceptuales que lo sustentan, sino también las experiencias que han permitido reconocer sus implicaciones pedagógicas y comprender cómo la pregunta de investigación fue configurándose gradualmente a partir de la convergencia entre preocupaciones epistemológicas, desafíos pedagógicos y experiencias concretas de enseñanza.

1.1.1 Concepción de ecosistemas en el Nivel Básico: controversias y tensiones en la enseñanza

En la educación básica colombiana, la enseñanza de los ecosistemas transita entre discursos de transformación y prácticas ancladas en modelos epistemológicos de corte mecanicista y fraccionado. A pesar de que los documentos oficiales promueven una comprensión amplia y contextualizada del conocimiento científico, en diferentes elementos que orientan la práctica escolar, como son la organización por disciplinas, los planes de estudio por objetivos de aprendizaje, las clases planeadas y ejecutadas según pruebas estandarizadas de referencia, entre otros, que responden a una lógica fragmentada del saber. En este escenario,

se configuran tensiones que se expresan en al menos tres niveles: la concepción fragmentada de la realidad, la visión mecanicista de los ecosistemas y las formas de representación que median su enseñanza.

En el sistema colombiano de educación formal, a medida que los estudiantes avanzan en los niveles escolares, los contenidos relacionados con el entorno natural se distribuyen en áreas disciplinares separadas: biología, química y física, especialmente en los grados décimo y undécimo. En la escuela media, aunque usualmente se integran los contenidos en la asignatura de ciencias naturales, los lineamientos curriculares y la materialización de los mismos en el aula, suelen diferenciarlos y fragmentarlos en los componentes de entorno vivo, entorno físico y ciencia tecnología y sociedad; siendo el último, el que sugiere una visión más interdisciplinaria (MEN, 2004).

Esta división, es evidente especialmente en las estructuras de evaluación estandarizadas, en los criterios de logro - o listados de evidencias de aprendizaje- fragmentados y en prácticas pedagógicas centradas en la reproducción de contenidos.

Esta estrategia, aunque funcional para ciertos fines administrativos, suele derivar – y continuar en la educación universitaria- en lo que Edgar Morín (1999) llama hiperespecialización, refiriéndose a la “especialización que se encierra en si misma sin permitir su integración en una problemática global o una concepción de conjunto del objeto del cual no considera sino un aspecto o una parte” (Morin, 1999. p. 43). Esta estructura fragmentadora, -explica el autor-, “extrae un objeto de su contexto y de su conjunto, rechaza los lazos y las intercomunicaciones con su medio…Impide, inclusive, tratar correctamente los problemas particulares que sólo pueden ser planteados y pensados en un contexto” (Morin, 1999. p.43) y además, fomenta un reduccionismo que, “conduce a restringir lo complejo a lo simple” e invisibiliza las interacciones, las retroacciones, los contextos y las complejidades que se encuentran entre las disciplinas y promueve una lectura fragmentada de la realidad. (Morin, 1999.p.44).

Las consecuencias de esta fragmentación permean el modo en que se construyen los significados sobre los ecosistemas. La tendencia a enseñar contenidos como “los seres vivos”, “los factores abióticos” o “las cadenas tróficas” de manera aislada fortalece en los estudiantes, una concepción mecanicista desde la cual los ecosistemas se presentan como conjuntos estáticos, jerárquicamente organizados, cuyas propiedades pueden deducirse del análisis de sus partes constituyentes.

En este sentido, cabe referenciar la propuesta de Maturana y Varela (1997)al introducir el concepto del sistema autopoiético como:

> una red de procesos de producción de componentes que se regeneran continuamente y constituyen una red que los produce” y en la cual se entiende que el fenómeno sistémico “ocurre como el resultado del operar de los componentes de un sistema mientras realizan las relaciones que definen al sistema como tal, y en tanto, ninguno de ellos lo determina por sí solo, aun cuando su presencia sea estrictamente necesaria. (Maturana y Varela, 1997, p. 23 y 46)

Desde esta perspectiva, la vida no podría entenderse fuera de sus relaciones internas de producción y transformación y sugiere que la comprensión de los ecosistemas requiere identificar las interacciones que permiten la emergencia de formas nuevas, más allá de las estructuras visibles. En esta línea, las concepciones mecanicistas resultan insuficientes para entender los ecosistemas.

En referencia al estudio de los sistemas, Rolando García (2006, p.59) también advierte sobre los límites del conocimiento fragmentado al señalar que “La descomposición de un sistema en partes y el estudio de estas partes por separado conduce a una pérdida de las propiedades emergentes que sólo se manifiestan en la totalidad”. En su propuesta epistémica, la articulación de los saberes y la comprensión de los sistemas concretos se erigen como condiciones necesarias para construir una visión significativa del ambiente, donde los elementos no son entidades aisladas, sino nodos en una red de relaciones múltiples y cambiantes.

Esta tensión entre la complejidad del fenómeno y su simplificación en el aula se manifiesta también en las formas de representación que median la enseñanza de los ecosistemas, no sólo por la ruta que se presenta en los documentos gubernamentales que guían el accionar de las instituciones educativas, sino por las formas en que comúnmente estas se materializan en las propuestas y recursos de aula (por ejemplo en los libros de texto), pues las secuencias didácticas tienden a apoyarse en esquemas lineales, modelos cerrados y taxonomías, que aunque útiles, tienden a ofrecer imágenes reducidas, predecibles y estáticas de procesos que en la realidad son no-lineales, abiertos e inciertos.

La dinámica hídrica, por ejemplo, suele presentarse como un ciclo cerrado, invariable y automático, asociado a los estados de la materia, cuando en realidad responde a múltiples condiciones bióticas, abióticas, sociales y climáticas que interactúan de forma no lineal; y su complejidad, no sólo radica en la dinámica física del agua, sino también en los vínculos que establece con procesos como la evapotranspiración vegetal, la filtración en suelos diversos, las afectaciones por las actividades humanas y el acceso diferencial al agua por los grupos humanos, entre otros. Reducir dinámicas como estas, a la representación como flujo lineal, cíclico, sin contexto, invisibiliza la conflictividad, la fragilidad y la interdependencia del fenómeno como parte de los ecosistemas.

Los elementos mencionados en los anteriores párrafos sugieren que las estructuras que predominan en la enseñanza de las ciencias naturales – y que aportan a la configuración de las formas en las que los sujetos significan su experiencia -, y específicamente de los ecosistemas, se acercan más a una tradición mecanicista y reduccionista. Sin embargo, es posible evidenciar una tensión entre lo que podría reconocerse como una organización práctica para acercarse al conocimiento, que se ha venido consolidando en la escuela y los fundamentos teóricos y epistemológicos a partir de los cuales dicha estructura ha sido propuesta.

Es así, como en el texto de las concepciones que orientan la construcción de los Estándares Básicos de Competencias en Ciencias Naturales y Sociales para Colombia (MEN, 2004) puede leerse lo siguiente:

> Si se espera desarrollar la capacidad de contextualizar e integrar, resulta un contrasentido separar y aislar los saberes, máxime si se tiene en consideración que no es el papel de la institución escolar proporcionar una formación disciplinar. La complejidad, incremento y progreso constante de las disciplinas científicas en sus procesos, contenidos y productos, hacen que la educación en ciencias sea un asunto de formación académica continua para permanecer a la par con sus avances conceptuales. De manera infortunada en muchos casos las propuestas curriculares, los procesos de enseñanza y de aprendizaje agudizan el problema. Se enseña y se aprende en forma segmentada, se separan las disciplinas antes de reconocer sus solidaridades, se fragmentan los problemas más que vincularlos e integrarlos. (MEN, 2004, p.103)

En el documento también se reconoce la "enorme brecha entre los saberes encajonados en disciplinas, su parcelación, su enclaustramiento, su disociación" y que "el conocimiento progresa, no solamente por su sofisticación, formalización o abstracción, sino por su capacidad para contextualizar y totalizar, hacer abordajes de la realidad más transversales, multidimensionales y desde la perspectiva de diversas disciplinas" (MEN, 2004)

Lo anterior, pone de manifiesto cómo las intenciones integradoras se van desdibujando en su transición desde los lineamientos gubernamentales, pasando por la estructuración curricular en los estándares de competencias y terminando en las condiciones institucionales que pretenden materializar dicha estructura, configurando así, dos imágenes de ciencia totalmente contradictorias: una revestida de complejidad en la teoría frente a una imagen mecanicista y reduccionista en la práctica.

Según esto, resulta válido y necesario preguntarse sobre las condiciones pedagógicas que permiten materializar los propósitos integradores de la formación en ciencias en las prácticas de su enseñanza. Al respecto, varios autores, entre ellos Edgar Morin (1999) y Erwin Laszlo (2008), invitan a construir nuevas formas de pensamiento en las que los individuos y las comunidades puedan reconocer la interconexión sistémica del mundo y de superar las

limitaciones del pensamiento fragmentado, como condición necesaria para hacer frente a los desafíos del siglo XXI.

Estas nuevas formas de pensar, para Morin (1999, p. 37) deberían lograr no solo el acceso a la información sobre el mundo, sino hacer posible su articulación y organización, percibir y concebir el contexto, lo global (la relación todo/parte), lo multidimensional, lo complejo. Para Laszlo (2009, p. 11) debería permitir hacer frente, de forma exitosa -como especie- a la realidad cambiante. Lo cual, desde la escuela, plantea, más allá de cambios y actualizaciones en los contenidos determinados en las diferentes mallas curriculares, una transformación de las formas simbólicas a través de las cuales se representa el mundo natural en el aula, y una revisión crítica a los procesos de significación en cuanto permiten o no, un reconocimiento de la incertidumbre, la complejidad y la emergencia en los ecosistemas.

Al proyectar esta transformación, es necesario reflexionar sobre los caminos posibles para liderar estas nuevas formas de pensar en la escuela, en las posibilidades que el conocimiento organizado históricamente en disciplinas ofrece y en las posturas epistemológicas, pedagógicas y metodológicas que sustentarían la construcción de comprensiones del mundo natural desde una perspectiva de la complejidad.

1.1.2 Experiencias Propias en la Enseñanza de Ecosistemas en el Nivel Básico

A lo largo de la experiencia docente de la autora, la enseñanza de los temas relacionados con los ecosistemas ha estado presente. Desde segundo grado hasta undécimo, se han abordado conceptos como cadenas y redes tróficas, factores bióticos y abióticos, ciclos biogeoquímicos, relaciones entre seres vivos, tipos de ecosistemas y los modelos de representación, teniendo en cuenta las orientaciones de los currículos nacionales y/o internacionales y las condiciones institucionales.

Un interés que siempre ha permeado esta práctica es el de contextualizar el estudio de los tópicos mencionados a la realidad colombiana, considerando su diversidad de pisos térmicos,

de ecosistemas y de especies y se ha hecho un esfuerzo por incorporar evidencias -usualmente audiovisuales- que les permitan a los estudiantes, no solo comprender los conceptos abordados, sino acercarse al conocimiento de su territorio.

En este sentido, se han identificado algunos retos. El primero, tiene que ver con los libros de texto disponibles para los entornos educativos bilingües, donde los casos presentados, provienen de otras geografías y es muy escaso el material de divulgación científica de la biología en Colombia, que, no sólo esté dirigido a la población infantil y juvenil, sino que además esté adaptado a las demandas curriculares.

Durante varios años, se recurrió a la búsqueda de material audiovisual que ofreciera una perspectiva de algunas características particulares de ecosistemas colombianos, relaciones entre algunas especies, cadenas tróficas, etc. para realizar material didáctico que permitiera lograr el propósito. Sin embargo, la búsqueda pocas veces fue exitosa en términos de su adaptabilidad a las condiciones de aula (tiempo, espacio, conceptos a abordar, habilidades a trabajar), por lo que en varias oportunidades se usaron casos de otros contextos, pero cuya forma de documentación, se adecuaba más a las demandas didácticas.

Otro desafío en algunas instituciones tenía que ver con la dificultad de realizar salidas pedagógicas que posibilitaran una experiencia directa con la naturaleza, pues en algunos casos, estas no siempre se eligen según las demandas específicas de cada área, sino que se programan para responder a otros objetivos, principalmente de convivencia escolar.

De esta forma, cuando era posible se recurría a los espacios naturales dentro de los colegios, como jardines o pastizales, lo que favoreció la experiencia directa de los estudiantes, activando su sensibilidad y permitiendo realizar algunas actividades de comparación, diferenciación de estructuras e identificación de algunas relaciones. A partir de estas experiencias se hizo más evidente la necesidad de la profundización teórica y conocimiento específico del docente sobre el área de estudio, para guiar con efectividad las actividades y la curiosidad de los estudiantes hacia los resultados esperados en términos conceptuales, pues sin

esto, el ejercicio se agotaba en la mera observación y descripción de componentes. La identificación de interacciones, que terminaba abordándose desde otros contextos más documentados, apoyados en modelos de representación genéricos, resultaba de cierta manera, desconectada de estas experiencias directas.

De estas aproximaciones se pudieron reconocer entonces, dos aspectos necesarios para el estudio de los ecosistemas. El primero, es que para construir conocimiento en el aula sobre los entornos naturales cercanos a los estudiantes, el docente debe conocer previamente la zona geográfica estudiada y deben existir una estructura y un material didáctico productos de las implicaciones y exigencias del contexto del docente y de los estudiantes, que guíen la integración de la experiencia directa con los conceptos ecosistémicos y posibilitar de esta forma, no solo la transferencia de los modelos representacionales validados por la ciencia y el currículo, los cuales resultan insuficientes para comunicar la complejidad del mundo natural por ser reduccionistas y desconectados del contexto, sino que también enriquezca el diálogo sobre el objeto observado para la construcción de significados comunes y la emergencia de nuevas formas de representarlos.

El otro aspecto que queda manifiesto, es que los modelos de representación (por ejemplo cadenas tróficas, ciclos biogeoquímicos), si bien útiles para el reconocimiento de categorías, dinámicas energéticas, identificación de algunas relaciones, resultan insuficientes no sólo para comunicar la complejidad del mundo natural sino para construir conocimiento en el aula, pues su carácter reduccionista deja por fuera las propiedades que emergen de las interacciones entre los diferentes factores y que pueden ser muy específicas según el objeto estudiado.

Dichas representaciones, difícilmente consideran las relaciones entre lo global y lo local, pues separan las transformaciones químicas en la atmósfera, de los procesos biológicos que a su vez son diversos según sean los aspectos físicos del territorio y no involucran la diversidad de especies y ambientes.

Puede decirse entonces que es labor del docente, crear las experiencias de integración y contextualización de estos elementos, generando no sólo experiencias, sino también material didáctico para que los modelos representacionales puedan enriquecerse, contextualizarse e incluso cuestionarse de forma que revistan relevancia para los estudiantes y abran paso a otras formas de comprensión.

Estas fueron algunas de las inquietudes que motivaron el trabajo desarrollado durante la Especialización en Docencia de las Ciencias para el Nivel Básico, titulado "Estudio de La Circulación del Agua como Fenómeno Complejo con Estudiantes de Grado Cuarto en el Colegio La Colina" (Londoño, 2020), el cual permitió iniciar un camino de exploración sobre las formas en que se enseña y se comprenden los fenómenos naturales en el contexto escolar.

A partir de los diferentes espacios académicos del programa de especialización, se fue intensificando una inquietud sobre las limitaciones de los enfoques fragmentados, lineales y reduccionistas que han predominado históricamente, no solo en la enseñanza de las ciencias, sino también en la construcción de su saber y su aplicación.

A través de la intervención en el aula incluida en el trabajo de grado se fueron develando además, algunas estrategias posibles para armonizar el conocimiento disciplinar establecido en el currículo institucional, con la construcción paulatina y colectiva de miradas complejas del entorno natural, para situar al sujeto que conoce como parte del fenómeno que estudia y para la construcción de ambientes de aula democráticos e inclusivos, generadores de conocimiento contextualizado sobre los fenómenos.

Durante dicho proceso formativo se profundizó en el estudio de la circulación del agua a través de un ecosistema específico —el bosque del Colegio La Colina— abordando como objeto de estudio, la dinámica hídrica en las bromelias. Este análisis permitió identificar que más allá de los conceptos tradicionales asociados al ciclo del agua, era posible promover en los estudiantes una mirada relacional, situada y contextual del fenómeno. Las bromelias, como parte del bosque, al funcionar como pequeñas unidades ecosistémicas que almacenan, regulan

y movilizan agua, ofrecieron un escenario propicio para analizar interacciones entre organismos, condiciones del medio y estructuras funcionales, lo que a su vez abrió paso a nuevas preguntas sobre cómo pensar los ecosistemas desde una lógica compleja.

El proceder metodológico que orientó la intervención en el aula estuvo mediado por el enfoque de los problemas de conocimiento - una propuesta del Grupo Eco-Perspectivas del Departamento de Física de la Universidad Pedagógica Nacional- y entendidos como "experiencias que desencadenan procesos alternativos para la enseñanza de las ciencias y llevan al desarrollo de procesos de conocimiento" (Valencia et al., 2003, p. 3)

Estas experiencias configuran el aula como espacio de transformación cultural, en el cual emergen roles que modifican las relaciones de saber poder y que convierten al estudiante en sujeto social de conocimiento; que posibilitan la construcción de nuevas representaciones del mundo a partir del compartir, el cuestionamiento y la validación colectivas "de percepciones, puntos de vista, valoraciones, productos de la ciencias y estructuras sociales enmarcadas en el contexto institucional de la escuela" (Valencia, et. al. 2003 como se citó en Londoño, 2020).

Esta propuesta está enmarcada en una visión de la ciencia como "una actividad de construcción de explicaciones, de representaciones que son legitimadas social e históricamente y por lo cual tiene un carácter provisional y de su enseñanza como la práctica en la que emergen nuevas subjetividades (Valencia et al.,2003)." y cuya complejidad puede evidenciarse en la constitución de problemas de conocimiento. La aplicación de este enfoque para la aproximación a los contenidos científicos no solo movilizó saberes escolares, sino que también habilitó la reflexión epistemológica sobre cómo se construye el conocimiento y desde dónde se justifica.

En coherencia con esta propuesta, se identificaron tres ejes articuladores de la experiencia. El primero, "observación y la experiencia en la construcción de significados", teniendo como referencia los postulados de Hanson (1958) en su libro *Patterns of Discovery*. An inquiry into the conceptual foundations of science y de Gastón Bachelard en la obra de Jean

(1983), “Bachelard, La Infancia y la Pedagogía”. El segundo, se llamó “De la Artificialización, los Juguetes de Profundidad y el Asombro de la Inteligencia; y el tercero, “De la Complejización de las Relaciones y sus Diferentes Lenguajes” (Londoño, 2020, pp. 77-115)

Desde el primer eje se pudo evidenciar cómo la construcción de significados está mediada no solo por la experiencia directa, sino por la elaboración intelectual que se hace de la misma en comunidad y que está mediada por el lenguaje. De este análisis, se derivaron las siguientes reflexiones:

> La primera, es que el “ver”, de acuerdo con Hanson (1958) y Bachelard (Citado en Jean, 1981. p.21 y 182), es un proceso intelectual más que sensorial, que rompe las primeras imágenes. Es la actividad de la mirada que libera de la pasividad de la visión para concentrarse y permitir así imaginar y razonar.
> La segunda, que, para generar nuevas organizaciones, es el lenguaje con toda su riqueza expresiva y enunciativa -que supera la imagen, la grabación, la representación- el que moviliza la imagen y la razón y por lo tanto el instrumento que debe mediar para construir lenguajes comunes y que palabras como bromelias, bosque, ecosistema, lleguen a ser significativas y relevantes para los estudiantes.” (Londoño, 2020)(p.89)

El segundo eje articulador, se llamó “De la Artificialización, los Juguetes de Profundidad y el Asombro de la Inteligencia” (Londoño, 2020. P.90).

Aquí, la artificialización es entendida como la actividad de “manipular el mundo natural para obtener más información de él” (Valencia et al., 2003) y consistió en realizar experimentos de absorción por las raíces y transporte de sustancias en tallos de apio, su posterior disección y observación en el microscopio. Esto les permitió a los estudiantes no solo visualizar unas estructuras que a simple vista hubiera sido muy difícil observar, sino además construir significados a partir de ellas, establecer relaciones entre estructura, función y recorridos, “acuñar conceptos, anticipar eventos, elaborar generalizaciones… que enriquecen las explicaciones al fenómeno conocido.” (Valencia et al., 2003, en Londoño, 2020, p. 97).

Esta estrategia, va en línea con lo que Bachelard conoce como los “juguetes de profundidad”, objetos de estudio que pueden develarse capa a capa y que permiten que los

sujetos “logren superar las primeras imágenes y paulatinamente irlas transformando en conocimiento científico, mediante procesos que satisfagan su curiosidad profunda en el ejercicio de la actividad intelectual (Jean, 1983, en Londoño, 2020, p. 61).

Con esta referencia, las bromelias, en contraste con la planta de apio, se asumieron como juguetes de profundidad dentro del aula para el estudio de la circulación en las plantas. La primera capa, donde se evidenciaba el transporte de agua con colorante a través de un tallo de apio, posibilitó el reconocimiento del fenómeno y motivó la curiosidad sobre lo que lo propiciaba. Así, mediante actividades con variables controladas, procedimientos de medición, y de observación al microscopio, se alimentó el diálogo, de forma que cada comentario era recibido, cuestionado o complementado por el grupo y se fueron develando cada una de las capas de estos organismos, permitiendo crear significados y formas de representación compartidas.

El tercer eje articulador de la experiencia se denominó “De la Complejización de las Relaciones y sus Diferentes Lenguajes” (Londoño, 2020, pp. 77-115). Este, fue arrojando evidencias durante toda la experiencia, pues a medida que se iban incorporando variables en el estudio, de forma paulatina y heterogénea, cada estudiante fue complejizando sus significados sobre las dinámicas del agua en el planeta, a partir de la construcción de una visión más sistémica de las mismas.

Al final de la experiencia, alrededor de las preguntas ¿Cuál es la relación entre el ciclo del agua y las bromelias y entre las bromelias y el ecosistema? y, ¿Cómo circula el agua en los ecosistemas?, los estudiantes trabajaron en grupos para elaborar representaciones gráficas y escritos que dieran respuesta a estas preguntas. Su trabajo, evidenció “lo que Jean (1983) describe como “la actividad laboriosa y compartida, que se enfrenta a la complejidad de los fenómenos y las formas de expresión” (p.117) (En Londoño, 2020), p. 107).

Sus representaciones gráficas y sus textos constituyeron lenguajes propios elaborados a partir de la experiencia, que además lograban articular esos conceptos que, en las

aproximaciones previas al trabajo de grado de la especialización, se construían fragmentados, desarticulados y reduccionistas. Por el contrario:

> A partir de la escritura, emergió la capacidad creadora de los niños a la que apeló Bachelard (Jean, 1983, pp. 73 y 74). Los gestos con las manos, las pausas y silencios, fueron paulatinamente reemplazados por enunciados más precisos, mucho más cercanos al lenguaje científico en cuanto se redujo su nivel de ambigüedad. Lograron construir un conocimiento científico que fue "lenta y minuciosamente" destruyendo la máscara de la realidad para reconocer detrás de ella cómo se hacen complejos los fenómenos (Jean, 1983, p.103). (Londoño, 2020)

Los intentos posteriores por adaptar esta propuesta en otros contextos educativos permitieron reconocer que estos resultados no dependían exclusivamente del diseño de las actividades ni de la presencia de escenarios naturales similares. Aunque las instituciones contaban con condiciones que, en principio, parecían favorables —como reservas ecológicas, modelos pedagógicos centrados en el desarrollo del pensamiento o la posibilidad de retomar experiencias de artificialización—, factores relacionados con la organización institucional, las prioridades curriculares, las dinámicas administrativas y la presión de los procesos evaluativos dificultaron la consolidación de espacios sostenidos de diálogo, experiencias directas intencionadas y relaciones progresivas entre los diferentes fenómenos estudiados. A ello se sumó el proceso de familiarización y adaptación que todo docente debe vivir al incorporarse a un nuevo contexto escolar, el cual demanda tiempo, observación y prudencia para comprender las particularidades institucionales y construir las condiciones necesarias para adaptar una propuesta de esta naturaleza.

Como se ha evidenciado en el desarrollo de este capítulo, abordar los conceptos relacionados con los ecosistemas para integrar conocimientos que usualmente se presentan fragmentados, situar su estudio en el territorio propio y generar condiciones de aula que permitan orientar la curiosidad y la complejización del pensamiento de los estudiantes desde su heterogeneidad, demanda del docente una preparación significativa.

Esta preparación implica no solo formación disciplinar en modelos representacionales y procesos generalizados, sino también tiempo para profundizar en el conocimiento del objeto o ecosistema a estudiar y de las condiciones específicas de los contextos en los que se pretende desarrollar la intervención. Lo anterior requiere, a su vez, un tiempo prudente de planificación.

Este hecho lleva necesariamente a comprender que el ejercicio docente se encuentra también en permanente revisión y construcción para adaptar y mejorar las prácticas frente a los nuevos retos que plantean las condiciones institucionales, las necesidades de los estudiantes y las tensiones curriculares.

1.1.3 Otras Experiencias en la Enseñanza de Ecosistemas en el Nivel Básico

Al realizar una revisión preliminar de las inquietudes pedagógicas abordadas en otros trabajos sobre la enseñanza de los ecosistemas, se identifican tensiones similares a las que orientan este trabajo. Asimismo, se reconocen condiciones teóricas y pedagógicas que permiten explorar alternativas para la enseñanza de los ecosistemas desde perspectivas que superan la fragmentación y el reduccionismo conceptual, y que sitúan la experiencia y el diálogo como fundamentos de la construcción de conocimiento en el aula.

Una de las experiencias, está dada por el trabajo de Sánchez Jiménez, K. Z., & Rojas Vanegas, L. E. (2021), titulado Enseñanza de los ecosistemas y las relaciones entre sus poblaciones a través de la huerta escolar en el grado 6 de la institución Etnoeducativa Rural Laachon Mayapo, realizado en el contexto de la Maestría en Educación de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas, en Riohacha, Departamento de La Guajira.

Uno de los aspectos a destacar de esta investigación es el interés en articular los saberes ancestrales Wayuu con “criterios científicos, didácticos, inferenciales y propositivos de los derechos básicos de aprendizaje (DBA) en el área de ciencias, teniendo en cuenta los usos y costumbres de los estudiantes y sus conocimientos previos.” Sánchez et al., (2021., p.13).

Para esto, las autoras se dieron a la tarea de explorar el conocimiento ancestral, usando diferentes instrumentos para dialogar con lo miembros de la comunidad Wayuu (anciano, sabedor, autoridad tradicional, padres de familia) y docentes de la institución, con el objetivo de "reconocer e integrar los saberes ancestrales wayuu y los conocimientos científicos para el diseño de la propuesta didáctica" (Sánchez, et al., 2021. p.13). Dicha propuesta fue la elaboración de una cartilla bilingüe (español – wayuunaiki) con explicaciones prácticas para entender la huerta como un ecosistema.

Los diálogos intencionados con la comunidad, le permitió a las autoras, reconocer el conocimiento tradicional sobre los aspectos de la siembra, también las formas culturales de concebir, considerar e intervenir los procesos físicos y biológicos y sus interacciones, pero además, comprender cómo el establecimiento de las huertas constituía un espacio para el encuentro social, cultural y de transmisión de saberes, asociado a su propia seguridad alimentaria y la economía. Al respecto mencionan:

> …se identifican algunas características del conocimiento tradicional como valor económico, carácter colectivo y arraigo territorial, planteadas por Valladares y Olivé (2015), porque los wayuu tenían la sabiduría ancestral de sembrar en el momento preciso para obtener buenas cosechas, basándose en su cosmología wayuu y en los cambios climáticos que se presentaban, además porque los conocimientos sobre el proceso de siembra eran compartidos entre los miembros de la comunidad y luego aplicados para satisfacer sus necesidades por medio de los cambios o trueques de alimentos que realizaban, asegurando su seguridad alimentaria, es de anotar lo que mencionan las madres de familia, que las siembras las realizan en sus propias viviendas, están arraigadas a su territorio. En consonancia, como lo menciona Nemogá (2015), "el conocimiento sobre la naturaleza, así como las prácticas y las innovaciones en el uso y manejo de la biodiversidad están guiados por las cosmovisiones que les dan sentido a las experiencias de las comunidades humanas con el ambiente" (p.314). (Sánchez Jiménez, K. Z., & Rojas Vanegas, L. E., 2021. p.59)

Después de esta exploración, inició el trabajo con los estudiantes para el establecimiento de la huerta, previa exploración de sus saberes sobre la misma, las técnicas ancestrales para su establecimiento y sobre los ecosistemas.

Un aspecto especialmente relevante de esta investigación corresponde al reconocimiento de que la experiencia directa, mediada por la construcción de una huerta escolar, generó una mayor disposición de los estudiantes para comprender los ecosistemas que las actividades desarrolladas exclusivamente en el aula. Las autoras evidencian que, mientras las actividades centradas en guías favorecían respuestas reproductivas y poco significativas, la interacción con la huerta permitió que los estudiantes comenzaran a establecer relaciones entre los componentes del sistema y a movilizar conocimientos construidos en su propia experiencia cultural. En este sentido, la artificialización de una parte de la realidad no solo favoreció el aprendizaje de conceptos científicos, sino que posibilitó la emergencia de nuevas formas de representación y de significados que difícilmente aparecían en escenarios tradicionales de enseñanza (Sánchez et al., 2021, p. 90).

Otro aspecto que resulta particularmente significativo para los intereses de la presente investigación es la reconstrucción histórica que las autoras realizan del concepto de ecosistema, la cual posteriormente ponen en diálogo con las comprensiones que la cultura wayuu ha construido alrededor de la huerta y sus dinámicas. Este ejercicio permite reconocer cómo factores como las lluvias, las condiciones del suelo, la presencia de determinados organismos y las prácticas culturales son comprendidos como relaciones interdependientes que configuran el funcionamiento del sistema. De esta manera, el conocimiento científico y los saberes propios del territorio dejan de aparecer como explicaciones excluyentes y comienzan a dialogar para enriquecer la comprensión del ecosistema (Sánchez et al., 2021, pp. 27–29).

Al respecto Cano, Van Der Hammen y Arbeláez (2010), sostienen que existen varios tipos de tierra donde se puede sembrar, hay tierras duras que no son aptas para las siembras fuertes y duras y finalmente las fuertes y blandas, que son las más apropiadas. En este sentido, se puede verificar que María al relatar el proceso de siembra, sostenía que debía mojarse la tierra y hacerla como masa para obtener mejores cosechas.

Otro aporte especialmente significativo de esta investigación radica en evidenciar cómo las comprensiones que una comunidad construye sobre los ecosistemas emergen de la interacción histórica y cotidiana con el territorio. Las autoras muestran que los saberes ancestrales wayuu integran relaciones entre fenómenos astronómicos, climáticos, biológicos y productivos para orientar prácticas como la siembra, así como explicaciones sobre las interacciones entre los organismos que habitan la huerta. Aunque estas comprensiones fueron recuperadas a partir del diálogo con miembros de la comunidad y no directamente con los estudiantes, constituyen un referente importante para reconocer que las ideas que circulan en el aula están profundamente permeadas por el contexto sociocultural del que hacen parte. En este sentido, la investigación resalta la necesidad de diseñar experiencias cercanas a dicho contexto que permitan movilizar estos saberes, ponerlos en diálogo con el conocimiento científico y favorecer la construcción progresiva de significados compartidos (Sánchez et al., 2021, pp. 62–64).

Otro trabajo que se toma como referente, es el de “Condiciones Técnicas y Teóricas en la configuración del concepto de Ecosistema, desarrollado por Pérez (2023) en el marco de la Maestría en Docencia de las Ciencias Naturales de la Universidad Pedagógica Nacional. En dicho trabajo, también se parte de los saberes que los estudiantes traen al aula, que se han constituido a partir de diferentes fuentes y los cuales se ponen en discusión con lo que el autor reconoce como experiencia básica, pero que además son cuestionados y resignificados a partir de experiencias de artificialización que posibilitan la emergencia de nuevos significados y representaciones.

Su propuesta surge como respuesta al reconocimiento de que el concepto de ecosistema suele desarrollarse en la educación media de manera desarticulada, al ser abordado desde diferentes asignaturas. Esto conduce a que su estudio se reduzca con frecuencia a la descripción de sus componentes, dejando de lado las múltiples relaciones que

tienen lugar al interior de los ecosistemas (Pérez, 2023, p. 10). Según argumenta el autor, esta aproximación favorece una comprensión fragmentada de la realidad.

Sumado a esto, identifica como otro obstáculo, que la enseñanza de los ecosistemas suele presentarse descontextualizada a la realidad de los estudiantes, pues frecuentemente tiene como referentes, ambientes naturales lejanos a la realidad colombiana, limitando así la circulación de las ideas configuradas previamente en cada uno de los estudiantes a partir de su experiencia vital. (Pérez, 2023, p.11)

En relación con este aspecto, Pérez (2023) identifica la necesidad de que el docente de ciencias comprenda el proceso histórico mediante el cual el concepto de ecosistema se configuró como objeto de estudio de las ciencias, a partir de los avances en el estudio de la naturaleza. El autor plantea este conocimiento como una de las condiciones necesarias para orientar propuestas de aula que favorezcan la construcción de conocimiento en torno a dicho concepto (Pérez, 2023, p. 11). Estos cuestionamientos guardan una estrecha relación con las tensiones que orientan la presente investigación, razón por la cual resulta pertinente profundizar en la propuesta planteada por Pérez

El trabajo, denominado “Condiciones Técnicas y Teóricas en la Configuración del Concepto de Ecosistema” (Pérez, 2023), propone entonces la creación de terrarios y su estudio mediante otras estrategias de artificialización como son los montajes experimentales sobre las dinámicas del aire, el agua, la luz y el suelo, como estrategia didáctica para que los estudiantes cuestionen las ideas que ya venían construidas sobre las condiciones que posibilitan que la planta sobreviva.

Esta estrategia, explica, le da lugar al asombro, y a la formulación de preguntas que se derivan de este -que se convierten en objetos de estudio- y que los alejan de las certezas que previamente estructuraban sus significados, para dar paso al planteamiento de variables, el reconocimiento de relaciones y nuevas explicaciones. Al respecto, el autor dice:

> Durante el proceso de observación y toma de registros sobre lo que acontecía en el interior del terrario los estudiantes enriquecieron y reconstruyeron diferentes representaciones del mundo natural, generando cuestionamientos de las ideas que tenían sobre el crecimiento y desarrollo de las plantas, ya que comprendían que para la supervivencia de estos organismos es necesario la presencia de agua, la cual en el interior del terrario desde la concepción de ellos era escasa. (Pérez, 2023, p.79)

De esta forma, si bien en esta etapa, la palabra ecosistema aparece poco, los estudiantes lograron estructurar una aproximación sistémica al estudio de los fenómenos asociados al terrario, sobre lo cual, el autor concluye que los estudiantes se aproximaron a una perspectiva sistémica del montaje, al comprenderlo como una unidad organizacional que es llevada a la expresión de complejidad, dado que se mantiene a partir de las diversas interacciones que ocurren en su interior y de la que emergen ciclos catalíticos, dinámicas energéticas y un proceso de autorregulación. (Pérez, 2023, p. 82)

El resultado de esta etapa es abordado en la siguiente, más relacionada con procesos de revisión documental en función del reconocimiento de diferentes ambientes naturales y los elementos constituyentes (características fisicoquímicas y biológicas) que permiten categorizarlos. En un primer momento, se aborda esta revisión desde una mirada reduccionista, a la que paulatinamente, con la mediación del docente se van incorporando las inquietudes y explicaciones que surgieron del terrario y que son las que permiten la complejización de las miradas hacia las dinámicas que allí acontecen.

De esta manera, los estudiantes lograron estructurar explicaciones sobre los ambientes naturales analizados, reconociendo en ellos relaciones no lineales en diferentes escalas espaciales y temporales, con caracteres de auto organización, adaptación y funcionalidad en su estructura y dinámica; identificando estructuras tróficas a partir de flujos de materia y energía entre factores bióticos y abióticos, en relación con la distribución y clasificación de los organismos, como lo relata el autor en el siguiente fragmento:

> Finalmente, se puede establecer que en una primera instancia los estudiantes contaron con la libertad de tomar los objetos de estudios y generar explicaciones a partir de la

> caracterización de los ambientes naturales, dejando de lado construcciones realizadas en otros momentos de la intervención surgiendo la necesidad de realizar un proceso de retroalimentación a partir de las revistas digitales, permitiendo la emergencia de un nuevo pensamiento que integrará y conjugará los modelos simplificadores de pensar, rechazar las ideas reduccionistas y unidimensionalizantes (Valencia y otros, 2003) en donde los estudiantes establecieran una complejización de sus explicaciones posibilitando aproximaciones a la comprensión de los ambientes naturales como ecosistemas." (Pérez, 2023, p.86)

En una tercera etapa, la documentación teórica, la socialización y el debate se retomaron como constitutivos de ambientes comunicativos para abordar el caso de estudio de los páramos y caracterizarlos como ecosistemas estratégicos, dadas las dinámicas hídricas particulares que posibilitan el abastecimiento de agua para la especie humana. Esta última aproximación, permitió, según el autor, la generación de posturas críticas por parte de los estudiantes, quienes lograron reconocer los páramos como territorios de conflicto en cuanto las dinámicas humanas permean y modifican las relaciones, estructuras y funcionalidades identificadas en las etapas anteriores de la intervención de aula.

En el trabajo de Pérez (2023) entonces, puede reconocerse claramente el papel que juegan la experiencia, la documentación, la socialización y el dominio que tenga el docente no sólo de su campo de estudio, sino también de los procesos históricos en la construcción de conocimiento, para la generación de ambientes de aula que posibilitan las miradas complejas de los estudiantes hacia los ecosistemas.

Ahora bien, en términos de experiencias relacionadas con la complejidad, se hace una revisión de la propuesta de Moreno (2024) titulada "La Complejidad Ambiental y su Grado de Apropiación por Estudiantes de un Colegio de Nivel Secundaria", desarrollada para la Maestría en Educación Ambiental de la Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales U.D.C.A, de Bogotá, Colombia y que consiste en una investigación en un colegio de Cundinamarca sobre la comprensión de la complejidad ambiental del territorio por parte de 10 estudiantes entre 12 y 16 años, pertenecientes al semillero de pensamiento ambiental de dicha institución.

Si bien los intereses del trabajo que aquí se desarrolla no se centran en la educación ambiental, se reconocen dos aspectos que hacen relevantes los aportes de Moreno (2024). El primero, está relacionado con la forma en que aborda la complejidad de los sistemas, al cuestionar las aproximaciones reduccionistas y promover una comprensión basada en las interacciones, la no linealidad, la incertidumbre y la complementariedad de perspectivas para explicar el funcionamiento de fenómenos complejos. Estos planteamientos guardan estrecha relación con las preocupaciones que orientan este ejercicio en torno a la fragmentación del conocimiento y a la construcción de comprensiones más integradoras sobre los ecosistemas.

En segundo lugar, Moreno concibe los ecosistemas como una dimensión constitutiva de los sistemas ambientales. Aunque estos incluyen componentes sociales, económicos y culturales, el interés del presente trabajo se centra particularmente en las relaciones que se establecen entre los factores bióticos, abióticos y las acciones humanas concretas que interactúan con ellos, así como en los procesos de autoorganización, adaptación y equilibrio dinámico que emergen de dichas interacciones.

De esta forma, del trabajo de Moreno se retoma lo que el autor señala como un obstáculo para la amplitud de pensamiento requerido para analizar lo ambiental: el reduccionismo característico de las visiones naturalistas, conservacionistas y antropocentristas del ambiente que circulan en la escuela en cuanto no permiten “interpretar simbólicamente la naturaleza como inherente a nuestro existir” (Moreno, 2024, p.105)

En este sentido, el autor afirma que se hace necesario un nuevo paradigma para pensar la complejidad, pero también menciona los obstáculos operacionales y en muchas ocasiones administrativos que no permiten que los fundamentos teóricos y epistemológicos que configuran dichos paradigmas se materialicen en las prácticas docentes. Un aspecto para destacar es la reflexión que plantea el autor al decir que:

> Esta potencialidad de cambio que propone la complejidad ambiental es imposible si no se teoriza sobre el territorio… La interpretación pertinente de la trama de interrelaciones

> que se conjuran en un territorio es labor primordial que no se puede dilucidar segmentando visiones, ocultando saberes, más bien la tarea es comprender la trama y unir puntos concordantes aún desde posturas aparentemente distantes" (Moreno, 2024. Pp. 117 y 119)

Dicha reflexión va en línea con las propuestas de abordar el estudio de los ecosistemas, como sistemas complejos, desde aproximaciones contextualizadas a la realidad de los estudiantes, tal como lo proponen las dos investigaciones referenciadas anteriormente en este capítulo (Sánchez Jiménez, K. Z., & Rojas Vanegas, L. E., 2021 y Pérez, 2024). Primero, como condiciones para motivar el asombro y la curiosidad, pero también para el reconocimiento del papel de sujeto que conoce, como parte del objeto que busca conocer.

En la investigación de Moreno, se presenta un proceso en el que la aproximación reduccionista de los estudiantes hacia el ambiente se va transformando, a partir de la intervención pedagógica, en una mirada desde la complejidad. Este proceso incluyó tres momentos: En el primero, se realizó una prueba con preguntas sobre las concepciones que los estudiantes tenían del ambiente, el cual confirmó la hipótesis del autor sobre la tendencia a visiones reduccionistas del mismo, en las cuales el ser humano actúa como destructor del equilibrio natural. La segunda etapa incluyó salidas de campo al entorno próximo de la institución y talleres vivenciales que buscaban construir nociones sobre las dimensiones ambientales y culturales del territorio. Para ello, se promovió la exploración de aspectos como la incertidumbre, la relación individuo-ambiente, el diálogo con actores locales y la creatividad ambiental, enfatizando las conexiones entre estos elementos. El propósito era fortalecer capacidades de integración que permitieran a los participantes conceptualizar sobre el significado de la complejidad ambiental del territorio desde una perspectiva relacional. (Moreno, 2024, p. 66).

Entre las actividades propuestas, se destaca el papel de la experiencia directa con el objeto de estudio, la cual permitió incorporar progresivamente nuevas perspectivas y representaciones que fueron develando relaciones cada vez más complejas entre los

elementos que lo constituyen. Para ello, se generaron espacios de diálogo con distintos actores del territorio en torno a temas y problemáticas específicas, como el tráfico ilegal de especies. Asimismo, se promovió el reconocimiento de los servicios obtenidos de la naturaleza a través de la percepción sensorial, la reconstrucción histórica del territorio desde las narrativas de los abuelos y otros habitantes de la comunidad, y el acercamiento a representaciones artísticas elaboradas previamente.

Estas intervenciones, narra el autor, posibilitaron el cuestionamiento de las primeras imágenes que los estudiantes tenían del ambiente, dando lugar a respuestas más integrales y matizadas que incluían mayores interconexiones asociadas a la complejidad ambiental. (Moreno, 2024.p.90) Sin embargo, argumenta, los resultados no son contundentes y entre otras recomendaciones, propone que "para lograr una comprensión más holística, se deben promover investigaciones que integren conceptos asociados a la complejidad ambiental" (Moreno, 2024, p.123)

Esta afirmación sugiere que sólo la experiencia directa, aún sometida a cuestionamiento a partir de espacios de socialización y oportunidades para su representación y resignificación, no es suficiente para pensar la complejidad y que el elemento conceptual en diálogo con dicha experiencia –en este caso, para lo que concierne a la enseñanza de los ecosistemas- adquiere una importancia estructurante en la construcción de miradas más complejas, y situadas de los ecosistemas. Elemento, que estuvo presente en los otros dos estudios presentados en este capítulo y que arrojaron resultados importantes en términos de la complejización de la mirada de los estudiantes.

En conjunto, los trabajos revisados ponen de manifiesto las tensiones que surgen en la enseñanza de las ciencias naturales: mientras los referentes teóricos y pedagógicos reivindican la necesidad de comprender la naturaleza como un sistema complejo y relacional, las dinámicas escolares tienden a favorecer formas de conocimiento reduccionistas, fragmentadas

y en muchos casos desconectadas de los contextos de los estudiantes, lo que dificulta la construcción de dichas comprensiones.

1.2 DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA

La tensión evidenciada en el contexto de origen del presente trabajo de grado se alimenta por diferentes factores. Si bien es clara una intencionalidad integradora, en muchos casos, la organización institucional no favorece este propósito. Los currículos suelen declarar objetivos de aprendizaje globales, pero la estructura escolar para su implementación impone una fragmentación temática, temporal y espacial. El conocimiento se divide en asignaturas que se imparten en periodos de tiempo específicos dejando muy pocos o insuficientes espacios de diálogo entre sí y las clases usualmente suceden en los espacios cerrados del aula que aíslan los objetos de estudio de su entorno natural. En este escenario, el estudio de los ecosistemas suele diluirse en la enseñanza de contenidos y unidades aisladas que no consideran sus relaciones e interdependencias.

Esta organización escolar, caracterizada por la hiperespecialización del conocimiento y la fragmentación disciplinar, favorece una comprensión cada vez más desconectada de las demandas reales del entorno e impacta directamente en las imágenes que los estudiantes construyen sobre el mundo natural. En el intento por consolidar conceptos y categorías disciplinares —como factores bióticos y abióticos, cadenas alimentarias o ciclos biogeoquímicos— se privilegia el estudio aislado de los componentes sobre la comprensión de las redes de relaciones que los articulan. Como consecuencia, se dificulta la construcción de una mirada sistémica de los ecosistemas, dando lugar a lo que Morin (1990) denomina una *inteligencia ciega*, incapaz de reconocer las totalidades y las relaciones entre el observador y el fenómeno observado (p. 16). Esta forma de conocer responde, a su vez, a un proceso de *hiperespecialización*, entendido por el autor como una especialización que se encierra en sí

misma e impide integrar los conocimientos en una problemática o concepción global del objeto de estudio (Morin, 1999, p. 43).

De esta manera, como se evidencia en los trabajos referenciados en el apartado anterior, los estudiantes encuentran dificultades para explicar fenómenos territoriales complejos y para establecer vínculos entre lo local y lo global, limitando su capacidad para comprender y responder a los desafíos contemporáneos.

En el ejercicio de la hiperespecialización se manifiesta otro factor agravante, el de la descontextualización geográfica. Colombia cuenta con una inmensa diversidad de ecosistemas, producto y a la vez generadores de una complejidad particular que no es transferible a otras latitudes. Sin embargo, especialmente en las instituciones bilingües con currículos internacionales, los libros de texto y materiales de apoyo presentan casos de ambientes naturales ajenos a la realidad colombiana y son escasos los materiales de divulgación sobre los ecosistemas propios dirigido al público infantil y juvenil que puedan ser adaptados a las diversas demandas curriculares. Esto, ocasiona que el foco estudio disciplinar esté dirigido a otros contextos, invisibilizando los propios, profundizando así la desconexión de los estudiantes con las realidades en las que están inmersos e impidiendo que reconozcan su entorno como un objeto de conocimiento legítimo.

Para superar este obstáculo es necesario que el docente cuente no sólo con la formación disciplinar, sino con el conocimiento suficiente del área de estudio específica y del contexto sociocultural de sus estudiantes, que le permitan diseñar estrategias pedagógicas que los guíen en la tarea de descubrir la complejidad de su ambiente.

La revisión de los trabajos en el contexto de origen permite identificar entonces, tres elementos de tipo teórico y pedagógico relacionados con el enfoque de problemas de conocimiento propuesto por (Valencia, et al. 2003) que pueden aportar al rompimiento de las barreras que imponen las mencionadas visiones reduccionistas y fragmentadas del conocimiento.

En primer lugar, se encuentra el **cuestionamiento de la experiencia básica**, en cuanto permite el contacto con los territorios propios para hacer de ellos un objeto de conocimiento. Dichos territorios, deben ser entendidos como un escenario de conflictos y tensiones donde se manifiestan diferentes cosmovisiones, incluidas las de los estudiantes, -ya sean generadas desde la academia, el saber cotidiano o ancestral-, se ponen en diálogo con la experiencia sensorial, con las preguntas y el pensamiento para construir significados comunes.

Dichos significados no son estáticos, sino que se reconfiguran permanentemente mediante otras experiencias que posibilitan la formación disciplinar contextualizada. En este punto, el segundo elemento que se identifica para superar la fragmentación del conocimiento, sin sacrificar las demandas de profundizar en ciertos elementos del contexto que permiten una mayor comprensión de las interacciones que lo definen, está dado por exponer a los estudiantes a estrategias de **artificialización del mundo natural**.

En estas experiencias, objetos o fenómenos del contexto son retomados para profundizar en el estudio de algunas de sus propiedades sin perder de vista las relaciones que mantienen con el sistema del que hacen parte. De esta forma, la profundización disciplinar deja de responder a una lógica de fragmentación del conocimiento y comienza a orientarse por las necesidades que plantea el propio contexto, favoreciendo la construcción de comprensiones progresivamente más complejas sobre los fenómenos estudiados.

El cuestionamiento de la experiencia básica, mediado por la artificialización, es puesto en diálogo con el contexto inicial de la experiencia para identificar el entramado de relaciones y propiedades que emergen en el sistema estudiado, mediante un proceso dialógico con diferentes fuentes de conocimiento – textos, representaciones, teorías, imágenes previas configuradas en los estudiantes-, en ambientes comunicativos que posibilitan el intercambio respetuoso de ideas, la emergencia de nuevos lenguajes y explicaciones para dar continuidad al proceso de resignificación y generar conocimiento colectivo y contextualizado en la realidad de los estudiantes. De este modo, el aula se convierte en un espacio de transformación donde

los estudiantes se reconocen como sujetos sociales de conocimiento y se identifican como parte del objeto de estudio, en cuanto este hace parte de la realidad que habitan.

Reconociendo entonces las limitaciones mencionadas para el estudio de los ecosistemas en la escuela y las oportunidades que ofrece la epistemología de la complejidad y el enfoque de los problemas de conocimiento, surge el interés de explorar procesos pedagógicos que permitan superar las visiones fragmentadas y reduccionistas de las ciencias y aproximarla al estudio de ambientes naturales que hagan parte del contexto de los estudiantes. En particular, se identifica la necesidad de explorar cómo el estudio de un ambiente natural, desde una perspectiva de los sistemas complejos, puede funcionar como eje articulador para la integración curricular. Por lo tanto, se configura el siguiente problema:

¿De qué manera el estudio de las dinámicas hídricas en el humedal Guaymaral, abordado desde los problemas de conocimiento, posibilita a los estudiantes pensar los ecosistemas como sistemas complejos?

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo General

Reconocer las condiciones epistemológicas, teóricas y pedagógicas que posibilitan abordar el estudio de las dinámicas hídricas del Humedal Guaymaral como sistema complejo en el aula de ciencias naturales, desde el enfoque de problemas de conocimiento con estudiantes de sexto grado del Gimnasio Colombo Británico.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Documentar las condiciones teóricas, pedagógicas y metodológicas que posibilitan el estudio del Humedal Guaymaral como sistema complejo con estudiantes de grado sexto del Gimnasio Colombo Británico.

- Desarrollar una intervención en el aula de ciencias naturales fundamentada en el enfoque de problemas de conocimiento que posibilite el estudio del Humedal Guaymaral con estudiantes de grado sexto del Gimnasio Colombo Británico, como sistema complejo.
- Recuperar la experiencia de la intervención realizada con estudiantes de grado sexto del Gimnasio Colombo Británico acerca de las dinámicas hídricas en el humedal Torca Guaymaral.

1.4 JUSTIFICACIÓN

El presente trabajo surge de una reflexión sobre el sentido de la enseñanza de las ciencias naturales como parte de la formación de sujetos capaces de comprender el mundo que habitan y actuar conscientemente dentro de él. Al respecto, en el epílogo del libro “Reinventar la Educación”, Edgar Morin y Carlos Delgado (2017) reivindican la labor educativa como el espacio de encuentro personal y con el mundo, en el que, desde la curiosidad y el deseo de aprender, confluyen diversidad de intereses, propósitos y necesidades y se “construyen, se entrelazan y se mezclan los destinos individuales y colectivos. Allí, “un propósito invisible y mayor se abre paso y los aúna: aprender a vivir.” En el contexto escolar, “aprender a vivir” puede entenderse como un proceso continuo de construcción de autonomía, responsabilidad, y participación consciente en el mundo, en la medida que se construyen comprensiones de este desde diferentes perspectivas.

Dentro de estas, la educación en ciencias posibilita, más allá de la apropiación de conceptos disciplinares, un espacio en el que los individuos construyen significados sobre sí mismos, los otros y de las relaciones que posibilitan la vida.

Como plantean Maturana y Varela (1998, p. 31 y 32), sobre el ¿por qué o para qué explicar el vivir y a los seres vivos?, el conocimiento acompañado de la reflexión permite reconocer que conocer, hacer y vivir constituyen dimensiones inseparables de la experiencia humana, posibilita la comprensión de las consecuencias de las propias acciones y amplía las

posibilidades de actuar responsablemente frente a ellas. Esta comprensión supone una ruptura con aquellas visiones epistemológicas que conciben la realidad como un objeto externo, independiente del sujeto que la estudia e implica reconocer que el ser humano es parte constitutiva del mismo sistema natural que busca comprender y que el acto de conocer transforma simultáneamente al sujeto y al mundo conocido.

La enseñanza de las ciencias desde esta postura plantea diferentes desafíos. Por un lado, si el estudiante se ubica como parte de los fenómenos que estudia, el aprendizaje no puede limitarse a la apropiación de conceptos científicos declarados, ni a la descripción y categorización de objetos externos, sino que es necesario crear las condiciones para que puedan construir explicaciones sobre las relaciones mediante las cuales los sistemas naturales se organizan y para que reconozcan en ellas la constitución de su propia existencia. En este sentido, el estudio de los ecosistemas reviste un elemento formativo que trasciende la comprensión de elementos, representaciones y generalizaciones sobre los factores bióticos, abióticos, cadenas tróficas y ciclos biogeoquímicos y se vincula con formas más complejas de habitar y comprender el territorio.

La relevancia de este trabajo se encuentra entonces en la construcción de condiciones pedagógicas que favorezcan dichas comprensiones. En un contexto donde tradicionalmente predominan las visiones fragmentadas, mecanicistas y reduccionistas del conocimiento científico, el estudio de los ecosistemas puede convertirse en una oportunidad para construir las nuevas formas de pensamiento que permita superar dichas visiones y reconocer la interconexión sistémica del mundo, pues en ellos convergen condiciones físicas, químicas, biológicas y humanas que se determinan mutuamente como parte de procesos históricos.

Para favorecer estas nuevas formas de pensar, es necesario que los estudiantes sean expuestos a experiencias que les permitan evidenciar las tramas de relaciones que configuran la complejidad de los sistemas naturales, establecer conexiones entre diferentes escalas

espaciales y temporales de organización y reconocer la emergencia de propiedades que no pueden comprenderse a partir del estudio aislado de los elementos que constituyen un sistema.

No obstante, las interacciones y la emergencia de propiedades adquieren su significado en contextos específicos, y se manifiestan cuando la experiencia es mediada por el lenguaje, en diálogo con diferentes perspectivas y fuentes de conocimiento. Por estas razones, diseñar experiencias en torno al territorio que habitan los estudiantes se vuelve relevante para dinamizar las comprensiones sobre sus propias conexiones con el sistema estudiado, pero también posibilita su resignificación, desde imágenes conceptuales fragmentadas y modelos representacionales estáticos hacia el reconocimiento de tramas de interrelaciones e interdependencias.

En este sentido, la perspectiva asumida en este trabajo resulta pertinente, dado que propone trascender una visión de los ecosistemas como objetos pasivos de observación para convertirlos en interlocutores en la construcción de significados, dinamizando procesos de pensamiento que suscitan preguntas, permiten cuestionar la experiencia básica y las explicaciones previas, para transformar las formas de comprender el mundo y a sí mismo.

Esta resignificación cobra aún mayor relevancia cuando el ecosistema que se estudia hace parte de la realidad cotidiana de los estudiantes. El Humedal Guaymaral es un ecosistema estratégico para la ciudad de Bogotá, un territorio donde convergen dinámicas ecológicas, sociales y económicas que afectan directamente la vida de quienes habitan su entorno y por tanto, ofrece una oportunidad para construir conocimiento contextualizado siempre que se den las condiciones para vincularlo al pensamiento de los estudiantes en ambientes comunicativos que pongan en diálogo su experiencia cotidiana con el humedal, con diferentes fuentes de conocimiento que permitan resignificarlo colectivamente.

Así mismo, este trabajo se justifica por su interés en profundizar en las posibilidades que, ante las inquietudes y necesidades hasta ahora planteadas, presenta el enfoque de los problemas de conocimiento propuesto por Valencia, et. al. (2003), desde el cual se reconoce

que el conocimiento no se transmite, sino que se construye a través del cuestionamiento de la experiencia y la reconfiguración continua de los significados construidos.

Desde esta perspectiva, la experiencia directa, la artificialización, la documentación teórica y los ambientes comunicativos constituyen condiciones para la emergencia de nuevas formas de comprender los fenómenos naturales y las relaciones que los configuran.

Finalmente, este trabajo busca aportar elementos teóricos, pedagógicos y metodológicos para la enseñanza de los ecosistemas desde una perspectiva de la complejidad. En particular, explorar cómo el estudio de las dinámicas hídricas del Humedal Guaymaral puede favorecer la construcción de comprensiones los ecosistemas en términos de las interacciones e interdependencias y contribuir a que los estudiantes se reconozcan simultáneamente como sujetos sociales que conocen y como parte de aquello que buscan conocer.

De esta manera, el trabajo pretende aportar a la construcción de experiencias educativas orientadas no sólo a la comprensión de fenómenos naturales sino también a resignificar las relaciones que los seres humanos establecen con ella y, a través de ello, ampliar las posibilidades del “aprender a vivir”.

2. PROCEDER METODOLÓGICO

El presente trabajo de profundización se desarrolla en el marco de la Maestría en Docencia de las Ciencias Naturales de la Universidad Pedagógica Nacional, particularmente bajo los lineamientos del grupo Ecoperspectivas. En coherencia con los propósitos formativos del programa, este trabajo de grado asume la práctica docente como un escenario de reflexión, investigación y construcción de conocimiento, en el que convergen la profundización disciplinar, la reflexión epistemológica y el análisis pedagógico para comprender y transformar las prácticas de enseñanza de las ciencias naturales.

Desde esta perspectiva, la maestría busca fortalecer el desarrollo profesional de los docentes mediante la construcción de propuestas contextualizadas que respondan a problemáticas educativas, sociales y ambientales, promoviendo una comprensión integral de la enseñanza de las ciencias y una aproximación reflexiva a la práctica educativa. En este contexto, el presente trabajo se orienta a construir una propuesta que articula la comprensión disciplinar de la dinámica hídrica como sistema complejo con una reflexión pedagógica sobre las condiciones que posibilitan su configuración como problema de conocimiento en el contexto escolar. La Figura 1 sintetiza los aspectos metodológicos que orientaron el desarrollo de la profundización. .

Figura 1. Síntesis del proceder metodológico



Como se ilustra en la Figura 1, el proceder metodológico no responde a una secuencia de etapas independientes, sino a un proceso de construcción progresiva en el que cada

componente se encuentra estrechamente relacionado con los demás. El punto de partida estuvo constituido por el contexto problemático, en el cual se identificaron tensiones asociadas a las formas tradicionales de enseñar los ecosistemas y a las limitaciones que estas presentan para favorecer comprensiones sistémicas sobre fenómenos complejos. Dichas tensiones, puestas en diálogo con la experiencia docente y con los referentes teóricos revisados, permitieron configurar la dinámica hídrica del humedal Torca–Guaymaral como un problema de conocimiento dentro la perspectiva de la complejidad, susceptible de ser abordado en el contexto escolar.

La configuración del problema representó la primera decisión metodológica del trabajo, pues permitió delimitar el humedal y su dinámica hídrica como objeto de estudio, en términos de las relaciones que lo organizan y definen. Esta decisión orientó el desarrollo de los componentes posteriores y estableció el horizonte sobre el cual se construyó la propuesta.

Una vez configurado el problema de estudio, fue necesario construir los fundamentos que permitieran comprender tanto el fenómeno objeto de análisis como las condiciones para abordarlo pedagógicamente. Para ello, se desarrollaron dos procesos complementarios de profundización que, aunque presentados por separado para efectos expositivos, dialogaron permanentemente durante todo el desarrollo y orientaron las decisiones metodológicas adoptadas.

La profundización disciplinar tuvo como propósito construir una comprensión de la dinámica hídrica desde la perspectiva de los sistemas complejos. Este proceso permitió identificar los principios conceptuales que organizan el funcionamiento del sistema y fundamentar la delimitación del objeto de conocimiento, estableciendo los criterios disciplinares que posteriormente orientaron el diseño de la intervención. Más que constituir una revisión conceptual, esta profundización permitió comprender qué relaciones resultaban necesarias para aproximarse al fenómeno sin reducirlo a la suma de sus componentes.

De forma paralela se llevó a cabo una **profundización pedagógica**, la cual permitió construir los fundamentos que orientaron la enseñanza del objeto de conocimiento en el contexto escolar. El diálogo entre el enfoque de Problemas de Conocimiento (Valencia, et al. 2003) y la propuesta metodológica de Rolando García (2006) proporcionó criterios para delimitar un recorte de la realidad, que permitió abordar el estudio del Humedal Torca Guaymaral desde la perspectiva de los sistemas complejos. Así, estas perspectivas aportaron a la organización de los sentidos y estrategias que llevarían a definir las fases de intervención pedagógica.

En consecuencia, la pregunta metodológica dejó de centrarse únicamente en qué contenidos enseñar para orientarse hacia las condiciones que hacen posible la construcción de conocimiento sobre sistemas complejos en el aula de ciencias naturales.

Se diseñó entonces la estrategia de **intervención** en el aula, la cual constituye el escenario en el que convergen los desarrollos disciplinares y pedagógicos construidos durante la profundización. Su elaboración respondió a la necesidad de generar condiciones que permitieran a los estudiantes aproximarse a la dinámica hídrica mediante el cuestionamiento de la experiencia directa, los procesos de artificialización y construcción de representaciones, los ambientes comunicativos como escenarios para la formulación de preguntas, el intercambio de ideas y la reconfiguración y complejización de las explicaciones.

Desde esta perspectiva, las actividades desarrolladas no fueron concebidas como estrategias didácticas aisladas, sino como experiencias articuladas que permitieran a los estudiantes configurar un problema de conocimiento sobre el fenómeno estudiado.

Una vez se llevaron a cabo las fases planteadas, se realizó un ejercicio de **recuperación de la experiencia**, el cual se constituyó en espacio de reconstrucción crítica del proceso desarrollado durante la intervención. Más que valorar el logro de objetivos curriculares

previamente establecidos, el enfoque de esta etapa del trabajo fue el de identificar las formas de pensar en colectivo que fueron emergiendo en el aula, las reconfiguraciones de las ideas sobre los fenómenos observados, particularmente sobre la complejidad del humedal, las relaciones construidas por los estudiantes, las decisiones pedagógicas tomadas durante el proceso y las condiciones que favorecieron o limitaron la construcción de conocimiento. Este ejercicio permitió comprender la experiencia no únicamente como un acontecimiento vivido, sino como una fuente de conocimiento desde la cual fue posible reconstruir explicaciones sobre la enseñanza de los sistemas complejos.

Teniendo como referentes los productos e interacciones de las acciones aquí descritas, la producción discursiva representa el momento de integración de todo el proceso. En ella confluyen los desarrollos alcanzados durante la profundización disciplinar, la profundización pedagógica y la recuperación de la experiencia para construir nuevas comprensiones sobre la enseñanza de los sistemas complejos desde la perspectiva de los problemas de conocimiento. En este sentido, este apartado no constituye un capítulo de conclusiones, sino un espacio de reflexión en el que la experiencia, la teoría y la práctica docente dialogan para producir nuevas explicaciones sobre las condiciones que hacen posible construir conocimiento escolar alrededor de fenómenos complejos.

3. PROFUNDIZACION TEÓRICA

La profundización teórica que se presenta a continuación recoge elementos de orden conceptual tanto en lo disciplinar como en lo pedagógico que aportan en la comprensión, desde una mirada crítica e interdisciplinaria, de los principios que orientan el estudio de los sistemas complejos y su relación con la dinámica hídrica, los ecosistemas y algunas problemáticas ambientales contemporáneas. Este apartado busca articular referentes disciplinares y epistemológicos que permitan superar visiones fragmentadas del conocimiento, proponiendo en cambio una comprensión integradora de la realidad, en la que interactúan elementos físicos, biológicos, sociales y culturales. Desde esta perspectiva, se establece una base teórica que no solo fortalece la interpretación del fenómeno estudiado, sino que también aporta a la reflexión pedagógica sobre las formas de enseñar y aprender ciencias en la educación básica teniendo como principales sentidos orientadores a los problemas de conocimiento y la complejidad.

3.1. PROFUNDIZACIÓN DISCIPLINAR

3.1.1 Los sistemas en la Perspectiva de la Complejidad

En la actualidad y ya desde hace muchos años, varios autores vienen referenciando la crisis ambiental que vive el planeta y que pone en riesgo la permanencia humana en el mismo. En este sentido, uno de los aspectos que ha cobrado mayor relevancia para comprender y gestionar esta crisis es el reconocimiento de la interdependencia entre problemas ambientales, sociales, económicos y políticos, tanto a escala local como global. Al respecto, Capra, (1998, p.25) dice:

> Se trata de problemas sistémicos, lo que significa que están interconectados y son interdependientes.” y, en gran parte, esta es una crisis de percepción, de una “visión desfasada del mundo” que no permite, principalmente desde la institucionalidad social, percibir la interconexión de los diferentes problemas (Capra, 1998. p.26).

De forma similar, Morin reconoce este aspecto como la “inteligencia ciega”, que desde el paradigma de la simplificación y la metodología de la hiper especialización, producto de la tradición cartesiana y mecanicista, “destruye los conjuntos y las totalidades, aísla todos sus objetos de sus ambientes” (Morin, 1994. p.15 y 16).

Esta tradición, como respuesta a la disyuntiva entre la necesidad de conocer y la imposibilidad de abarcarlo todo, ha generado visiones parcializadas del mundo que, si bien posibilitaron la profundización disciplinar y desarrollos científicos y tecnológicos impresionantes, también han ubicado al ser humano como observador: un ente externo al sistema natural, que lo estudia e interviene desde afuera, esperando que la naturaleza se autorregule o se transforme a favor de sus necesidades y deseos, cuando él mismo es naturaleza y, al intervenir el sistema, se transforma a sí mismo en su esencia biológica y social.

Ignorar este hecho ha implicado una serie de perturbaciones que ha conducido al planeta a lo que Laszlo llama una “fase crítica” de cambios irreversibles en términos evolutivos; es decir, que el sistema ha llegado a un punto donde “no carece de orden, pero exhibe un orden sutil que es extremadamente sensible a las fluctuaciones” (Laszlo, 2024. p.43) y a partir del cual, sólo se presentan dos caminos posibles: su colapso o su avance hacia un sistema nuevo más estable.

Esto, explica Laszlo (2024), dependerá de la evolución de la civilización dominante y sólo una cuyos valores, opiniones y éticas logre responder adecuada y oportunamente a los cambios, podrá avanzar hacia un nuevo estado de sostenibilidad. En cambio, cuando las instituciones mantienen formas rígidas de organización, decisión y gestión, y cuando amplios sectores sociales persisten en valores y prácticas que reproducen la degradación ambiental, disminuye la capacidad colectiva para responder a las fluctuaciones del sistema. En un entorno natural ya deteriorado, esta resistencia al cambio intensifica las tensiones entre las dinámicas sociales, económicas y ecológicas, aumentando la probabilidad de que la fase crítica derive no en una reorganización sostenible, sino en un colapso sistémico.

En este sentido, son los valores y las formas de proceder que configuran la organización social, económica y política de los territorios a escala global, los que en últimas determinarán que tanta gobernabilidad se tenga sobre los desarrollos tecnológicos implícitos en el proceso civilizatorio. Por tanto, es en el que el sistema educativo cobra mayor relevancia si se le considera como un agente estructurador de ese proyecto de civilización y las preguntas que cuestionen su proceder debieran entonces estar encaminadas a definir los valores, métodos y visiones de civilización que se discuten en la escuela y que trazarán el camino hacia el colapso o el avance.

En esta línea, es necesario pensar sobre el tipo de lecturas del mundo que se privilegian en el entorno escolar, porque si algo ha puesto de manifiesto esta crisis es la necesidad de formar generaciones que cuestionen, signifiquen y resignifiquen sus vínculos con la naturaleza y la vida; y en este tarea, es necesario pensar sobre el propósito último del saber disciplinar, sobre la pertinencia o no de seguir apostando a una estructura fragmentada del conocimiento a favor de la profundización; sobre la forma de integrar el sujeto como objeto de estudio de la naturaleza interconectada. Pero también, sobre los retos metodológicos que supone estudiar la interconexión global sin caer en generalizaciones vacías de contenido práctico y materializable, que en últimas no puedan responder adecuada y oportunamente a los procesos de transformación de la naturaleza.

Estas discusiones, dentro y fuera del ámbito educativo han tomado lugar en las reflexiones desde hace varias décadas por diferentes autores, quienes, en contraposición a la tradición simplificadora y disyuntiva, han estado construyendo una perspectiva desde la complejidad.

Especialmente en las dos últimas décadas, el pensamiento complejo y el pensamiento sistémico han experimentado un importante crecimiento como campos de investigación, particularmente en educación y sostenibilidad. Revisiones sistemáticas y estudios bibliométricos recientes evidencian no solo el incremento sostenido de las publicaciones en

estas áreas, sino también la consolidación de una agenda investigativa orientada a comprender fenómenos caracterizados por su dinamismo, interdependencia e incertidumbre (Baena-Rojas et al., 2022; Ramírez-Montoya et al., 2022; Bozkurt & Bozkurt, 2024) que han permitido caracterizar el desarrollo contemporáneo del campo y sus aplicaciones, manteniendo las mismas bases epistemológicas de los sistemas complejos. Por esta razón, la presente profundización disciplinar recurre directamente a las obras de Edgar Morin, Fritjof Capra, Humberto Maturana, Francisco Varela, Rolando García y Ervin Laszlo, por considerar que en ellas se encuentran formulados los principios conceptuales que sustentan la comprensión de los sistemas complejos.

Desde esta mirada entonces, la complejidad es entendida como:

> …imposibilidad de simplificar; ella surge allí donde la unidad compleja propone sus emergencias, allí donde se pierden las distinciones y claridades en las identidades y causalidades, allí donde los desórdenes y las incertidumbres perturban los fenómenos, allí donde el sujeto-observador sorprende su propio rostro en el objeto de observación, allí donde las antinomias hacen divagar el discurso del razonamiento. (Morin, 1977 en García, 2006, p. 19)

Parte de estas reflexiones han derivado en propuestas para el abordaje sistémico de los problemas, llamando a una visión integradora e interdisciplinaria que plantea a su vez un cambio de paradigma, que, sin embargo, ha generado diferentes posturas tanto sobre la comprensión misma de la complejidad, como de las formas en que la ciencia se aproxima a su estudio.

Más allá de realizar un análisis exhaustivo de estas corrientes, este capítulo pretende, como lo propone Laszlo (2009), dejar a un lado la unidad aislada como objeto de investigación y modificar la pregunta de "¿Cuáles son las características comunes que se han observado en las cosas denominadas sistemas?" a "¿cuáles son las características que toda cosa observada debe exhibir si ha de considerársela un sistema?" (Echevarría, 1979, p. 95). Es decir, identificar

las invariancias o principios organizacionales que permiten hablar -en este caso- de los humedales como sistemas complejos.

A partir de este propósito, este capítulo desarrolla algunos aspectos comunes identificados en corrientes que abordan la complejidad, agrupados en una serie de principios que orientan la comprensión de los sistemas complejos, tomando como referencia las propuestas de Edgar Morin (1994), Erwin Laszlo (2009), Rolando García (2006), Fritjof Capra (1996), Humberto Maturana y Francisco Varela (1972,1984).

Dichos principios se agrupan en cuatro aspectos centrales: la totalidad, o naturaleza holística e irreductible de los sistemas, desde la cual se reconoce que estos poseen propiedades emergentes que no pueden explicarse únicamente por la suma de sus componentes y que participan en la definición de su identidad; la interdefinibilidad, que permite comprender cómo las funciones de los elementos de un sistema se configuran recíprocamente a través de sus relaciones de interdependencia; la dinámica evolutiva y no lineal, que reconoce la transformación de los sistemas complejos como inconstante, imprevisible que se da a través de reorganizaciones sucesivas e irreversibles, como respuesta a inestabilidades críticas o bifurcaciones - no linealidades-, dando origen a nuevas estructuras; y la organización estructural jerárquica basada en redes de relaciones, desde la cual los sistemas se entienden como redes dentro de redes, organizadas en niveles interdependientes con ciertos grados de autonomía. En las secciones siguientes se profundizará en cada uno de estos principios como marco para comprender los humedales en tanto sistemas complejos.

La Naturaleza Holística e Irreductible de los Sistemas complejos: Una ruptura con el paradigma simplificador

En la comprensión de los sistemas complejos, el concepto de la naturaleza holística e irreductible se ubica como base epistemológica y metodológica que soporta los demás elementos característicos de la complejidad.

La idea de que un objeto y/o sujeto no puede comprenderse completamente desde su existencia individual, sino en interacción con los otros, con aquello que contiene y que lo contiene ha estado presente desde la filosofía griega, fue opacada por la racionalidad cartesiana y ha resurgido en diferentes momentos con otras formas y matices en varios autores, siempre en contraposición a la insuficiencia explicativa de una visión fragmentada del mundo, y siempre en tensión con la imposibilidad de la naturaleza humana para explicar la totalidad universal (Capra, 1996, pp.38-48,60; García, 2006, pp. 181-182).

Al querer definir la identidad de los sistemas, llámense naturales, en sus diferentes dimensiones -biológicas, física o químicas-, ya sean estos como componentes de sistemas territoriales -ciudades, países, continentes, etc.-, o como sistemas sociales o tecnológicos, es innegable que estas representaciones de la realidad en forma de sistemas no tienen lugar en el vacío, ya que su constitución y operación se permea por otras estructuras que los “rodean” y de la misma forma, impactan aquellos otros sistemas con los que interactúan. Para Edgar Morín, esto se resumiría en que la totalidad constituye la unidad compleja, en la que el todo es simultáneamente más y menos que la suma de sus partes (Morin, 1994, p .77): "La visión compleja dice: no solamente la parte está en el todo; ¡el todo está en el interior de la parte que está en el interior del todo!" (Morin, 1994, p. 240).

Ahora bien, si al lado de esta concepción se considera la incapacidad humana de abarcar el todo para su estudio y comprensión, obligándonos a abordar el estudio parte por parte, ¿cómo podríamos aproximarnos a la compresión de los componentes para dar cuenta del funcionamiento de la totalidad?

Se puede considerar el pensamiento cartesiano como una búsqueda para responder esta pregunta. Sin embargo, como ya se ha expuesto en diferentes apartados de este trabajo, si bien la profundización disciplinar ha permitido el desarrollo de importantes avances en todas las áreas, dichos progresos se quedan cortos al momento de comprender los objetos estudiados en interacción con el contexto y, por lo tanto, permite construir solo versiones

parcializadas de la realidad; lo cual, en muchos casos, deriva en respuestas insuficientes o contraproducentes a problemas complejos.

Un ejemplo de esto se puede ver en el impulso al desarrollo de megaproyectos energéticos en los países. Entre los años 2009 y 2014, como respuesta a la creciente demanda energética nacional para la extracción de materia prima de exportación, se estableció en Colombia el proyecto hidroeléctrico Sogamoso, en el departamento de Santander, en las inmediaciones del Parque Nacional Natural Serranía de los Yariguíes. Este proyecto, financiado por el Estado colombiano y fondos privados, pretendía favorecer en primera instancia la utilidad pública y los intereses sociales. Sin embargo, las miradas disciplinares que dan sustento a la racionalidad extractivista que generó esta intervención, se quedó corta para anticipar los conflictos sociales y ambientales que generaría.

La ausencia de diferentes miradas de las dinámicas ecológicas, sociales y culturales que tenían lugar en el territorio y de estas en interacción con el agua, terminó acrecentando las desigualdades en la región, al transformar los medios de vida tradicionales, sacrificando zonas productivas, alterando las condiciones ecológicas del río, eliminando el derecho de las comunidades al acceso y control del agua, y transformando prácticas culturales, cosmovisiones, e identidades; en últimas, acrecentando las tensiones socio-ambientales en el territorio. (Roa Avendaño, 2019).

Para García (2006. p. 36), el marco epistémico dentro del cual se desarrolla un estudio o intervención determina aquellos valores, hechos o datos de la experiencia a los que se dará relevancia. En el caso de Hidrosogamoso, se puede leer que el marco epistémico desde el cual se abordó el problema valida los valores del desarrollo económico desde una perspectiva extractivista, por encima de otras consideraciones, desde lo cual se privilegian las dinámicas económica y productiva que en la escala nacional representa el flujo hídrico como recurso. Sin embargo, este marco desconoce que estos intereses dibujados en la escala nacional (representados por las decisiones económicas, técnicas y administrativas de alterar el cauce

del río), entran en interacción con el sistema local: el territorio donde se materializó la intervención. Es decir que cualquier alteración en los componentes del territorio – ya sean de origen endógeno o exógeno- genera transformaciones al interior de este y se expanden a sus contornos.

Desde una perspectiva de la totalidad, entonces, sería necesario construir una visión sobre sus interacciones desde un marco epistémico diferente, que considere tanto las necesidades a nivel nacional con potencial de ser suplidas desde dicho territorio, como las dinámicas ecológicas, sociales y culturales que se tejen alrededor del agua en el territorio a intervenir y las interacciones a observar entre las dos escalas, de forma que se pudiera anticipar la medida en que las intervenciones proyectadas podrían superar o no, el umbral de resiliencia del sistema. Pues si la perturbación supera la capacidad del territorio de incorporar o amortiguar las perturbaciones, pierde estabilidad, se reorganiza y adopta una nueva estructura (García, 2006, p.62), en este caso, con implicaciones negativas a nivel ecológico, social y cultural, difíciles de revertir o mitigar.

Ahora bien, si el ejemplo del proyecto hidroeléctrico Sogamoso, permite reconocer que cada elemento del sistema está en interacción con otros, la propuesta de abordarlo desde otro marco epistémico plantea cuestionamientos sobre las limitaciones o posibilidades metodológicas que surgen con la intención de estudiar e intervenir la realidad desde una visión no parcializada. La primera, es ¿cómo y quién define el marco epistémico de la investigación? Una vez este aspecto esté claro, ¿cuál es el límite abarcable? ¿cómo diferenciar el sistema de sus contornos si ambos están en permanente interacción?; una vez definido el límite del sistema, ¿cómo se representa la visión integradora sin caer en el abstracto complejo ni en el reduccionismo disciplinar? ¿Cómo se traduce el marco epistémico en acciones concretas de investigación y/o intervención, dada la intención de brindar soluciones tangibles a problemas reales? ¿Qué papel juega el conocimiento especializado en la comprensión del sistema?

En este sentido, Rolando García (2006) propone un enfoque metodológico que, considerando la imposibilidad de abarcar la totalidad, cambia la forma en la que ésta se "descompone". Aun otorgando un papel importante a la investigación especializada, lo que sugiere, no es dividir el sistema en sus componentes para estudiar cada uno aisladamente, sino construir una primera mirada integradora, identificar los diferentes niveles de complejidad en términos de subsistemas, y suprasistemas - en términos de Laszlo – (En Echavarría, 1979, p.96) o de procesos de primer, segundo y tercer nivel (García, 2006.p 151,152) y desde allí ubicar la mirada disciplinar. Se trata de crear una dialéctica entre la integración y la diferenciación.

Para entender esta propuesta, es necesario reconocer en ella cómo se entiende un sistema complejo, cómo opera en su complejidad y cómo esto entra en relación con la idea de totalidad. En primera instancia, García (2006, p.19, 47), define un sistema complejo como "la conceptualización que se hace de un "trozo de la realidad", asumiendo este como una "totalidad organizada en la cual los elementos no son separables y, por tanto, no pueden ser estudiados aisladamente".

Tomemos como analogía la dinámica de un hogar un domingo al mediodía. Supongamos que queremos entender el tipo de relaciones familiares que se tejen alrededor de la comida. Si se quisiera estudiar dicho hogar desde sus partes, podría considerarse estudiar el comportamiento, preferencias, afectos, rutinas de cada uno de sus miembros, e incluso de aquellos aspectos materiales que determinan el espacio del almuerzo: el tamaño de la mesa, la cantidad de comida, etc. Pero esto, no permitiría ver las interacciones entre sus miembros y cómo sus relaciones se dinamizan en una actividad compartida. Para (García, 2006, p. 190), las partes y el todo interactúan de forma dialéctica y el funcionamiento del sistema como totalidad, impone sus propias leyes a las partes que lo componen a partir de su organización, tanto para mantenerla como para reorganizarla y formar nuevas estructuras. Desde esta

perspectiva, se puede analizar el almuerzo familiar para comprender la dinámica relacional que determina el evento familiar.

Entonces, en lugar de separar los elementos, se decide “tomar una foto” del momento del almuerzo en el que todos están reunidos para compartir la comida, como representación de un momento específico (presente), que tiene lugar en un espacio físico (territorio) que es específico para dicha familia y para ese evento; que da cuenta no sólo de los componentes humanos y materiales del sistema, sino también de la forma en que interactúan: quién prefiere qué alimentos, quién atiende y es atendido, por qué consumen esos alimentos y no otros, qué dinámicas de poder se tejen alrededor de los afectos, cómo se usa o desperdicia el recurso, quién se comunica con quién; qué dinámicas (propiedades) surgen en ese momento que son diferentes a otros espacios de encuentro: en el almuerzo de un día laboral, por ejemplo, o en un evento que no involucre comida.

La foto sería, entonces, la construcción mental de dicho sistema en un espacio físico y temporal -lo que permite describir su configuración actual-, pero también posibilita su estudio en relación con el contexto en el que está inmersa. Se entiende el sistema como parte de un proceso y permite focalizar el estudio en cómo se ha estructurado hasta la foto que es, a través del tiempo. Por ejemplo, cómo las rutinas reflejadas llegaron a ser, de dónde vienen los afectos que en ella se evidencian, etc.

Desde este enfoque, se reconoce que los elementos del sistema -para nuestro ejemplo, la familia- son inseparables y dicha “inseparabilidad” está dada por las relaciones que se tejen entre las partes y que hacen que emerjan propiedades del sistema que no existen en sus elementos aislados. Capra, (1996, p. 48) lo explica de la siguiente manera:

> Según la visión sistémica, las propiedades esenciales de un organismo o sistema viviente son propiedades del todo que ninguna de las partes posee. Emergen de las interacciones y relaciones entre las partes. Estas propiedades son destruidas cuando el sistema es diseccionado, ya sea física o teóricamente, en elementos aislados. Si bien podemos discernir partes individuales en todo sistema, estas partes no están aisladas y

> la naturaleza del conjunto es siempre distinta de la mera suma de sus partes (Capra, 1996, p.48).

Las relaciones que se tejen dentro del sistema y que no se evidencian en unidades inferiores -subsistemas- están determinadas por sus patrones organizacionales y a la vez constituyen su identidad como unidad al generar lo que C.D Broad denominó “propiedades emergentes” (Capra, 1996, p. 48). Del mismo modo, cada subsistema tendrá sus propiedades particulares que definen la identidad de su nivel. De esta manera, las relaciones que se evidencian en la familia en el espacio del almuerzo y que pueden reconfigurarse en otros espacios compartidos, se considerarían como “propiedades emergentes”.

En el caso de Hidrosogamoso, al cambiar la configuración del territorio, al incorporar nuevos elementos, las propiedades que de allí emergen son también diferentes a las que existían antes de la intervención y también distintas a las de los nuevos componentes que lo conforman. Así, desde estas nuevas emergencias, el sistema, en su estructura y organización adquiere una identidad diferente.

Si se quisiera trasladar este concepto a dominios más disciplinares, se podrían retomar uno de los ejemplos citados en Capra, (1996 p.48), donde explica que “A cada nivel de complejidad” – lo que para García (2006) serían los procesos de primer segundo y tercer nivel y para Laszlo (2009) los subsistemas, sistemas y suprasistemas- “los fenómenos observados evidencian propiedades que no se dan en el nivel inferior. Por ejemplo, el concepto de temperatura, crucial en termodinámica, carece de sentido a nivel de átomos individuales, donde reinan las leyes de la teoría cuántica. Del mismo modo, el sabor del azúcar no está presente en los átomos de carbón, hidrógeno y oxígeno que lo constituyen.”

Echevarría, explicando el pensamiento de Laszlo, también ilustra las propiedades emergentes de la siguiente manera: “por lo mismo, la diferencia entre un genio y un simio no radica en las substancias que componen sus organismos (que, fundamentalmente son las

mismas), sino en la estructuración organizacional de esas substancias" (Echevarría, 1979, p. 95).

Esta idea de las propiedades emergentes también está presente en el concepto de autopoiesis propuesto por Maturana y Varela (1974) como evidentes en los sistemas vivos. Para estos autores, los componentes de un sistema no son estáticos, sino que se relacionan entre sí, mediante los mismos procesos que los producen y de los cuales emergen sus patrones de organización, que son, además, comunes a todos los seres vivos. Es decir, que la organización no está dada por la disposición de los componentes del sistema, sino de los procesos mediante los cuales estos se relacionan para producirse, haciéndolos autónomos y definiendo sus propios límites. A esto llaman, redes autopoiéticas. Si estas redes se rompen, la organización se detiene, por lo tanto, el sistema se detiene (Capra, 1996, p. 115,116).

En conclusión, desde una perspectiva de los sistemas complejos, la naturaleza holística e irreductible, o totalidad, está soportada en la inseparabilidad de sus componentes, pues es en sus interrelaciones donde se determina su organización; y en la tarea de conocer el sistema, fragmentarlo o reducirlo al estudio de sus componentes, llevaría a la eliminación de las propiedades emergentes que le otorgan su identidad.

En este sentido, resulta metodológicamente adecuada la propuesta de García (2006) para delimitar el sistema a estudiar, pues en estos recortes de realidad, la imposibilidad humana para abarcar la comprensión de la totalidad del universo interconectado, se amortigua mediante la definición de un marco epistémico que considere las interrelaciones en el presente entre los elementos de un sistema y entre este y sus contornos (niveles superiores); para definir la identidad del objeto a estudiar y a partir de esta, delimitar en la experiencia de estudio, los elementos (hechos, procesos, relaciones, datos) observables que cobrarán relevancia, sin desconocer las propiedades que emergen en esta organización, cómo la misma se ha configurado a través del tiempo, ni el grado en el cuál podría mantenerse o reconfigurarse ante

una perturbación dada. Es decir, entender la totalidad como una unidad organizada e interdependiente.

La Interdefinibilidad: Una Trama de Funciones de Definición Recíproca.

Habiendo reconocido que el sistema funciona como una unidad organizada cuya identidad trasciende la suma de sus partes y que intentar fragmentarlo deriva en una lectura errada de su dinámica, este capítulo pretende profundizar en la comprensión del tejido que sostiene dicha unidad, en los lazos invisibles pero determinantes a través de los cuales las funciones de cada elemento se despojan de independencia para determinarse mutuamente. Es en esta trama de relaciones prioritarias donde se entenderá por qué un sistema complejo es no descomponible; pues al intentar separar una parte, no solo esta pierde su identidad, sino que se desdibuja la lógica de la totalidad que le otorga sentido.

La comprensión de los sistemas complejos como representaciones conceptuales de entramados de relaciones que se desarrollan y evolucionan en espacios físicos y temporales, permite entender los ambientes naturales como sistemas complejos en los que confluyen elementos físicos, biológicos y humanos. Determinar en qué medida el ser humano constituye uno de sus elementos, dependerá del marco epistemológico desde el cual se aborde el sistema y así mismo de su delimitación.

Sin embargo, aunque no existan asentamientos humanos en el territorio que abarque la configuración (recorte de realidad) del sistema, los efectos de las dinámicas naturales trascienden los espacios geográficos en las que ocurren y terminan teniendo impactos en comunidades alrededor del globo. Un ejemplo de esto es cómo la pérdida de vegetación en el Amazonas altera los regímenes de lluvias a escala global, afectando la disponibilidad del recurso, entre otros, para el desarrollo de actividades agrícolas, lo que a su vez tiene un impacto en las dinámicas económicas y sociales.

Este hecho, sin importar la escala a la que se hace el estudio, genera una ruptura del dualismo sujeto-objeto, pues implica que el componente humano se despoja de su rol de observador neutro y se integra como un elemento del sistema con capacidad de determinar la identidad de otros elementos y que a su vez, es determinado por el mismo desde sus dimensiones social, económica y cultural, pues el sistema social como unidad organizada determina las formas de apropiación del territorio, pero así mismo, la configuración de los elementos naturales determina las posibilidades de su supervivencia y organización en respuesta a sus necesidades biológicas.

Esto, desde la perspectiva de Maturana y Varela (En Capra,1996, p. 116) permite ubicar al ser humano como productor y como producto de la vida y significa que el sujeto que conoce y el objeto conocido emergen del mismo proceso dinámico. Para estos autores, "los sistemas vivos son sistemas cognitivos, y la vida como proceso es un proceso de cognición" (En Capra,1996, p.114).

Aquí, la cognición se entiende desde el acoplamiento estructural del sistema con el entorno y en ciertos niveles de complejidad, consigo mismo, en respuesta a las interacciones con su medio (el campo de estas interacciones conforma su “territorio cognitivo”), pero especificado no por las perturbaciones externas, sino por su misma estructura y patrón de organización, cuyo grado de flexibilidad y riqueza le garantizan el mantenimiento de su autonomía. Es decir, el sistema se autoorganiza para continuar viviendo en el medio. A mayor flexibilidad y riqueza del acoplamiento, mayor se considera la inteligencia del sistema (Capra, 1996. p. 279) y de esta dependerá su capacidad para compensar las perturbaciones. No obstante, si estas sobrepasan el umbral de resiliencia del sistema (García, 2006. pp. 83,130) el sistema pierde la capacidad de autoorganizarse, pierde su autonomía y desaparece como unidad compleja (Laszlo, 1993; Maturana y Varela, 1995. En Valencia, et al. pp. 55, 56, 64) “A través del acoplamiento estructural mutuo, los sistemas vivos individuales son parte de cada uno de los mundos de los demás. Se comunican y coordinan su comportamiento. Hay una

ecología de mundos alumbrados por actos de cognición mutuamente coherentes" (Capra, 1996. p. 279)

En el ser humano, el territorio cognitivo se amplía gracias al cerebro y al sistema nervioso. A su vez, su acoplamiento estructural interior, vinculado con el lenguaje, el pensamiento y la conciencia, se integra en la dinámica del sistema global.

Así, al habitar o intervenir un sistema natural, no sólo está actuando sobre un objeto externo, sino que está transformando su territorio cognitivo (red de interacciones en sus dimensiones biológicas, emocionales y sociales). La mirada del investigador, que además puede materializarse en uno u otro tipo de intervención, no sólo está representando un mundo ajeno a él, sino que lo está transformando, al tiempo que transforma su propia esencia. En palabras de Capra (1996), explicando la teoría de Santiago formulada por Maturana y Varela:

> Lo que un organismo particular da a luz en el proceso de vida, no es el mundo sino un mundo determinado y siempre dependiente de la estructura del organismo. Puesto que los organismos individuales dentro de una misma especie tienen estructuras parecidas, alumbran mundos similares. Nosotros, los humanos, compartimos además un mundo abstracto de lenguaje y pensamiento a través del cual creamos juntos nuestro propio mundo (Capra, 1996, p.280).

Este mundo se manifiesta en las estructuras y formas de organización social, económica, política y cultural que determinan las formas de habitar los territorios. De esta manera, en casos como el de Hidrosogamoso, la priorización de una mirada extractivista, a partir del año 2008, generó transformaciones radicales en un sistema que se venía consolidando desde el Siglo XX. A mediados de ese siglo, los trabajadores de las grandes haciendas ubicadas en la cuenca media del río Sogamoso empezaron a habitar las riberas del río en su cuenca baja, atraídos por la cantidad de peces en las épocas de subienda. Inicialmente habitaban en ranchos durante esas temporadas, pero paulatinamente se les fueron uniendo más personas de diferentes lugares del país, conformando una población heterogénea que transformó el espacio físico y se transformó así misma para adaptarse a las difíciles condiciones selváticas y de humedad (Roa Avendaño, 2019, p. 21-22).

Antes del 2008, este sistema podía describirse por un río con un comportamiento fluvial cambiante pero predecible por el régimen de lluvias (épocas de verano e invierno) (Betancur-Alarcón, L., et al., 2026, p.4), que transportaba los sedimentos que abonaban la tierra y formaba diversos espacios naturales como ciénagas e islas fértiles con una alta biodiversidad; en convivencia con una población de colonos organizada en una estructura social de vida autónoma, fundamentada en valores familiares y comunitarios cuya dinámica de encuentro en torno a los flujos del río la llevó a consolidar saberes y tecnologías (atarrayas, canoas) adaptados a los ritmos del agua, así como una economía de subsistencia diversificada: pesca artesanal, minería de aluvión, caza y cultivos de “pancoger” (yuca, plátano, cacao). Una población con una apropiación del territorio tanto material como simbólica a partir de la cual construyó su visión del mundo y su identidad “anfibia”. (Roa Avendaño, 2019, pp. 17, 22-26)

La transformación radical comienza en el año 2008 con el proceso de construcción de una presa de 190 metros, túneles de desviación del cauce del río y vías para el transporte de material, parte del cual fue extraído en masa del Cerro de La Paz. Esto, no solo generó cambios en la geomorfología, sino que causó la contaminación del agua por lodos, cemento, aguas servidas de los campamentos y explosivos que disminuyeron considerablemente las poblaciones de peces, así como de otra fauna silvestre afectada por el ruido o los atropellamientos en carreteras. (Roa Avendaño & Duarte, 2012, pp. 74-75, en Roa, 2019 p. 25)

Debido a los cambios del caudal del río, desaparecieron las islas cultivadas. La vida cotidiana de la población también se transformó a causa del ruido, el polvo, la restricción del acceso al rio y un paisaje que ya no les era familiar. Además, la llegada de cientos de trabajadores foráneos alteró las dinámicas locales. Inicialmente, como una alternativa económica en la provisión de servicios para estos nuevos pobladores, pero tan efímera y dependiente de la finalización de la obra, que al final dejó a varios pobladores endeudados por las mejoras realizadas en sus infraestructuras posteriormente subutilizadas. En esta etapa se desató una ola de violencia y asesinatos selectivos de líderes opositores al proyecto.

En el año 2014, cuando la represa -que inundó aproximadamente 7.000 Ha de suelo con alta vocación para la agricultura (Roa Avendaño, 2019. p. 12) - entró en funcionamiento, el flujo del río se volvió impredecible, pues era controlado según las demandas del mercado de la energía eléctrica, generando eventos secos o subidas inesperadas, que alteraron las dinámicas de pesca, ocasionando incertidumbre en la población sobre uno de sus más importantes medios de subsistencia (Betancur-Alarcón, L., et al., 2026, p. 2).

Durante la inundación, no se removió en su totalidad la capa vegetal, lo que generó procesos de eutrofización y malos olores, llevando a unas concentraciones muy bajas de oxígeno disuelto (1 mg/l), no aptas para sostener la vida en el embalse y en el río. Adicional a esto, la estratificación del ahora sistema léntico debido a sus diferencias de temperatura también tuvo impactos en las especies nativas, lo que a su vez generó espacios propicios para el aumento de especies exóticas, disminuyendo la biodiversidad local y aumentando la vulnerabilidad a las plagas (Defensoría del Pueblo, 2017, pp. 67-68. En: Roa Avendaño, 2019, p. 27) que afectaron los cultivos de aguacate, café, plátano y cacao (Roa Avendaño, 2019, p. 28).

La operación de la represa fragmentó el tejido comunitario, pues algunos emigraron a las ciudades, otras familias fueron reubicadas en terrenos de menor productividad y la zona adquirió vocación para un turismo de élite que cambió el valor de la tierra a beneficio de los latifundios. La comunidad otrora cohesiva y autónoma desde la libertad que les ofrecía el río se transformó en una dependiente del mercado externo para la seguridad alimentaria local. Con ello, los saberes tradicionales que habían construido alrededor del río perdieron su validez y se han ido consolidando otros independientes del río para su supervivencia, como la artesanía y la costura.

Las mujeres y los hombres del territorio ya saben que no podrán hacer las mismas actividades de antes, cuando no había represa. Que el territorio ha cambiado, que tendrán que re-aprender a leerlo, a entenderlo. Mientras tanto, cambian la canoa y la atarraya por los hilos y

la aguja; la pesca por la carpintería, la manufactura o la cocina; la venta de pescado, por la de artesanías, que ahora elaboran con piedras pintadas, o de pijamas y manteles que cosen con su nuevo instrumento: la máquina de coser. Se trata de pervivir en el territorio, de seguir junto al río, de cuidarlo para ver si algún día vuelve a darles los frutos que siempre les brindó (Roa Avendaño, 2019, p. 42)

Este caso demuestra que la interdefinibilidad es más que una categoría teórica. Antes de la construcción de la represa, tanto las funciones del río, como las de los ecosistemas adyacentes y las de las comunidades allí asentadas se determinaban recíprocamente. Al concebir el sistema desde una perspectiva que aisló el recurso hídrico de su contexto social y ecológico -lo que Morín llama la "inteligencia ciega"-, se llevó al sistema al punto de bifurcación que propone Laszlo (2009, p. 47) y la intervención que supuso la construcción y operación del proyecto Hidrosogamoso, lo llevaron por la ruta del colapso: se generó una perturbación externa que superó su umbral de resiliencia. La flexibilidad y riqueza de sus patrones de organización no fueron suficientes para que se diera un acoplamiento estructural con su nuevo entorno; las redes autopoiéticas se rompieron causando una desestructuración profunda. Aunque algunos elementos se conservaron, el sistema murió al perder su organización y su autonomía "anfibia" y fue reemplazado por otro con una estructura y una red de procesos diferente (dependencia a externalidades, identidad asociada al turismo y la artesanía).

Al ignorar que el todo es más que la suma de sus partes y que cualquier intervención en uno de sus componentes altera toda la red de relaciones, se aumenta la vulnerabilidad del sistema. Por tanto, comprender que "vivir es conocer" implica que el ser humano se despoje de su rol de observador/interventor externo y se posicione como un elemento que define y es definido por la red de relaciones que pretende transformar. De esto dependerá entonces los mundos que alumbre.

Dinámica Evolutiva y No Lineal: El Devenir por Reorganizaciones y Bifurcaciones.

Pensar la foto del almuerzo familiar como sistema complejo permitió comprender la idea de totalidad. Revisar la desaparición de la cultura “anfibia” en las riberas del río Sogamoso mostró cómo los elementos del sistema se definen recíprocamente como en una red interconectada. En este apartado se abordará la dinámica evolutiva de los sistemas complejos, desde la cual, la totalidad y las interdependencias que configuran un sistema, antes que ser estáticas, constituyen flujos que configuran el sistema complejo, no como algo que “es”, sino que “deviene” a través de su historia. Pero para comprender dicho devenir, es necesario entender su naturaleza de sistemas abiertos.

Desde la ciencia heredada de la mecánica de Newton, se estudiaban los sistemas aislados de su entorno, que tienden al reposo y a la entropía (Echevarria,1979, pp. 95-96). Esta visión cambia en el estudio de la biología a partir de los aportes de Ludwing von Bertalanffy, quien reconoció a los organismos como totalidades que requieren un intercambio constante de materia y energía con su entorno para conservar la vida (Echevarria, 1979, p. 94 y Capra, 1996, p. 67). Más adelante, Ilya Prigogine demostró que la capacidad de los sistemas para mantener su forma a partir de la renovación de sus componentes y de disipar energía, es lo que determina su orden (García, 2006, pp. 130 -131 y Capra, 1996, pp. 106-107). La estabilidad del sistema, entonces, se comprende como alejada del equilibrio, pero en un continuo flujo y cambio en interacción con el medio. Es decir, que son sistemas cuyo equilibrio es dinámico o “fluyente”. (Capra, 1996, p. 68). Según esto, es posible pensar un almuerzo familiar, los sistemas establecidos a orillas del río Sogamoso y los humedales, como sistemas abiertos.

En el almuerzo familiar de domingo, como sistema social, cada miembro interactúa con los demás desde sus propias formas de comunicación, preferencia, gestos, personalidades, formando un sistema de relaciones familiares específico -una red autopoiética- que le da

identidad a la familia. Pero a su vez, después del almuerzo cada miembro se dispersa a otros espacios fuera del contorno familiar donde intercambia de diferentes formas información, afectos, cultura, recursos que permearán las relaciones del siguiente domingo -nuevas historias personales, eventos, afectos, conflictos, etc.- generando fluctuaciones internas en el sistema cada vez que se reúnan a almorzar. Es decir, que la foto de cada domingo mostrará una estabilidad diferente.

Pero dicha estabilidad dependerá del grado en que la estructura del sistema soporte las fluctuaciones sin desorganizarse (García, 2006, p. 130). Por ejemplo, la ausencia permanente de un familiar con alto poder o reconocimiento en el sistema generará una perturbación mucho mayor, que la ausencia temporal de alguien menos reconocido en la estructura jerárquica familiar. Esta dinámica puede entenderse como una estructura disipativa. Por ejemplo, si hay un conflicto dentro de la familia, uno de los miembros comparte la situación con una persona que no hace parte de la estructura, quien le ofrece una perspectiva diferente del conflicto. De esta manera, el siguiente domingo la situación estará permeada por otra visión que permitirá reordenar los vínculos en el sistema. Así, la familia libera la tensión (entropía) y recibe retroalimentación positiva (negentropía) “que aparece como fuente de un nuevo orden y complejidad” (Capra, 2006, p. 107). La familia sobrevive y evoluciona en cuanto opera como un sistema abierto capaz de transformar las perturbaciones externas en estructuras de relaciones más ricas y complejas.

Si la familia se cerrara a las interacciones con el exterior, las ideas que circulan, las perspectivas, los intercambios, serían siempre los mismos, no pasaría nada nuevo y los encuentros se volverían monótonos; la energía (el tema de conversación, el deseo de interactuar, los conflictos) se disiparía y dejaría de estar disponible para el sistema, que eventualmente perdería su organización y estructura, alcanzando su máximo nivel de entropía, pues “la energía libre, una vez que se ha expandido, es incapaz de realizar más trabajo”

(Valencia, S., et al., s.f., p. 52). Es decir, perdería el equilibrio dinámico que sostiene la vida de la red.

De la misma forma que el sistema social familiar construye su estabilidad manteniendo un equilibrio dinámico a partir de las entradas de información y afectos que recibe de su entorno, otros sistemas como un humedal o las comunidades asentadas a orillas del río Sogamoso previo a su intervención por el proyecto hidroeléctrico también pueden describirse como sistemas abiertos y estructuras disipativas. En ambos casos, mientras la materia y la energía cambian constantemente a través de sus flujos por el sistema, su organización estructural permanece.

En un humedal esta permanencia está dada por los ciclos biogeoquímicos a través de los cuales la materia es reciclada, la energía disipada en forma de calor y realimentada por el sol (Capra, 1996, p. 190) evitando que el sistema alcance la entropía. El sistema está en constante interacción con el medio del cual recibe aportes de agua, luz, sedimentos, nutrientes y al cual entrega vapor de agua, calor, gases, biomasa, materia en descomposición y flujos hídricos transformados. Estos factores coexisten en gradientes que hacen que el sistema permanezca fuera del equilibrio y posibilitan los procesos metabólicos que sostienen la vida (fotosíntesis, respiración, descomposición). Así, emerge una organización característica "estable" con patrones reconocibles: tipos y distribuciones de plantas, regulación hídrica, retención de nutrientes, etc. (Secretaría Distrital de Ambiente et al., 2022, cap.3 pp. 16,52; Capra, 1996. p.192)

De forma similar, en el sistema de la cuenca baja del río Sogamoso, la energía liberada de los procesos metabólicos de los organismos que la habitaban se disipaba al entorno y se realimentaba de los flujos de energía solar y de nutrientes transportado como sedimentos fértiles de la cuenca alta, entre otros. La energía fluye y la materia circula en el sistema otorgándole un equilibrio "fluyente" o dinámico que los mantenía estable desde el acoplamiento estructural de los asentamientos humanos y sus dinámicas comunitarias, culturales y

productivas a las fluctuaciones naturales y predecibles del río. (Betancur-Alarcón et al., 2026, p. 785), (Roa Avendaño, 2019, p. 22).

En los sistemas complejos como los que se acaban de identificar, la estabilidad es diferente a un estado de reposo, pero además se aleja de la racionalidad lineal de causa efecto. Esto es, no se puede predecir que el factor “A” conduce siempre al “B”.

En un almuerzo familiar, por ejemplo, una mínima fluctuación – una palabra mal interpretada, un cambio en el menú- puede ser amplificada por bucles de retroalimentación positiva como un efecto mariposa y encaminar la dinámica familiar a escenarios futuros imprevisibles (Wagensberg, 1999, como se cita en Valencia et al., s.f., p.15 ; Montealegre et al, 2002, como se cita en Valencia et al., s.f., p.43) de euforia, armonía o conflicto, en lo que sería la representación de la no linealidad que opera en los sistemas alejados del equilibrio, “con discontinuidades estructurales, que procede por sucesivas reorganizaciones” (García, 2006, p.76). “Tales sistemas… atraviesan fases indeterminadas. No tienden hacia el mínimo de energía libre y el máximo de entropía específica, sino que amplifican ciertas fluctuaciones y evolucionan hacia un nuevo régimen dinámico, que es radicalmente diferente de los estados estacionarios en equilibrio o cercanos al equilibrio” (Laszlo, 1993, como se cita en Valencia et al, s.f., p. 52)

Ignorar la no linealidad lleva a asumir que la naturaleza puede ser controlada como una máquina constituida de partes aisladas y predecibles, cuando, por el contrario, los problemas que atañen a los sistemas vivos y sociales surgen de la totalidad del contexto y sus interrelaciones y no de una sola “parte dañada”. (Montealegre, 2002, como se cita en Valencia et al., 2003. p.49)

Así, la intervención en la cuenca baja del río Sogamoso con el desarrollo del proyecto hidroeléctrico muestra la impredictibilidad de una intervención parcializada en los sistemas complejos. El 8 de junio de 2014, a raíz de una decisión técnica y un fallo mecánico, las compuertas para el llenado del embalse permanecieron cerradas por más de 10 horas. Esto, se

cerraron las compuertas para el llenado del embalse y debido a un fallo mecánico, permanecieron así por 10 horas (Roa Avendaño, 2019, p. 24), lo que ocasionó un descenso muy importante en los niveles del río que llevó al sistema a un punto de bifurcación catastrófica (Laszlo, 1993, como se cita en Valencia et al., s.f., p. 59) a partir del cual los peces murieron masivamente a causa del río seco y posteriormente por la falta de oxígeno disuelto resultado de los procesos de eutrofización del cuerpo de agua del embalse.

> Muchas actividades que estaban directamente ligadas al río se afectaron. Ya no serán iguales la pesca, la comunicación, la venta de pescado (asociada a la pesca), los cultivos en los playones que se hacían en épocas secas, el turismo comunitario, ni la recreación. Ya no serán iguales ni "aguas arriba de la presa", ni "aguas abajo". (Roa Avendaño, 2019, p. 25)

Como se mencionó, la foto del almuerzo familiar no es la representación de un sistema estático, sino de la concreción de una historia de procesos que definieron la organización allí representada y que será diferente de la foto siguiente. De igual forma sucede con el ciclo de nutrientes de un humedal o con el cauce del río Sogamoso. Entender cómo llegan a configurarse estos estados requiere reconocer que "no hay estructura sin historia, ni historia sin estructura" (García, 2006. p.81)

Así, el estado actual de la cuenca baja del río Sogamoso llegó a hacer por la historia que se configuró en el sistema como red autopoiética, pero esta red está conformada por otras estructuras autopoiéticas, cada una con su historia construida a su tiempo. Es como si estas estructuras estuvieran entrelazadas unas con otras por lo que Briggs y Peat (1994. p.76) llaman flechas de tiempo, donde cada estructura tiene sus límites definidos, pero está inmersa en una red temporal más vasta en la que se configura la complejidad.

Pero hay otra regla que impone este entrelazamiento: la irreversibilidad. Una vez que la red original que daba identidad al sistema se rompe a causa de una perturbación que supera su umbral de resiliencia, este "evoluciona hacia un nuevo régimen dinámico" (Laszlo, 1993, p. 52); se ve forzado a una reorganización que le impide recuperar el estado anterior. Actuar sobre

una de sus piezas para intentar el retorno es inútil, pues ya no existe la conexión con las redes que lo constituían.

El cambio forzado que vivieron las comunidades “anfibias” asentadas a lo largo del río Sogamoso representa esta condición de irreversibilidad. Aun cuando parte de las comunidades siguen habitando el mismo espacio geográfico, las redes que les unían al mismo cambiaron, la realidad de abundancia dejó de existir y el territorio como sistema se transformó. Este panorama permite reconocer que cualquier iniciativa de intervención en los sistemas naturales no puede ser concebida en términos de relaciones lineales de causa efecto, sino que requiere reconocer históricamente los procesos que han organizado la “fotografía” del presente y anticipar diferentes escenarios que podrían desplegarse ante una perturbación, teniendo en cuenta los bucles de retroalimentación que los ordenan. De la flexibilidad del sistema depende su capacidad de reorganizarse (Capra, 1996, p. 279) y esto implica renunciar a la idea de control que se sustenta el rol de sujeto observador y situarse como agente sujeto y objeto de transformación, pues “el futuro sólo está revelado en el despliegue momento por momento del presente. Al enfrentar la limitación - la imposibilidad- de las predicciones, podemos regresar el tiempo real tomándolo como linde entre el orden y el caos, entre lo conocido y lo desconocido, como la hondura de los mundos-espejo” (Briggs y Peat, 1994, p.103).

Organización Estructural Jerárquica basada en redes de relaciones.

En esta línea, atender a la totalidad, la interdefinibilidad y la evolución no lineal de los sistemas complejos ofrece una vía para aproximarse a ellos desde el entramado de relaciones internas que se configuran y retroalimentan en interacción permanente con su entorno. Es importante entonces, explicitar cómo se organizan dichas interacciones que permiten caracterizarlos como sistemas abiertos y que evitan que alcancen el reposo inerte del equilibrio termodinámico o su estado de máxima entropía.

En primer lugar, es necesario recapitular la idea de que los sistemas complejos no son simples agregados de partes, y que no están aislados de su entorno. Por el contrario, constituyen redes dentro de otras redes organizadas en jerarquías intersistémicas e intrasistémicas (Echevarría, 1979, p.95) (Capra, 1996, p.220). Es decir, que cada subsistema funciona como una totalidad organizada respecto a sus componentes, lo que lo reviste de cierto nivel de autonomía que le permite mantener su estructura, pero a su vez establece relaciones con otros sistemas como parte integrante de un nivel superior o suprasistema que tendrá mayor complejidad y que mostrará propiedades diferentes -emergentes- a las de cada uno de los niveles inferiores. (Capra, 1996, p.47-48) (García, 2006, p.74) (Echevarria, 1979, p.96)

En los sistemas naturales, esta organización puede reconocerse en la célula, que opera como una totalidad organizada y autónoma, capaz de producir las estructuras que mantienen su propia organización. Para ello, se retroalimenta del entorno mediante los intercambios que ocurren a través de la membrana plasmática, entendida como su límite. A su vez, las células se integran con otras para conformar tejidos que interactúan para dar vida al organismo, que a su vez, se organiza en sistemas sociales y ecosistemas (Capra, 1996, p. 47; Echevarría, 1979, p. 95; García, 2006, p. 75).

En este sentido, la célula como sistema vivo de primer nivel, reviste una apertura estructural en cuanto su membrana permite el intercambio de materia y energía con el entorno; pero a su vez, muestra una clausura organizacional que garantiza que los procesos de producción de sus componentes permanezcan dentro de una red cerrada, lo que le otorga autonomía e identidad, permitiendo así, definir su límite y diferenciarla de su entorno. (Capra, 1996, p. 180)

Esto lleva a la segunda consideración sobre la jerarquía de los sistemas, que tiene que ver con la diferenciación de los límites de los subsistemas que integran redes más complejas. En los sistemas vivos, al estar conformados por células los límites pueden diferenciarse no en términos de una frontera estática, sino más bien desde su operación, es decir, desde las redes

de producción activa y dinámica que lo diferencian de su medio. Así, organismos multicelulares constituyen sistemas de segundo nivel, en los que sus componentes -las células-, operan en apertura estructural para mantener la vida del organismo, cuya identidad está definida también por su clausura organizacional especificada por su red de procesos internos. (Echevarria, 1979, p.96). Estos sistemas de segundo nivel entonces se organizan para formar redes que estructuran sistemas de tercer nivel -poblaciones, ecosistemas, sociedades- en los cuales es necesario especificar otros procesos que cuestionan su nivel de autonomía y producción. (Capra, 1996, pp. 220-225)

En términos de las poblaciones, formadas por organismos de una misma especie, los procesos de intercambio ocurren en su dimensión física, aplicable también en las poblaciones humanas. Sin embargo, la unidad de los sistemas sociales involucra no solo la producción física que los constituye en sistemas biológicos, sino también la producción de significados que lo identifican como sistema conceptual a partir de procesos comunicativos; lo cual, desde autores como Niklas Luhmann (como se citó en Capra,1996) -en respuesta a la pregunta abierta planteada por Maturana y Varela-, los ubica como estructuras autopoiéticas que se producen así mismas, no desde los individuos como elementos constitutivos aislados, sino desde los actos comunicativos -flexibles y renegociables- que producen y reproducen dentro de un marco normativo generado por el mismo sistema y que lo diferencia de otros sistemas sociales; que además, puede o no, estar en relación con los vínculos biológicos de los miembros. (Capra, 1996, pp. 220-255)

En este contexto, el lenguaje se convierte en el mecanismo de producción de sistemas de tercer nivel del que emergen distinciones lingüísticas que alumbran nociones de objetos, de conceptos; de mundos, de sistemas de creencias y valores que definen la identidad y los límites del sistema.

Este salto entre los sistemas de segundo y tercer nivel plantea también ciertas condiciones en términos de la autonomía, pues la célula, como sistema de base, trabaja en

función del mantenimiento de los procesos del segundo nivel, es decir que “el organismo restringe la creatividad de sus unidades componentes” (Maturana y Varela, s.f., como se cita en Capra, 1996, p.222); mientras que en los sistemas humanos esta relación actúa en doble vía, pues como suprasistemas, operan para el funcionamiento de sus componentes al amplificar su creatividad individual (Maturana y Varela, s.f., como se cita en Capra, 1996. p. 222).

Ahora bien, estos niveles de jerarquización que se acaban de describir se fundamentan en la continuidad de la vida, desde la célula hasta la sociedad y dejan ver ideas comunes entre los autores referenciados en términos del rechazo a la dominación de un nivel sobre otro y el reconocimiento como redes dentro de redes; del desacople entre los diferentes niveles en cuanto cada uno mantiene cierto nivel de autonomía; de como cada sistema puede mirarse hacia adentro como un todo y hacia afuera como una parte; y también desde las propiedades del sistema que emergen de las interacciones y que no pueden ser descritas por sus elementos aislados.

Esta perspectiva, permite comprender el sistema desde su orden autopoiético. Sin embargo, García (2006) propone otro sistema de jerarquización desde una perspectiva metodológica para el estudio de los sistemas complejos, planteando como criterios la escala de los procesos y las relaciones de determinación entre los niveles jerárquicos, es decir como un sistema de nivel superior actúa como condiciones de contorno para los niveles inferiores. Desde esta mirada se puede decir que García retoma la jerarquización autopoiética, y la inserta en el sistema de base de su propia jerarquía y continúa caracterizando los sistemas humanos hacia niveles de mayor complejidad. Es decir, si desde las redes autopoiéticas hasta el segundo nivel, la jerarquía se explica como una integración funcional en la que las partes responden a las exigencias del sistema para mantener la vida (“las moléculas no pueden escoger si deben o no interactuar” (Capra, 1996, p. 223), a partir del tercer nivel, las partes (subsistemas) responden con mayor grado de creatividad ante las determinaciones de sus

niveles superiores (“los seres humanos pueden escoger entre obedecer una regla social o no” (Capra, 1996, p.223).

Definir los niveles de los sistemas sociales implica entonces considerar otros criterios para la delimitación de los subsistemas, que, aunque guardan estrecha relación con la perspectiva autopoiética, en cuanto se basa en las redes de relaciones, se diferencia de esta postura al poner en paralelo función y estructura con procesos y estados (García, 2006, p. 150), lo que permite jerarquizar los sistemas según las necesidades de la investigación interdisciplinaria y pasar de analizar qué partes hay a describir qué está sucediendo en un momento presente, como resultado de un proceso histórico. De esta manera, propone que:

> Un sistema estará definido solamente cuando un número suficiente de relaciones ligadas entre sí con referencia al funcionamiento del conjunto como una totalidad, han sido identificadas. En esta conexión debemos recordar que con los mismos elementos podemos definir diferentes sistemas, que la selección depende de los objetivos de la investigación y que estará determinada por las preguntas específicas formuladas acerca del tipo de situaciones que van a ser estudiadas”. (García, 2006, p.150)

Su metodología no desconoce las propiedades sistémicas invariantes que propone Laszlo (s.f., como se cita en Echevarría, 1979, p. 97), sino que las integra como parte de otro sistema de jerarquías que ya no está determinado por dichas propiedades, sino por el marco epistémico y las preguntas específicas que construye el equipo investigador. Es decir, que es posible que un mismo objeto sea estudiado bajo diferentes jerarquías de relaciones. Así, los sistemas de primer nivel desde una perspectiva fenomenológica tienen un carácter local. Aquí se analizan los cambios en el medio físico, métodos de producción y las condiciones de vida de las poblaciones afectadas. Se entiende como el nivel de base y en esta delimitación podrían incluirse los sistemas de primer, segundo y tercer nivel descritos por la perspectiva ontológica de la autopoiesis, pues integran los elementos físicos, bióticos y socioeconómicos que presentan un alto grado de interconexión interna.

El segundo nivel para García, también denominado el nivel de los metaprocesos, está delimitado por los procesos de escala regional o nacional asociados a modificaciones

estructurales de los sistemas productivos, como pueden ser la introducción de nuevos paquetes tecnológicos o de nuevos cultivos, planes de industrialización, etc. El análisis de este nivel permite explicar los fenómenos que se observan en el nivel local.

El tercer nivel, comprende los procesos que ocurren en la escala nacional o internacional que constituyen las condiciones de contorno y determinan lo que sucede en el nivel de los metaprocesos. Estas condiciones pueden incluir, por ejemplo, las políticas nacionales de desarrollo, cambios en los mercados internacionales, lineamientos de organismos internacionales, etc. (García, 2006, pp. 151-152)

Retomando la analogía del almuerzo familiar, desde la perspectiva ontológica, cada individuo es un sistema biológico completo y autónomo de segundo nivel en el que operan interrelaciones intrasistémicas que involucran el nivel celular, pero en la dinámica del almuerzo dominical, esa autonomía se inserta en un suprasistema que es la familia, con la cual establece relaciones intersistémicas al participar de la red de conversaciones familiares. En el marco de García (2006), el evento familiar constituiría un proceso local, es decir de primer nivel, que está determinado por las tradiciones culturales y normas sociales de nivel superior, que además se enmarcan y determinan por las regulaciones, patrones y construcciones en las escalas nacional o internacional. En ambos sistemas de jerarquías, la estabilidad del sistema familiar en el momento del almuerzo se construye a través de los procesos comunicativos que allí se gestan, y que determinan sus comportamientos y su identidad.

El caso de Hidrosogamoso, por su parte, representa cómo una decisión de tercer nivel (la política nacional para el abastecimiento energético) impuso unas condiciones de contorno que determinaron cambios irreversibles en el ecosistema y en las condiciones de vida de las comunidades asentadas en las riberas del río.

En otro ejemplo, si un humedal ubicado en la ciudad de Bogotá se delimitara como sistema complejo desde una jerarquía ontológica, cada uno de los microorganismos que lo habitan conformarían subsistemas de primer nivel, mientras que las macrófitas, plantas

terrestres y animales constituirían sistemas de segundo nivel que se relacionan entre sí formando redes tróficas que implican además el intercambio con otros elementos no vivos del lugar, mientras los sistemas humanos que de una u otra forma han intervenido el ecosistema harían parte de un tercer nivel que también de muchas maneras depende de la organización ecosistémica del humedal. Desde la metodología de García, las dinámicas que acontecen en estos tres niveles se determinan y por lo tanto pueden explicarse desde procesos de un orden mayor, como, por ejemplo, la dinámica de ordenamiento territorial de la ciudad, que le otorga condiciones de contorno particulares definidas por las tensiones entre la obligatoriedad de los acuerdos internacionales para la protección del humedal y las demandas económicas y urbanísticas de una ciudad capital.

En los tres casos, los niveles de jerarquización desde la perspectiva de García (2006), podrían transformarse desde los intereses de grupos diferentes de investigación/intervención y cada nivel estaría conformado por otros componentes, por tanto, por otro tipo de interrelaciones a partir de las organizaciones sociales. Esto refuerza la idea de que la evolución de los sistemas depende de la forma en que el sujeto se involucre como una componente dentro de la trama de funciones que intenta gestionar.

3.1.2. ¿A qué se denomina “Dinámica Hídrica”?

Desde la perspectiva de los sistemas complejos, este capítulo busca trascender la visión reduccionista del agua como sustancia o recurso inerte para comprender su dinámica desde el reconocimiento de su carácter fluyente, descrito a partir de sus flujos y transformaciones perpetuas, como parte en una red de interdefinibilidad con los factores físicos, químicos, biológicos y humanos con los que interactúa.

El agua “ocurre en la atmósfera y sobre y bajo la superficie de la Tierra como líquido, sólido y gas… Hidrológicamente, un factor muy significativo es que el agua no solo se presenta en estas diversas formas, sino también, que, en ningún caso, se presenta independientemente

de todas las otras formas. El agua está, de hecho, cambiando continuamente de estado y de lugar" (Ward, 1957, p.16). Pereyra, (como se citó en Panfichi & Coronel, 2011, p. 398) plantea que es un bien continuo, una propiedad que implica que el agua "fluye, no es estático y, por tanto, no se puede separar en fracciones claramente identificables, a diferencia de los bienes discretos que sí pueden ser separados en unidades medibles en el tiempo y el espacio".

En este fluir entre estados y lugares, el agua describe procesos históricos a partir de los fenómenos de transformación que sufre por interacción con los elementos del paisaje. No sólo cambian sus estados y sus flujos, sino también su composición química y bioquímica al estar en contacto con diversos tipos de sustancias y organismos. Estos flujos están determinados por condiciones geomorfológicas y climáticas, pero, a su vez, actúan como modeladores permanentes del relieve, posibilitan el metabolismo de diferentes formas de vida y alrededor de ella se configuran diferentes tipos de paisajes. (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2018, pp. 12,16,28)

Más allá de su comportamiento físico, el agua "captura y encarna procesos que son a la vez materiales, discursivos y simbólicos (Swyngedouw, 2004 como se cita en Budds, 2011, p. 65), su concepto está asociado con "significados culturales e identidad (étnica) y con los ideales e ideas sobre lo que significan «humanidad» y «desarrollo»" (Boelens et al., 2011, p. 21), pero también con simbologías de lo espiritual y lo sagrado (Vera Delgado, 2011, p. 442) (Tankha, 2011, p. 325) (Gutiérrez, 2011, p. 335). Entendida como recurso, derecho o regalo de Dios, su carácter socio natural sitúa al agua en el centro de conflictos mediados por normativas, relaciones de poder y autoridad y discursos que articulan realidades contrapuestas (Zwarteveen y Boelens, 2011, p.45)

Esta relación antropogénica materializada en cambios de uso del suelo y/o intervenciones tecnológicas para el establecimiento de estructuras hidráulicas también altera los recorridos y transformaciones naturales del agua (Tovar & de la Hoz, 2020, p. 16) y configura paisajes hidro sociales a diferentes escalas y de diferente índole. Bajo esta luz, es

posible hablar en términos de la dinámica hídrica para describir los sistemas abiertos de diferentes niveles o escalas de los que el agua hace parte. Al estudiar dicha dinámica, se pueden identificar los flujos de materia y energía que sostienen al sistema, así como el devenir histórico de su organización y estructura. En palabras de Denisse Roca (2025):

> ¿Qué pasaría si pudiéramos conocer las memorias y las historias del agua?... el agua es una aliada en la construcción de la memoria histórica o hasta geológica del planeta. El pensar con el agua nos enseña a no separar, nos muestra las interdependencias, la inseparabilidad de las formas de ser: de las ontologías; de las formas de conocer: las epistemologías y de las formas de hacer: la praxis. Ello, aunado a una necesidad de un enfoque ondulante, no jerárquico y complejo. De esa manera, pensar con el agua nos permite descolonizar nuestra relación con la naturaleza para hacer visibles las relaciones hidro sociales alternativas que podremos materializar para reproducir la vida.

Por tanto, en este trabajo se entiende la dinámica hídrica como las interacciones multidimensionales de la sustancia con los sistemas naturales y sociales que atraviesa; como procesos de definición recíproca en los que el agua define la estructura del sistema, pero, simultáneamente, la organización del sistema (biótica, geomorfológica y humana) define los flujos y la identidad misma de la dinámica hídrica.

3.1.3 Los humedales como objeto de estudio y la dinámica hídrica en ellos

Como se expuso anteriormente, el agua es un fluido en transformación permanente que vincula la atmósfera, la superficie y el subsuelo en redes de interdefinibilidad a escala planetaria. Dentro de esta escala, en la que pueden describirse procesos de tercer nivel según la caracterización jerárquica de García (2006), interactúan sistemas de segundo y primer nivel, para los cuales la dinámica global representa sus condiciones de contorno y con la cual hay intercambio de materia, energía y comunicación. Así, los humedales, pueden ser entendidos como sistemas complejos cuya dinámica hídrica es manifestación de la escala planetaria.

Antes de entrar a definir estas conexiones, es importante hablar también sobre aquellos conceptos o ideas que permiten identificar y delimitar un humedal como sistema complejo.

Para empezar, se retoma la idea de García (2006, p.50) de que la delimitación de un sistema estará determinada por un "número suficiente de relaciones ligadas entre sí con referencia al funcionamiento del conjunto como totalidad" y que esto dependerá de las necesidades y el marco epistemológico de la investigación. En segundo lugar, y partiendo de la caracterización jerárquica planteada, es necesario precisar que, para efectos de este trabajo, la totalidad que en última instancia se describirá como humedal, específicamente el Humedal Torca Guaymaral, se fundamenta en su definición como ecosistema.

El concepto de ecosistema acuñado inicialmente por Tansley en 1935 (Armenteras et al., p. 83) como una "entidad reconocible autocontenida", un "complejo de organismos junto con los factores físicos de su medio ambiente en un lugar determinado", ha sido problematizado por diferentes autores en términos de su ambigüedad que dificulta su aplicación metodológica tanto en la investigación como en la práctica, de su delimitación espacial, de su funcionamiento como sistema equilibrado y estable y sobre si pueden considerarse como "supra-organismos" tangibles o más bien como "herramientas conceptuales para estudiar el flujo de energía". (Armenteras, et al., pp. 83-84)

En términos de su definición espacial, se presentan varios obstáculos. Uno de ellos tiene que ver con que el rango de ocurrencia de la diversidad de seres vivos y de algunas condiciones físicas puede ser muy diferente, habiendo unos distribuidos en un espacio geográfico restringido mientras otros se presentan o se mueven en diferentes escalas geográficas mucho más amplias. Algo similar sucede con los flujos de energía que definen estructuras tróficas, biológicas y ciclos de materiales, y por lo tanto el equilibrio dinámico del sistema, pues en sistemas lóticos (ríos, arroyos), por ejemplo, la alimentación de dichos flujos proviene de lugares externos a los límites geográficos establecidos. (Armenteras et al., pp. 84-85)

De esta forma, los ecosistemas, a pesar de llevar implícito un carácter de espacialidad, esta no es tangible, como lo puede ser en otros niveles de organización como la célula y el

organismo, y es relativa a la abstracción (conceptualización) que haga el investigador según los flujos de energía y materia de su interés. Lo cual, lleva a la idea de que los límites de un ecosistema de humedal tampoco son fronteras estáticas, sino condiciones dinámicas dependientes de la escala temporal y de los procesos de interés.

Ahora bien, si los ecosistemas poseen una intangibilidad relativa y sus fronteras son dinámicas, en los ámbitos científico, administrativo, político y de toma de decisiones, el concepto de ecosistema resulta útil en cuanto es asumido como una unidad autocontenida, espacialmente diferenciable; no como una frontera física que se presente como absoluta en la naturaleza, sino como un modelo conceptual que es usado como unidad de análisis, síntesis y predicción que posibilita su estudio, su manejo administrativo y la gobernanza del territorio. (Armenteras et al., 2016, p. 88)

En este sentido, en el presente capítulo se considerará la delimitación espacial que desde los entes territoriales se ha establecido para definir el Humedal Torca Guaymaral como ecosistema (esta delimitación se detallará más adelante en este capítulo), pero la dinámica hídrica con la cual se define su estructura y organización se describirá en relación con los suprasistemas que lo contienen.

Así, el Humedal Torca Guaymaral se comprende como un ecosistema en tanto constituye una unidad funcional donde lo vivo y su medio abiótico interactúan, y el agua es un factor fundamental con el que recíprocamente se definen en estructura y en funciones ecológicas. En coherencia con la perspectiva de los sistemas complejos, opera como un sistema abierto y una estructura disipativa que conserva su organización estructural al mantener flujos de entrada y salida con el entorno para posibilitar los procesos metabólicos dentro del sistema. De este proceso de transformación disipa calor al entorno, pero también entrega, agua, gases, material vegetal (semillas, polen, residuos vegetales transportados por agua, aire y zoocoria), materia de origen animal (por movilidad animal y materia orgánica transportada por corrientes) y antrópico (por movilidad humana, intervención tecnológica y

desechos) y así mismo se alimenta de la energía lumínica, agua, biomasa y sedimentos del paisaje del que hace parte. (SDA et al, 2022)

A escala planetaria, y en términos físicos, la dinámica hídrica puede describirse a partir del ciclo hidrológico, entendido como la transferencia de masas de agua entre la atmósfera, la superficie y el subsuelo en un flujo ininterrumpido. Para que dicha transferencia sea posible, la sustancia presenta transformaciones continuas e interdependientes entre sus estados líquido, sólido y gaseoso que facilita su movimiento entre los reservorios -de los cuales los océanos cubren el 71% de la superficie terrestre- y los continentes (Ward, 1967, p.16-19).

Estos cambios de estado y los desplazamientos están provocados principalmente por la radiación solar y la fuerza de gravedad (Custodio & Llamas, 1996, p. 267). La energía solar proporciona las aproximadamente 590 calorías por gramo de agua necesarias para que ocurran los procesos de evaporación (desde los océanos y otros cuerpos de agua) y evapotranspiración (desde las coberturas vegetales) a través de los cuales es transferida desde la superficie terrestre hacia la atmósfera (Ward, 1967, p. 79). Por su parte, la gravedad permite la precipitación del agua en sus formas sólida y líquida, así como sus recorridos descendentes sobre la superficie (escorrentía) y la infiltración a través del suelo hacia los acuíferos (Ward, 1967, p. 15) (Custodio & Llamas, 1996, p. 267).

Además de estas transferencias verticales, a través de la atmósfera se presentan movimientos horizontales de aire húmedo que forman parte de los mecanismos que definen la distribución zonal de la precipitación. En las latitudes polares y subtropicales, el aire tiende a descender (subsidencia), lo que aumenta su presión interna debido al peso que ejerce la columna atmosférica superior. Este aumento de presión lo comprime aumentando a su vez su temperatura de forma adiabática y disminuyendo su humedad relativa, pues este aumento en la temperatura eleva la capacidad del aire para retener agua en forma de gas sin que esta se condense. Es decir, que el agua continúa en su forma de vapor y no se precipita (Ward, 1967, p. 21; Schmittner, 2018, pp. 106-128).

Por el contrario, en latitudes medias (entre los 30◦y los 60◦) las masas de aire húmedo fluyen en capas inferiores de la atmósfera y al encontrarse con frentes de aire frío se deslizan sobre estos y ascienden permitiendo que el vapor de agua se condense, generando áreas de precipitación (Ward, 1967, p. 22, 24), las cuales también se presentan en las zonas de convergencia intertropical, donde, debido a la constante radiación solar el aire se calienta y asciende por convección. Y al llegar a capas más altas de la atmósfera se enfría de forma adiabática generando lluvias constantes (Ward, 1967, p. 22, 24, 28). Estos patrones, además, se ven influenciados por la interacción entre la superficie continental y oceánica, donde los vientos que se desplazan hacia las costas transportan mayor humedad, mientras los que viajan del continente hacia el mar son predominantemente secos (Ward, 1967, p. 24).

Finalmente, esta dinámica hídrica a escala global está también ligada a ciclos geológicos de la corteza terrestre: las interacciones de las placas tectónicas han dado paso a las formaciones del relieve (procesos orogénicos) que en interacción con factores como los vientos, la lluvia, las corrientes superficiales y subterráneas de agua, los glaciares y los mares erosionan las superficies rocosas transportando sedimentos a zonas de acumulación continentales y oceánicas (Custodio & Llamas, 1996, p. 13-33). Esto, moldea el paisaje, pero a su vez influye en los movimientos eustáticos, entendidos como variaciones en nivel del mar, ya sea por cambios en el volumen de agua contenido en los océanos o en los continentes o por modificaciones en la capacidad de contención de las cuencas oceánicas. Estos movimientos pueden generarse por varios mecanismos:

Uno de ellos es el cambio en el volumen de agua continental cuando rocas ígneas o ciertas rocas metamórficas liberan vapor a la superficie como parte de su proceso de enfriamiento debajo de la superficie o al ser liberadas por erupciones volcánicas, poniendo en circulación “nuevas” masas de agua en la superficie (Custodio & Llamas, 1996, pp. 33, 267-268).

Otra forma se relaciona con los cambios en la distribución del agua entre los continentes y los océanos a lo largo de las diferentes eras geológicas. Por ejemplo, durante la era cuaternaria, el nivel del mar descendió en los periodos glaciares debido a la acumulación de grandes volúmenes de agua en forma de hielo continental, y aumentó durante los periodos interglaciares como consecuencia de su fusión. Estos cambios evidencian que las variaciones del nivel del mar dependen, entre otros factores, de la forma en que el agua se almacena temporalmente en los continentes o retorna a los océanos (Custodio & Llamas, 1996, p. 33; Ward, 1967, p. 23). Y, por último, por modificaciones de origen tectónico o por depósito de sedimentos en las cuencas oceánicas que modifican su capacidad de retención de agua (Custodio & Llamas, 1996, p. 33).

Estos movimientos a escalas milenarias han ido configurando las condiciones de contorno que determinan la disponibilidad de la masa de agua a nivel global (Custodio & Llamas, 1996, p. 33) y la forma en que han estructurado el ambiente físico determinan las particularidades de flujos y transformaciones de agua y sedimentos en escalas regionales (Custodio & Llamas, 1996, p. 9; Ceballos, 2018, p. 11). Aquí, la formación del relieve en su dinamismo continuo de levantamiento y erosión constituye un elemento organizador de la dinámica hídrica, formando ambientes lacustres y fluviales particulares que a su vez determinan la configuración de diferentes paisajes (Ceballos, 2018, pp. 11, 32, 43).

En estas escalas menores, el relieve estructura las dinámicas de transferencia de masas de agua diferenciando áreas de aporte en las montañas a la altura de glaciares y páramos, de transporte en los valles estrechos que se forman en las pendientes de la montaña, por los que el agua escurre superficialmente con alta energía de arrastre, y piedemontes y llanuras que forman áreas de acumulación. (Ceballos, 2018, p. 19) Así, los vientos húmedos que viajan miles de kilómetros desde las zonas de evaporación se encuentran con estas barreras montañosas que los fuerzan a subir a zonas de menor presión facilitando su condensación y configurando patrones de lluvia locales (Ward, 1967, pp. 22-24; Custodio &

Llamas, 1996, p. 288). Estas lluvias, dependiendo de la naturaleza de los suelos, alimentan los caudales de escorrentía superficial o subterránea, son interceptadas por las coberturas vegetales o se infiltran y almacenan en el suelo (Custodio & Llamas, 1996, pp. 267-268), determinando la disponibilidad de agua para los ecosistemas locales y la sociedad. A partir de esta dinámica se definen unidades de análisis de la dinámica hídrica y se estructuran mecanismos de gestión del territorio.

Así, por ejemplo, en el territorio colombiano convergen factores geológicos, geográficos y climáticos que operan en diferentes escalas y configuran la dinámica hídrica de su extensión. Colombia se encuentra en una posición estratégica en el extremo noroccidental de Suramérica, por lo que su variabilidad climática está en gran parte determinada por su ubicación en la Zona de Confluencia Intertropical (ZCIT), por las dinámicas de los océanos Pacífico y Atlántico donde tiene sus costas y sus interacciones con las cuencas de los ríos Amazonas y Orinoco (García et al., 2012, p. 61).

Los cambios en la presión atmosférica asociados al fenómeno ENSO (El Niño Oscilación Sur) que se presenta en la ZCIT alteran la intensidad de los vientos alisios que viajan de este a oeste (Posada-Marín et al., 2023, pp.2,7), lo cual modifica el desplazamiento de las aguas superficiales calientes del océano Pacífico, acercándolas y alejándolas de las costas de Colombia y Suramérica, lo que genera épocas intensivas de lluvia -como manifestación del fenómeno de la Niña en Colombia asociada a vientos fortalecidos- o de sequía crítica durante el fenómeno del Niño (Posada-Marín et al., 2023, p.3). Además de esto, las oscilaciones de la ZCIT generan cambios en la temperatura de las aguas superficiales del Océano Atlántico, lo cual ocasiona cambios en el agua evaporada que entra a la zona continental de Suramérica y Colombia, determinando los regímenes de lluvia en diferentes cuencas (Sánchez, 2021, p.8).

El hecho de que Colombia albergue dentro de su territorio parte de las cuencas de los ríos Amazonas y Orinoco, dos de las más grandes del continente, configura una interacción

hídrica terrestre-atmosférica fundamental, la cual se sustenta en los conceptos de “cuenca atmosférica” (*precipitationshed*), y “reciclaje de humedad terrestre”. El primero, entendido como regiones dinámicas que aportan humedad atmosférica en forma de flujos aéreos – también conocidos como ríos aéreos- a la precipitación de cuencas hidrográficas específicas y que están formadas por procesos atmosféricos, influenciadas por la variabilidad estacional, los cambios climáticos, las coberturas y usos de la tierra y cuyos límites traspasan aquellos de las cuencas hidrográficas terrestres con las que interactúan (Posada-Marín et al., 2026, p. 2; Restrepo, 2026). Aunque en términos de la gestión ambiental de algunos territorios este concepto está más asociado a espacios geográficos delimitados por elementos del relieve que permiten caracterizar volúmenes de aire concentrados en un lugar y sus factores contaminantes (Quintero, 2022), en este trabajo se entenderá desde las dinámicas e interacciones hídricas que acontecen en el territorio.

El otro concepto relacionado con las cuencas atmosféricas que permite comprender las interacciones hídricas entre la tierra y la atmósfera es el de reciclaje de la humedad terrestre (TMR por su nombre en inglés), el cual hace referencia a la humedad proveniente de procesos de evaporación (del suelo, cuerpos de agua continentales, evapotranspiración) que suceden desde la superficie terrestre y al transporte de estas masas de vapor de agua que posteriormente se precipitan en otros lugares. El TMR puede contribuir con más del 30% de la precipitación de importantes cuencas hidrográficas tropicales, como por ejemplo la cuenca del Amazonas (Posada-Marín et al., 2026, p. 2).

Bajo la lógica de estos conceptos, es posible comprender la conexión hídrica entre las cuencas de los ríos amazonas, Orinoco y Magdalena que definen varias de las condiciones de contorno del humedal Torca Guaymaral. La evidencia científica indica que la cuenca del río Magdalena —núcleo poblacional y económico del país— es funcionalmente dependiente de la dinámica biótica de parte de la Amazonía y los Llanos orientales (Orinoquía) -cuyos límites trascienden el territorio nacional y se extienden hacia Venezuela, Guyana, Surinam y Brasil-.

Esta dependencia radica en que un 29.9% de la precipitación media que ocurre en la cuenca del río Magdalena proviene del reciclaje regional de humedad generado en estas selvas y sabanas externas (Posada-Marín et al., 2026, p. 6). Así, la Amazonía y la Orinoquía actúan como una importante condición que envía vapor a través de ríos aéreos que eventualmente alimentan los drenajes andinos, razón por lo cual la pérdida de su cobertura vegetal por procesos de deforestación representa un riesgo permanente para la seguridad hídrica nacional, pues tiene el potencial de modificar estructuralmente el sistema que produce la lluvia en sumideros críticos como las cuencas del Magdalena-Cauca.

En este sentido, el hecho de que los sistemas naturales de la Amazonia y el Orinoco trasciendan los límites del territorio colombiano implica que la seguridad hídrica no es una condición que dependa de la autonomía de los procesos físicos del agua, sino que se ve influenciada por una compleja red de interdependencia transfronteriza regida por la atmósfera y que continúa configurando las condiciones de contorno del humedal Torca Guaymaral, el cual depende de que estos flujos de vapor logren condensarse en los Andes. En este escenario, se manifiesta la interdefinibilidad entre los sistemas físicos y los sistemas sociopolíticos de varios países, pues las estabilidad del ciclo del agua en Colombia es vulnerable a condiciones externas que intervienen en los procesos de deforestación, las cuales incluyen los conflictos alrededor de los usos del suelo en diferentes países, las demandas por recursos mineros y forestales, a su vez en interacción con factores gubernamentales y normativos que determinan las coberturas vegetales de estas cuencas y que en Colombia además están permeados por conflictos armados y/o los procesos de paz. En consecuencia, los flujos del agua se convierten en condición socionatural (Bolenez et al., 2011, p.64) y la disponibilidad hídrica en el contexto local se revela como una propiedad emergente de una dinámica continental que además pone de manifiesto relaciones de poder y marcos legales que operan en escalas superiores. Esta dinámica hídrica transnacional, desafía entonces el paradigma tradicional de la soberanía

hidrológica, evidenciando la necesidad de marcos de gobernanza que reconozcan los flujos de humedad atmosférica (Posada-Marín et al., 2026, p. 11).

La conexión natural entre las cuencas Amazonas-Orinoco-Magdalena, se ve influenciada además por fenómenos de variabilidad climática como el ENSO y las oscilaciones de la Zona de Confluencia Intertropical (ZCIT). Durante las fases del Niño, los vientos alisios que transportan la humedad desde el Atlántico hacia el interior del continente se debilitan, lo que genera un déficit de vapor de agua y disminuye las precipitaciones en la región amazónica y la Orinoquía. Como consecuencia, la tasa de evapotranspiración se reduce y así mismo el reciclaje regional de humedad (Posada-Marín et al., 2026, p. 2,6), provocando reducciones en los caudales de los ríos andinos en promedio del 26% para la cuenca del Magdalena-Cauca (García, et al., 2012, p. 61) y en la recarga de los ecosistemas locales. En contraste, durante el fenómeno de La Niña, los vientos alisios fortalecidos y la advección de humedad oceánica y continental saturan el sistema, lo que ocasiona picos de precipitación y crecientes extremas que en ocasiones sobrepasan la capacidad de regulación de los sistemas sociales, económicos y ambientales locales, los cuales presentan amplia vulnerabilidad a estas variaciones climáticas (García, et al., 2012, p. 61).

Adicional a los aportes de cuencas externas, el suministro hídrico a la región andina y la Sabana de Bogotá se sustenta significativamente en la configuración del relieve de la Cordillera Oriental y los Cerros Orientales que interceptan los vientos húmedos y permiten el reciclaje local de la evapotranspiración generada por los orobiomas andino, subandino y páramo, los cuales constituyen el 93% de la cuenca del río Bogotá (Anla, 2020, p.9), generando, de esta manera, los patrones de lluvia que alimentan los cauces y reservorios subterráneos de la cuenca. También, los niveles freáticos poco profundos facilitan el intercambio vertical de agua, permitiendo que humedales como el Torca Guaymaral mantengan una dinámica hídrica constante y un efecto regulador sobre las condiciones climáticas locales (SDA et al, 2022).

Las condiciones físicas descritas, le otorgan al país una gran riqueza hídrica. Sin embargo, su distribución en el territorio es dispar. Mientras cuencas como la Amazonía y la Orinoquía presentan una amplia disponibilidad neta de agua, su población y actividad económica es muy baja con relación a la zona andina, la cual concentra el 70% de la población y el 85% del PIB, pero sólo un 10% de la oferta hídrica nacional (Rojas, 2011, p. 283). Esta disparidad, permite comprender otro aspecto fundamental que describe la dinámica hídrica en Bogotá, pues más allá de las conexiones atmosféricas que vinculan distintas regiones del país, para compensar la demanda y la oferta hídrica, Bogotá ha debido expandir su sistema de abastecimiento unificando cuencas hidrográficas de forma artificial mediante obras de captación, regulación y conducción de agua.

Así, según el Reporte de análisis regional de la Subzona Hidrográfica del Río Bogotá publicado por la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales (2020, p. 163,164), el Sistema Chingaza capta y regula aguas provenientes de la cuenca del río Guatiquía, ubicada en la vertiente oriental de la Cordillera Oriental -que hace parte de la macro cuenca del río Orinoco-, para conducirlas hacia Bogotá y abastecer aproximadamente al 70% de la ciudad. Además del abastecimiento, este trasvase también implica que una proporción significativa de la dinámica hídrica urbana —incluidos los consumos, pérdidas y vertimientos que llegan al río Bogotá y a su planicie de inundación— procede de un sistema hídrico externo, técnicamente conducido a través de la barrera andina (ANLA, 2021, p.163,164).

De esta manera, la Cordillera de los Andes y los Cerros Orientales de Bogotá se constituyen en condiciones organizadoras de los flujos de agua -naturales y transferidos por infraestructura- de la ciudad, al actuar como áreas de aporte primarias, cuya vegetación intercepta la humedad vertical (lluvia) y horizontal (niebla), y la transfiere a quebradas tributarias del río Bogotá, como son la quebrada San Juan y la quebrada Patiño, las cuales a su vez transportan agua y sedimentos a la planicie fluviolacustre de la Sabana de Bogotá, alimentando así, unidades funcionales de acumulación, como lo es el Humedal Torca

Guaymaral (SDA et al, 2022, p.45). De esta manera, el Humedal Torca Guaymaral se organiza como una estructura disipativa en cuanto tiene el potencial de regular la oferta hídrica y mitigar las condiciones climáticas extremas dada su capacidad de retención de agua (SDA, 2022, p.27; García, 2006, p.131; Capra, 1996, pp.103-107).

Para efectos de este trabajo, entonces, se ubicará el Humedal Torca Guaymaral a partir de los límites geográficos que lo reglamentan, pero la dinámica hídrica que lo describe trascenderá la mera descripción cartográfica para conceptualizarlo como un "recorte de la realidad" (García, 2006, pp. 95-98), asumido como una totalidad organizada cuyos límites no son fronteras estáticas, sino condiciones dinámicas definidas por las relaciones de su funcionamiento interno.

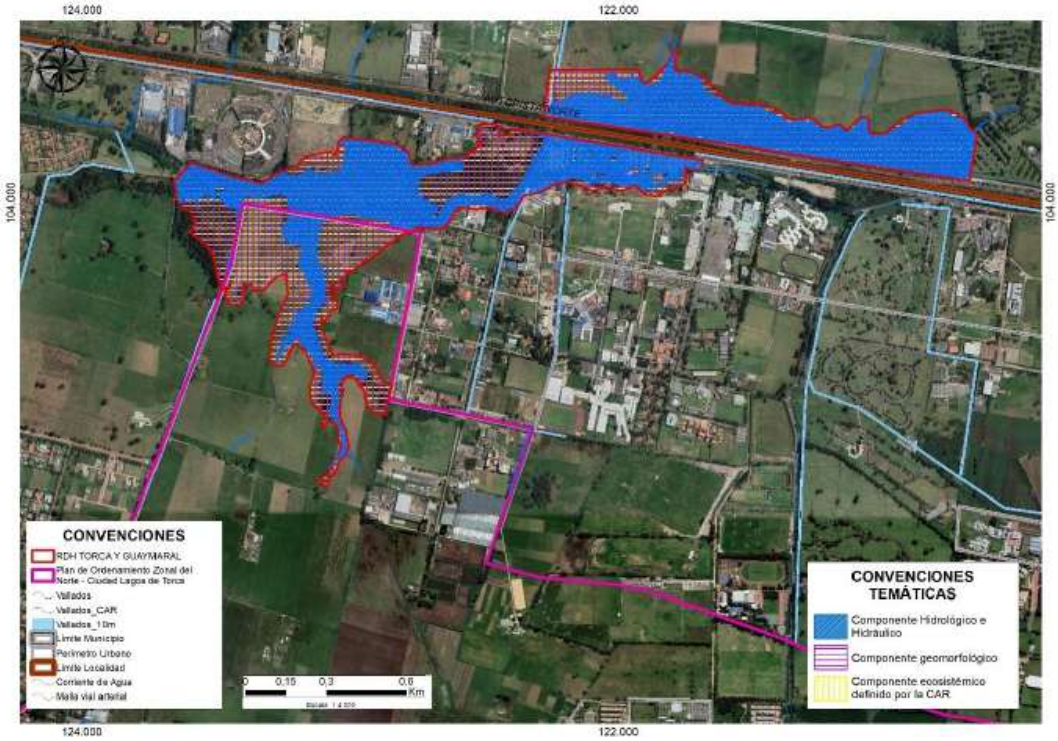
Geográficamente, este sistema se ubica en el extremo nororiental de la ciudad de Bogotá, como parte de la planicie de inundación del río Bogotá, un valle de alta montaña a 2.600 m.s.n.m y se encuentra fracturado por la Autopista Norte, que divide el ecosistema en el sector Torca, ubicado al oriente de la avenida y perteneciente administrativamente a la localidad de Usaquén, y el sector Guaymaral, al occidente de la Autopista, como parte de la localidad de Suba (Figura 2). Los humedales Torca y Guaymaral comprenden un área de 96,83 hectáreas de un sistema ripario según el decreto 555 de 2021 (SDA et al, 2022, p.36), pero en términos de su dinámica se desarrolla en constante interacción con el suprasistema de los Cerros Orientales que actúan como sus áreas de aporte, como se mencionó anteriormente, mediante las quebradas San Juan y Patiño, y con el cauce del río Bogotá, que constituye su límite de evacuación y retorno de aguas (SDA et al, 2022, p. 4).

Esta organización estructural jerárquica le otorga al humedal unas características particulares. En zonas de baja pendiente, la energía de las corrientes de agua disminuye y con ella su capacidad de transporte, generando procesos de acumulación y depósito de sedimentos que dan lugar a la formación de abanicos aluviales, conos de deyección y deltas lacustrinos, constituidos por depósitos de entre 3 y 5 metros de arcillas y limos que le otorgan una alta

capacidad de retención de agua (SDA et al, 2022, pp.7,63). Esta composición no sólo define la estructura del suelo, sino que condiciona los flujos de agua horizontales y verticales en el sistema consolidando su función como regulador hídrico y climático.

Figura 2.

Superposición de los polígonos hidrológico, geomorfológico y ecosistémico de los Humedales de Torca y Guaymaral



En términos de Prigogine, 1971, referenciados en García (2006, p. 65) y Capra (1996, pp.105-107), se puede entender el límite físico del sistema Torca Guaymaral como la interfase de una estructura disipativa que permite un continuo intercambio de materia y energía con el entorno, donde la presencia de una superficie freática a poca profundidad (nivel freático somero) facilita un intercambio vertical de agua filtrando agua hacia abajo cuando los aportes de agua son bajos y por el contrario, liberarla hacia la superficie cuando el sistema está sobresaturado. Esta condición, además, posibilita la existencia de vegetación hidrófita y riparia

que aporta a la regulación de las dinámicas climáticas locales mediante varios mecanismos. Uno de ellos es la barrera física que componen las formaciones leñosas y herbáceas densas de la vegetación de ribera que aumentan la rugosidad del terreno, lo que disminuye la velocidad de la escorrentía superficial y de las corrientes en canales y quebradas en eventos de picos de precipitación. Al frenar el agua, se facilita que el excedente hídrico se distribuya en zonas de retozo (áreas de inundación temporal) (SDA et al, 2022, pp.27,29,86), reduciendo el riesgo de desbordamiento en zonas urbanas como la Autopista Norte.

Por otro lado, las especies hidrófitas son las principales encargadas de procesar la materia orgánica que fluye desde los Cerros Orientales, ya que están adaptadas biológicamente para tolerar suelos saturados. Por ejemplo, los sistemas radiculares de especies como la Enea (*Typha*) y el Junco (*Schoenoplectus*) forman una intrincada red en el suelo del humedal que retiene y fija los lodos y sedimentos finos transportados desde los cerros, facilitando su acumulación en zonas específicas y evitando que el vaso del humedal se colmate aceleradamente o que sigan fluyendo hacia el rio Bogotá (SDA et al, 2022, p.52). Estas raíces, actúan además como condiciones de fitorremediación, pues algunas de ellas absorben y fijan en su estructura nutrientes que se acumulan en exceso (Nitrógeno y Fósforo provenientes de fertilizantes) y contaminantes disueltos, depurando el agua antes de que esta se deposite al acuífero somero o siga su curso hacia el río (SDA et al, 2022, p.52).

A través de la evapotranspiración, las plantas transfieren agua desde el suelo a la atmósfera, lo que ayuda a mantener el intercambio vertical continuo con el entorno, pero además, las franjas de vegetación riparia crean corredores biológicos que se constituyen en albergue permanente o temporal para diversidad de especies de fauna, que permiten su movilidad entre los cerros y el humedal, favoreciendo la conectividad a escalas local y regional mediante el intercambio genético y la dispersión de semillas. Según la convención Ramsar (2015), citado en BIOCARBON CERT et al. (2025), pese a que los humedales ocupan sólo el 9% de la superficie terrestre, almacenan aproximadamente el 35% del carbono, gran parte,

constituido por la alta productividad vegetal, la cual aporta biomasa aérea y subterránea, madera muerta y hojarasca que, bajo condiciones de saturación, tienden a descomponerse lentamente y a incorporarse a los suelos y sedimentos del humedal, otorgándoles propiedades físicas particulares y al contener una fracción orgánica importante, participan en la configuración del vaso, los litorales y la ronda; condiciones que, a su vez, inciden en la permanencia del agua, la formación de hábitats acuáticos y semiacuáticos, la formación de bancos de semillas y el mantenimiento del balance hídrico del ecosistema (BIOCARBON CERT et al., 2025, pp.9,23-25; SDA et al, 2025, pp.15,44,52)

Así, la vegetación dinamiza el funcionamiento del sistema como estructura disipativa, manteniendo un equilibrio fluyente entre las condiciones del suelo, los flujos hídricos, la movilidad de biodiversidad y mitigando las condiciones climáticas extremas, como parte de un entramado de interdifinibilidad con las demás condiciones del sistema.

De esta manera, la capacidad de regulación de los flujos de agua, la mitigación de las fluctuaciones del clima, el mantenimiento de la biodiversidad y de los flujos tróficos por alimentación, emergen como propiedades no asociadas a una condición o elemento particular del humedal Torca Guaymaral, sino como manifestaciones de las interacciones entre las condiciones físicas, químicas, biológicas y humanas que tienen lugar dentro de lo que en términos de García (2006, p. 21) constituye un recorte de la realidad compleja, pero también de esta, con las escalas superiores de organización que lo contienen. Dichas interacciones se han ido configurando y reconfigurando de forma no lineal a través del tiempo (desde la orogenia hasta el presente), en un equilibrio fluyente a partir de los intercambios de materia y energía, como una totalidad organizada en la cual, si una condición cambia, también lo harán las propiedades que le otorgan la identidad Humedal (Capra, 1996, p. 48).

No obstante, este funcionamiento se ha visto influenciado por perturbaciones de suprasistemas de segundo y tercer nivel, las cuales tuvieron origen en el desconocimiento del ecosistema, en diversas actividades antrópicas, políticas públicas e intereses particulares que

incidieron en procesos irregulares de expansión urbana y la construcción de la Autopista Norte en el año 1956), las cuales han fracturado la conectividad ecosistémica (SDA et al, 2022, pp. 17-23, 33, 74) y por tanto la forma en que las condiciones se definen unas a otras (García, 2006, p. 87). En su momento, para mitigar la fractura en la conectividad hidráulica, se intervinieron corrientes naturales mediante vallados, *box culverts*, alcantarillas viales, canalizaciones y desviaciones de drenajes, obras que introdujeron superficies y geometrías artificiales de conducción que modificaron la relación del agua con la matriz natural de arcillas y limos de la planicie de inundación, alterando el trazado de los cauces, los procesos de sedimentación, la capacidad de absorción del suelo que posibilita el intercambio vertical de agua (absorber agua en picos de lluvia y su liberación a la superficie en tiempos de sequía) (SDA et al, 2022, p. 52) (Custodio y Llamas, 1938, p.268), con lo cual disminuye la capacidad del sistema para redistribuir las masas de agua y sedimentos y amortiguar así la variabilidad climática (SDA et al, 2022, p. 18).

Al ser intervenidas mediante canalizaciones, desviaciones y estructuras artificiales de conducción, algunas de ellas con materiales duros, las corrientes naturales modificaron su trazado y su relación con la geomorfología propia del humedal. Estas transformaciones alteraron los procesos de erosión y sedimentación del sistema hídrico, aumentaron el depósito de sedimentos en las zonas topográficamente más bajas ocasionando una colmatación acelerada que deriva en la pérdida de espejos de agua y con esto, la reducción de hábitats potenciales para las especies, pero también la desconexión hídrica entre los cauces y el humedal (SDA et al, 2022, pp. 18,29).

Los *box culvert*, por su parte, instalados bajo la Autopista Norte y la Carrera Séptima, limitan la cantidad de agua que puede pasar de un sector a otro (por ejemplo, del sector Torca al Guaymaral). Cuando el volumen de agua supera la capacidad del cajón, el agua retrocede o se desborda sobre la vía en lugar de distribuirse en las áreas de retozo. (SDA et al, 2022, p. 18,19).

A estas perturbaciones por ingeniería civil, se suman a la introducción de suelos de relleno que en algunas zonas alcanzan los cinco metros de altura, condición que ha transformado la estructura del suelo original, convirtiéndolo en un bloque compacto e impermeable que favorece el desarrollo urbanístico, pero lo aísla de sus funciones de regulación hídrica, de sostenimiento de la biodiversidad y su consecuente mitigación climática. (SDA et al, 2022, pp. 38,16,20,22). Paralelamente, el ecosistema del humedal recibe parte de los vertimientos de la ciudad, los cuales poseen una alta carga de nutrientes y contaminantes orgánicos (nitrógeno y fósforo), lo que ha desencadenado procesos de eutrofización que generan colmatación excesiva y anoxia en los espejos de agua, amenazando la supervivencia de fauna nativa como la Tingua Bogotana (*Rallus semiplumbeus*), el Capitán de la Sabana (*Eremophilus mutisii*) y la guapucha (*Grundulus bogotensis*). Este hecho, a su vez, favorece el éxito de especies introducidas e invasoras que terminan desplazando la flora nativa y por lo tanto afectando los flujos tróficos y la biodiversidad (SDA et al, 2022, pp. 9, 12-18, 21–38).

Pese a que el humedal Torca Guaymaral aún conserva algunas propiedades que dan continuidad a su funcionalidad ecológica e hídrica, dado aún albergan y provee recursos para fauna sensible, endémica, amenazada y migratoria (SDA et al, 2022, p.2), las perturbaciones provenientes tanto del suprasistema climático global como de las decisiones técnicas y administrativas adoptadas a escala local han excedido progresivamente su flexibilidad para reorganizarse. Esta pérdida de flexibilidad se expresa en la disminución de su capacidad para regular los flujos de agua mencionadas en los párrafos anteriores y, al mismo tiempo, en la limitada capacidad de los sistemas humanos locales para responder ante emergencias durante picos de precipitación, como el ocurrido el 6 de noviembre de 2024. Durante este evento, según reportó el alcalde de Bogotá, Carlos Galán, el sistema recibió cerca de 90 litros de agua por metro cuadrado, una precipitación que sobrepasó la capacidad de retención del humedal Torca Guaymaral y produjo una fuerte inundación que colapsó el tráfico y dejó a varios ciudadanos atrapados en el agua hasta altas horas de la madrugada (Neira, 2024; Quintero, 2024). De

acuerdo con Neira (2024), el meteorólogo de apellido Euscátegui indicó que este pico de precipitación estuvo relacionado con el enfriamiento de las aguas del océano Pacífico tropical, condición asociada con la posible consolidación del fenómeno de La Niña. Sin embargo, el evento no puede explicarse únicamente por la variabilidad climática. Ya en 2022, la Secretaría Distrital de Ambiente había reportado que la mayoría de los cauces de la cuenca y de las estructuras hidráulicas de cruce vial no contaban con la capacidad suficiente para soportar un evento de máxima precipitación con periodo de retorno de 100 años —Tr 100 años— (SDA et al, 2022, p.19).

Este escenario pone de manifiesto que las reorganizaciones del sistema no corresponden a una evolución lineal, en la que a una causa aislada pueda atribuírsele una consecuencia directa. Por el contrario, las perturbaciones que afectan una de sus condiciones inciden sobre todo el entramado de relaciones que sostiene su funcionamiento. En consecuencia, el devenir histórico y la identidad del humedal no dependen solamente de sus transformaciones internas, sino también de las transformaciones – a diferentes escalas espaciales y temporales- de los macrosistemas de los que hace parte y que constituyen sus condiciones de contorno, lo cual introduce un carácter de impredictibilidad en su dinámica. Como lo explica García, (2006, p.51), “la acción de una perturbación tiene, en general, una escala temporal diferente al tiempo de reacción del sistema”, de forma que “una modificación relativamente lenta de las condiciones en los límites puede producir efectos súbitos en un sistema que está cerca del Umbral de inestabilidad”, como ocurrió en el Humedal en el evento del 6 de noviembre.

Desde esta perspectiva, la fragmentación física del humedal y la modificación de la estructura del suelo expresan también una forma parcializada de acoplamiento con el territorio: un territorio cognitivo restringido (Capra, 1996, p. 279), desde el cual el sistema fue interpretado principalmente como soporte de conectividad vial, expansión urbanística y aprovechamiento

agropecuario, y no como una red compleja de relaciones hídricas, ecológicas, edáficas y climáticas.

Dicho territorio cognitivo ha determinado el devenir histórico del sistema, pues ha orientado decisiones técnicas, económicas, administrativas y legales que hicieron posible el cambio de uso del suelo, la interrupción de la continuidad hidráulica y la simplificación funcional del humedal. En lugar de ampliar el campo de interacciones con el ecosistema para reconocer su flexibilidad, sus umbrales y sus propiedades reguladoras, estas decisiones redujeron progresivamente las posibilidades de acoplamiento estructural entre los sistemas humanos y el humedal (Capra, 1996, p.278). Así, los intercambios de materia y energía entre ambos sistemas —expresados en obras de infraestructura, drenajes, rellenos, canalizaciones, vertimientos, urbanización y transformación agropecuaria— se han constituido en perturbaciones que exceden la flexibilidad del sistema -incluida su infraestructura hidráulica-, para mantener su organización.

Como resultado, el humedal parece transitar hacia un nuevo régimen dinámico, con una identidad diferente y potencialmente catastrófica, que podría llegar a ser irreversible si continúa por la misma ruta de bifurcación (Laszlo, 2009, p. 52). Ante perturbaciones extremas, como los eventos de altas precipitaciones asociados a la dinámica climática global, el humedal ya no responde plenamente como sistema regulador de los flujos hídricos, del clima local y de la biodiversidad. En cambio, tiende a simplificarse funcionalmente como soporte físico de la infraestructura urbana y como canal artificial de desagüe, cuyas propiedades emergentes se expresan en el colapso de las mismas dinámicas urbanas que impulsaron su transformación, como se evidenció en la inundación de noviembre de 2024 y en eventos similares posteriores.

La revisión desarrollada permite reconocer que los sistemas complejos no pueden comprenderse desde aproximaciones que fragmentan la realidad y aíslan sus componentes para estudiarlos de manera independiente. Si bien la profundización disciplinar continúa siendo indispensable para el desarrollo del conocimiento científico, resulta insuficiente cuando los

fenómenos de interés emergen precisamente de las relaciones que se establecen entre procesos físicos, biológicos, sociales y culturales. En este sentido, los principios de totalidad, interdefinibilidad, dinámica evolutiva y organización jerárquica en redes de relaciones constituyen un marco conceptual que permite comprender la dinámica hídrica como una propiedad emergente del sistema y no como la simple suma de procesos hidrológicos independientes.

Desde esta perspectiva, el interés de la presente investigación no consiste en abarcar la totalidad del humedal ni en reducirla a un conjunto de variables aisladas, sino en delimitar un recorte de realidad que conserve las relaciones que le otorgan identidad y permitan comprender su organización. Esta decisión constituye el fundamento disciplinar sobre el cual se soporta la propuesta desarrollada en este trabajo

3.2. PROFUNDIZACIÓN PEDAGÓGICA

3.2.1 Los problemas de conocimiento como perspectiva para la construcción de conocimiento en ciencias

La necesidad de formar ciudadanos capaces de comprender e intervenir en los problemas que plantea el mundo contemporáneo ha puesto en evidencia importantes limitaciones de los modelos mecanicistas de enseñanza de las ciencias. Si bien estos han permitido importantes avances en la organización curricular y en la sistematización de los saberes escolares, también han favorecido, en muchos casos, una enseñanza estructurada principalmente alrededor de contenidos disciplinares. En consecuencia, no resulta extraño que los estudiantes logren apropiarse de conceptos específicos dentro de los límites de una asignatura y, aun así, no logren usarlos para la comprensión de situaciones reales.

Esta tensión adquiere especial relevancia cuando el interés se centra en fenómenos que, como los ecosistemas o la dinámica hídrica, no pueden comprenderse desde una única perspectiva disciplinar ni reducirse a relaciones lineales de causa y efecto. En estos casos, el problema no radica únicamente en la cantidad de conceptos involucrados, sino en la naturaleza misma del fenómeno, cuya organización depende de múltiples relaciones que se modifican permanentemente y cuya comprensión exige integrar dimensiones biológicas, físicas, químicas, sociales, históricas y culturales. Desde esta perspectiva, la pregunta pedagógica deja de centrarse exclusivamente en qué contenidos deben enseñarse y comienza a desplazarse hacia las condiciones que hacen posible construir conocimiento sobre fenómenos cuya complejidad desborda la estructura convencional del currículo escolar.

Es precisamente en este escenario donde la perspectiva de los Problemas de Conocimiento, desarrollada por el Grupo Eco-Perspectivas de la Universidad Pedagógica Nacional (Valencia et al, 2003) adquiere especial relevancia. Más que proponer una metodología o una secuencia para la enseñanza de las ciencias, esta perspectiva parte de una concepción particular del conocimiento científico y de su construcción en la escuela. Sus planteamientos se sustentan en reconocer la ciencia como una actividad cultural de construcción de representaciones del mundo natural y social, históricamente situada y socialmente legitimada, antes que como un conjunto acabado de verdades que deben ser transmitidas a las nuevas generaciones. Desde esta perspectiva, conocer no consiste en reproducir representaciones previamente construidas, sino en participar activamente en procesos de elaboración, transformación

y negociación de significados que permiten construir nuevas formas de relación con el mundo.

Asumir el conocimiento desde esta perspectiva implica también transformar la manera como se comprende la enseñanza de las ciencias. Si el conocimiento constituye una construcción cultural, la escuela deja de ser únicamente el escenario donde circulan saberes previamente legitimados y comienza a configurarse como un espacio donde dichos saberes pueden ser interrogados, confrontados y enriquecidos mediante la interacción entre las representaciones que maestros y estudiantes ponen en juego durante la actividad escolar. En este sentido, las prácticas de enseñanza dejan de orientarse exclusivamente por la apropiación de contenidos para privilegiar la construcción de explicaciones progresivamente más complejas sobre el mundo natural y social. La actividad científica escolar adquiere entonces un sentido distinto: no busca reproducir el camino seguido por la ciencia para producir determinados conocimientos, sino generar condiciones para que los estudiantes participen en procesos auténticos de construcción de explicaciones.

En coherencia con estos planteamientos, los Problemas de Conocimiento se configuran como una categoría que permite comprender la enseñanza de las ciencias desde una lógica distinta a la organización temática tradicional. Más que estructurar el currículo alrededor de conceptos aislados o de secuencias lineales de contenidos, esta perspectiva propone organizar la actividad del aula alrededor de preguntas cuya comprensión exige transformar progresivamente las formas de representar un fenómeno. El interés no recae sobre la acumulación de información ni sobre la apropiación fragmentada de conceptos disciplinares, sino sobre las transformaciones

que experimentan las explicaciones construidas por los sujetos a medida que el fenómeno es interrogado desde nuevas perspectivas. En otras palabras, el conocimiento no se entiende como un punto de llegada previamente definido, sino como el resultado de un proceso permanente de reorganización de las representaciones mediante las cuales los sujetos establecen relaciones con el mundo.

Esta manera de comprender la construcción del conocimiento encuentra uno de sus principales desarrollos en tres estrategias propuestas por Valencia et al. (2003) para construir explicaciones sobre el mundo natural: el cuestionamiento de la experiencia básica, la artificialización del mundo natural y la complejización de las relaciones. Estas estrategias no deben entenderse como etapas o secuencias metodológicas, sino que representan diferentes formas de profundizar en la comprensión de un fenómeno y de enriquecer progresivamente las relaciones que hacen posible explicarlo. En conjunto, configuran una manera particular de entender cómo se transforma el conocimiento durante la actividad científica escolar y ofrecen criterios para orientar las decisiones pedagógicas que acompañan dicho proceso.

La primera de estas instancias, el cuestionamiento de la experiencia básica (Valencia et al., 2003), parte del reconocimiento de que toda aproximación inicial a un fenómeno se encuentra mediada por formas cotidianas de comprender el mundo. Estas primeras representaciones, lejos de ser concebidas como obstáculos que deban sustituirse inmediatamente por explicaciones científicas, constituyen el punto de partida desde el cual el pensamiento comienza a movilizarse. La intención no es la de reemplazar dichas formas de comprensión, sino someterlas progresivamente a la tensión de nuevas preguntas, nuevas observaciones y relaciones que permitan

enriquecerlas. En este sentido, el conocimiento escolar deja de consistir en la sustitución de unas ideas por otras y pasa a entenderse como un proceso continuo de reorganización de las formas mediante las cuales los sujetos interpretan la realidad.

Por otro lado, la artificialización del mundo natural (Valencia et al., 2003) no se limita a reproducir experimentalmente un fenómeno ni en simplificar la realidad para facilitar su observación. Por el contrario, supone intervenir ciertas condiciones del fenómeno para hacerlo susceptible de nuevas preguntas. En este sentido, artificializar no significa alejarse de la realidad, sino construir condiciones que permitan establecer relaciones que, en las circunstancias habituales, permanecerían ocultas. El fenómeno deja entonces de presentarse únicamente como un objeto de contemplación para convertirse en un objeto de interrogación.

Esta forma de comprender la experiencia posee importantes implicaciones para la enseñanza de las ciencias. Tradicionalmente, el trabajo experimental ha ocupado un lugar privilegiado dentro de la actividad científica escolar; sin embargo, con frecuencia este se orienta a comprobar principios previamente conocidos o a ilustrar conceptos cuya explicación ya ha sido presentada por el maestro. Desde la perspectiva de los Problemas de Conocimiento, la artificialización supera el interés de verificar una teoría, para ampliar las posibilidades de interacción con el fenómeno, generando condiciones para que los estudiantes produzcan nuevas relaciones, identifiquen regularidades y transformen progresivamente las formas mediante las cuales explican aquello que observan. La experiencia deja entonces de desempeñar una función demostrativa para convertirse en un escenario de producción de conocimiento.

Sin embargo, la experiencia directa y los procesos de artificialización no garantizan por sí mismos la construcción de conocimiento. Su potencial depende de la configuración de ambientes comunicativos que hagan posible la circulación de preguntas, el contraste de interpretaciones y la construcción colectiva de explicaciones. Desde la perspectiva de los Problemas de Conocimiento, el sujeto "se configura a través de la palabra", razón por la cual hablar, escuchar, escribir y representar dejan de constituir actividades complementarias para convertirse en condiciones del propio proceso de conocer (Valencia et al., 2003.). En estos ambientes, la información deja de asumirse como un conocimiento acabado y comienza a comprenderse como un referente que "documenta las preguntas, amplía las experiencias y enriquece las explicaciones" (Valencia et al., 2003). Del mismo modo, el otro deja de ser únicamente un compañero de clase para convertirse en un interlocutor con quien es posible confrontar las propias representaciones, reconocer nuevas relaciones y construir significados compartidos. Desde esta perspectiva, la experiencia no solo transforma la relación de los estudiantes con el fenómeno estudiado, sino también con los textos, con los otros y consigo mismos, configurando el aula como un escenario de construcción colectiva de conocimiento.

La tercera estrategia que proponen los autores es la complejización de las relaciones (Valencia et al., 2003). A medida que el fenómeno es interrogado desde nuevas condiciones y mediante diversas formas de representación, las relaciones inicialmente construidas comienzan a reorganizarse. Nuevos elementos adquieren relevancia, aparecen interacciones que inicialmente habían permanecido invisibles y las explicaciones requieren integrar progresivamente diferentes escalas,

temporalidades y niveles de organización. Desde esta perspectiva, profundizar en un fenómeno no significa acumular información sobre él, sino enriquecer las relaciones que permiten comprenderlo.

Es precisamente este aspecto el que otorga unidad al enfoque de Problemas de Conocimiento. Las tres instancias anteriormente descritas no representan actividades independientes, sino diferentes formas de movilizar el pensamiento para la construcción de conocimiento. Cuestionar la experiencia básica, artificializar el fenómeno y complejizar las relaciones constituyen decisiones orientadas por la misma intención pedagógica de favorecer la transformación progresiva de las representaciones mediante las cuales los sujetos construyen explicaciones sobre el mundo.

En este sentido, los Problemas de Conocimiento constituyen una perspectiva que desplaza el interés de la enseñanza desde la transmisión de contenidos hacia la construcción progresiva de explicaciones sobre el mundo. Más que proponer una secuencia metodológica, ofrecen un horizonte pedagógico desde el cual la actividad científica escolar adquiere sentido como un proceso permanente de construcción de conocimiento.

3.2.2 Un método para el estudio de los sistemas complejos en condiciones de aula.

No obstante, asumir esta perspectiva conduce inevitablemente a un nuevo problema. Si los Problemas de Conocimiento proponen construir explicaciones progresivamente más complejas sobre un fenómeno, ¿cómo decidir sobre qué relaciones profundizar?, ¿cómo delimitar un fenómeno cuya naturaleza desborda las fronteras disciplinares del currículo escolar?, ¿cómo evitar que la complejidad termine convirtiéndose en un obstáculo para el trabajo en el aula? Estas preguntas comenzaron

a adquirir especial relevancia durante el diseño del presente trabajo, particularmente cuando el interés se centró en comprender la dinámica hídrica del humedal Torca–Guaymaral desde una perspectiva de la complejidad. El desafío ya no consistía únicamente en construir un problema de conocimiento, sino en encontrar criterios que permitieran aproximarse pedagógicamente a un sistema cuya organización depende de una red prácticamente inagotable de relaciones.

Fue precisamente en este punto donde la obra de Rolando García (2006) comenzó a adquirir un lugar central dentro del trabajo. Aunque su propuesta no fue concebida para orientar procesos de enseñanza ni responde a preocupaciones propias de la didáctica de las ciencias, ofrece una potente reflexión metodológica sobre las condiciones necesarias para estudiar sistemas complejos sin reducirlos a la suma de sus componentes. Lejos de constituir un referente pedagógico en sentido estricto, su forma de acercarse al sistema aportó criterios fundamentales para pensar cómo un sistema complejo puede transformarse en un objeto de conocimiento susceptible de ser interrogado en las condiciones particulares del aula. En este sentido, la articulación entre ambas perspectivas no surge de una intencionalidad común de los autores, sino de la posibilidad que cada una, desde su campo de actuación, ofrece para estructurar una propuesta de intervención en el aula. Mientras el enfoque de Problemas de Conocimiento aporta las condiciones pedagógicas para organizar procesos de construcción de conocimiento, la propuesta metodológica de García (2006) ofrece criterios para decidir cómo delimitar un sistema complejo para su estudio, sin perder de vista la organización que le otorga identidad.

Sin embargo, reconocer la necesidad de construir problemas de conocimiento alrededor de fenómenos complejos no resolvía, por sí mismo, una pregunta que terminó siendo determinante para este trabajo: ¿cómo estudiar un sistema complejo en las condiciones particulares de la escuela sin despojarlo de las relaciones que le otorgan identidad? El reto no consistía únicamente en seleccionar un fenómeno relevante para los estudiantes, sino en encontrar criterios que permitieran aproximarse a él conservando la complejidad que lo caracteriza y, al mismo tiempo, haciéndolo susceptible de ser interrogado en el aula. Fue precisamente en esta búsqueda donde la propuesta metodológica desarrollada por Rolando García adquirió un lugar central dentro de este trabajo.

Aunque la obra de García (2006) no fue concebida para orientar procesos de enseñanza de las ciencias, sino para el estudio científico de los sistemas complejos, sus planteamientos ofrecen elementos metodológicos particularmente valiosos para pensar cómo aproximarse a fenómenos cuya comprensión exige reconocer la organización de múltiples relaciones. Uno de los aportes más significativos corresponde al concepto de recorte de realidad (García, 2006, p. 81), entendido no como una simplificación del fenómeno ni como la selección arbitraria de algunos de sus componentes, sino como una decisión epistemológica mediante la cual se delimita una totalidad organizada que conserva las relaciones fundamentales necesarias para comprender el problema. En consecuencia, el recorte no busca reducir la complejidad del sistema, sino hacer posible su estudio a partir de una pregunta que determina cuáles relaciones adquieren centralidad sin perder de vista la organización del conjunto.

Esta manera de comprender la delimitación del objeto de estudio resultó especialmente significativa para este ejercicio. En lugar de fragmentar el humedal Torca–Guaymaral en componentes independientes o de seleccionar únicamente algunos contenidos curriculares para abordarlo, el interés se centró en identificar redes de relaciones que permitiera constituir la dinámica hídrica como objeto de conocimiento. Desde esta perspectiva, el humedal no se convirtió en un contexto para enseñar determinados conceptos de ciencias, sino en una totalidad organizada susceptible de ser interrogada a diferentes escalas, manteniendo siempre como referente las relaciones que explican su funcionamiento. Así, la delimitación del objeto de estudio dejó de responder a una visión fragmentada, estructurada por el currículo y pasó a fundamentarse en las relaciones que resultaban necesarias para comprender el problema construido colectivamente en el aula.

Otro elemento de la propuesta de García (2006, p. 67,83) que aportó importantes criterios para el diseño de la intervención corresponde al diálogo permanente entre los procesos de integración y diferenciación. Lejos de representar momentos sucesivos o excluyentes, ambos constituyen operaciones complementarias mediante las cuales se va construyendo progresivamente el conocimiento sobre un sistema complejo. La integración constituye un primer acercamiento al sistema como una totalidad organizada, permitiendo reconocer aquellas relaciones que, en una primera aproximación, comienzan a configurarse como observables capaces de dar cuenta de su organización e identidad. Es precisamente a partir de estas primeras relaciones que los procesos de diferenciación orientan la profundización de la mirada, permitiendo comprender con mayor detalle aquellas interacciones que, de acuerdo con

la intencionalidad del estudio, resultan especialmente significativas. En este punto tiene lugar la profundización disciplinar; sin embargo, esta ya no responde a una lógica de fragmentación del conocimiento, sino a la necesidad de comprender con mayor precisión las relaciones que configuran el sistema, de manera que el estudio de procesos o componentes particulares adquiere sentido únicamente en función de las interacciones de las que hacen parte. Las comprensiones construidas durante la diferenciación se integran nuevamente para elaborar una explicación más amplia del sistema, dando inicio a un nuevo proceso de integración y diferenciación que se desarrolla de manera permanente hasta alcanzar un nivel de comprensión suficiente, según sea la intencionalidad del estudio.

Esta comprensión resultó especialmente valiosa para resolver una de las tensiones que acompañó el desarrollo de este trabajo desde sus primeras etapas: la aparente oposición entre la necesidad de profundizar en determinados conceptos científicos y el interés por conservar una comprensión compleja del humedal. Desde la perspectiva propuesta por García (2006), dicha tensión pierde sentido, pues la profundización disciplinar deja de responder a la lógica de un currículo organizado por contenidos y pasa a justificarse por las demandas que plantea el propio sistema complejo. Son las preguntas que emergen durante el ejercicio las que orientan qué aspectos requieren ser diferenciados y hasta dónde resulta pertinente profundizar en ellos antes de volver a integrarlos dentro de la comprensión del conjunto.

Es precisamente en este punto donde ambas perspectivas encuentran un espacio de articulación. Mientras el enfoque de los Problemas de Conocimiento (Valencia et al., 2003) proporciona el horizonte pedagógico desde el cual se comprende

la construcción del conocimiento como un proceso de transformación progresiva de las formas de explicar el mundo, la propuesta metodológica de García (2006) aporta criterios para decidir cómo aproximarse a un sistema complejo sin reducirlo a la suma de sus componentes. En otras palabras, una perspectiva orienta las condiciones pedagógicas para que el conocimiento pueda construirse en la escuela; la otra ofrece criterios metodológicos para delimitar el fenómeno, organizar su estudio y decidir sobre qué relaciones profundizar en función del problema construido. Lejos de constituir propuestas independientes, ambas resultaron profundamente complementarias para hacer posible que un sistema complejo como el humedal Torca–Guaymaral pudiera transformarse en un objeto de conocimiento escolar.

Desde esta articulación fue posible comprender que el propósito de la intervención no consistía en enseñar el humedal ni en desarrollar una secuencia de contenidos relacionados con los ecosistemas. El interés se centró, más bien, en generar las condiciones para que los estudiantes construyeran progresivamente un problema de conocimiento alrededor de la dinámica hídrica, interrogando un sistema complejo mediante procesos continuos de diferenciación e integración que permitieran complejizar sus formas de comprenderlo. Bajo esta perspectiva, tanto el humedal como los conocimientos científicos previstos curricularmente dejaron de constituir fines en sí mismos para convertirse en elementos que, en permanente diálogo, hicieron posible la construcción de nuevas explicaciones sobre un fenómeno del que los propios estudiantes hacían parte.

4. INTERVENCIÓN EN EL AULA

En este capítulo se presentan las condiciones institucionales en las que se desarrolló la propuesta —los tiempos, los espacios, los recursos y los actores involucrados—, junto con las decisiones pedagógicas que orientaron el diseño de cada una de las fases de intervención. Más que describir una secuencia de actividades, el propósito es hacer explícitas las condiciones que hicieron posible configurar la dinámica hídrica del humedal como un problema de conocimiento en el contexto escolar.

La intervención se desarrolló en el Gimnasio Colombo Británico Bilingüe Internacional (GCB), institución privada ubicada en el sector de Guaymaral, Bogotá, en la cual la enseñanza de las ciencias naturales se realiza completamente en inglés con una intensidad de una hora diaria. El trabajo curricular articula los lineamientos del Ministerio de Educación Nacional, el currículo Cambridge International para secundaria básica y el marco pedagógico de Enseñanza para la Comprensión, buscando promover tanto la apropiación de conocimientos científicos como su utilización en contextos reales.

Estas condiciones configuran un escenario particularmente exigente para el trabajo docente. Por un lado, la institución promueve proyectos interdisciplinarios orientados al estudio de problemas del entorno y, durante el tiempo de implementación de esta propuesta, el proyecto de grado sexto estuvo centrado en la dinámica del humedal Torca–Guaymaral y su relación con las inundaciones de la Autopista Norte. Por otro, el cumplimiento de un currículo amplio y la preparación permanente para pruebas estandarizadas generan una tensión constante entre la profundización

conceptual, el desarrollo de habilidades y el tiempo disponible para experiencias de aprendizaje más abiertas y contextualizadas.

A pesar de estas tensiones, el colegio dispone de condiciones favorables para el desarrollo de propuestas de esta naturaleza. Los estudiantes trabajan habitualmente mediante estrategias cooperativas, cuentan con acceso permanente a recursos tecnológicos y la institución dispone de laboratorios y espacios naturales que amplían significativamente las posibilidades para el trabajo experimental y las experiencias directas fuera del aula. Estas condiciones hicieron posible el diseño e implementación de la intervención descrita en los apartados siguientes.

4.1 CARACTERIZACIÓN DE LOS ACTORES

La ruta de intervención fue implementada en cinco cursos de grado sexto, cada una conformado por 25 estudiantes, niños y niñas de entre 12 y 13 años de edad, quienes usualmente están organizados en grupos cooperativos. En general son estudiantes muy comprometidos con su proceso académico, se interesan por su aprendizaje, son participativos y dedicados con el trabajo en el aula y en casa, considerando las particularidades de la edad. Están habituados a la exigencia académica y a realizar principalmente trabajo dentro del salón, por lo que en ocasiones pueden mostrarse apáticos a otras actividades (diferentes al juego libre) que les implique movilizarse por fuera de este o del colegio; por ejemplo, el desplazamiento por trayectos externos o el abandono de cierto grado de comodidad. Aún así, suelen responder con compromiso a las actividades propuestas. En general, les emocionan las

visitas al laboratorio y la mayoría de las veces las dinámicas propuestas transcurren según lo planeado.

En la mayoría de los casos siguen instrucciones adecuadamente, pero los retos creativos les implican mayor dificultad, por lo que requieren un acompañamiento más enfocado en términos de proponer soluciones innovadoras a problemas planteados o la construcción de explicaciones respecto a entornos poco predecibles o concretos.

4.2 DESCRIPCIÓN DE LA PROPUESTA

4.2.1 Aspectos generales

La propuesta de intervención que se describe en este capítulo estuvo orientada por los lineamientos metodológicos planteados por García (2006) para el estudio de los sistemas complejos. En este sentido, la ruta se estructuró siguiendo un diálogo permanente entre integración y diferenciación que permitió enmarcar las exigencias de desarrollo disciplinar propias del currículo desde una perspectiva de la complejidad. Dicha dinámica fue desarrollada desde los refrentes epistemológicos y los criterios de actuación de los Problemas de Conocimiento, entendiendo la construcción de explicaciones como un proceso progresivo de reorganización de las representaciones sobre el fenómeno estudiado.

La ruta incluyó una actividad desencadenante en el sentido propuesto por Valencia et al (2003) detallado en la profundización pedagógica de este trabajo; así, la propuesta inició con una experiencia directa en un sector del Humedal Torca–Guaymaral, buscando enriquecer las posibilidades explicativas de un lugar cotidiano y cercano a los estudiantes, pero poco observado por ellos.

4.2.2 Ruta de intervención en el aula Del territorio al aula: Pensar la trama de relaciones entre el agua, el suelo y la vida en el humedal Guaymaral

Las actividades de intervención buscaron que los estudiantes de grado sexto del Gimnasio Colombo Británico se aproximaran al estudio del agua desde sus propiedades, sus flujos y sus interacciones con las geoformas, el suelo, el aire, la biodiversidad y las actividades humanas presentes en un ambiente natural. El propósito fue que, al finalizar la ruta, pudieran integrar estos elementos para construir explicaciones sobre algunos de los procesos que permiten comprender el agua como una condición ecológica fundamental para la configuración y dinámica del humedal Torca–Guaymaral.

Para ello se estructuraron tres fases de intervención, las cuales se describen a continuación y se resumen en la Tabla 1

Fase I. Historia del humedal y cuestionamiento de la experiencia

La primera fase fue diseñada con el propósito de captar la atención de los estudiantes sobre el Humedal Torca–Guaymaral, un lugar que hace parte de su entorno cotidiano, pero sobre el cual la mayoría conocía muy poco y rara vez se había detenido a observar. El interés principal consistió en propiciar el cuestionamiento de la experiencia básica y favorecer la formulación de preguntas sobre su origen, dinámica y transformación.

La fase inició con una caminata por uno de los sectores del humedal, guiada por profesionales de la Secretaría Distrital de Ambiente. Durante el recorrido se focalizó la atención en la vegetación, los pequeños organismos, los vestigios de procesos ecológicos y las relaciones que comenzaban a evidenciarse entre ellos. Mediante un proceso dialógico, los estudiantes compartieron observaciones, formularon preguntas,

relacionaron lo observado con experiencias previas y comenzaron a construir explicaciones sobre algunas funciones ecológicas del humedal y su relación con la ciudad.

Posteriormente, algunas de las situaciones observadas durante la salida fueron retomadas mediante una exploración con Google Earth, que permitió ampliar la escala de análisis para comprender la formación de las geoformas, la cordillera Oriental y el relieve de Bogotá. A partir de este recorrido se establecieron relaciones entre la circulación del agua, las formas del terreno, las características del suelo y la localización del humedal.

Como resultado de estas experiencias se formularon tres preguntas que orientaron el desarrollo de las fases posteriores:

- ¿Cómo se relaciona la circulación del agua con las formas de la tierra, la composición del suelo y la vegetación?
- ¿Cómo se relacionan la estructura, las propiedades y los cambios de la materia con la contaminación del agua en el humedal?
- ¿Cuáles son las relaciones entre el agua, la calidad del suelo y la biodiversidad?
-

Fase II. Artificialización y montajes para el estudio del Humedal Guaymaral

Una vez construido un panorama general del sistema, la segunda fase estuvo orientada a profundizar en algunas de las relaciones identificadas durante la etapa anterior mediante procesos de artificialización y experimentación.

Para ello se desarrollaron tres montajes experimentales enfocados en el estudio de propiedades particulares del agua: el cambio de volumen durante la congelación, la tensión superficial y la capilaridad, comparando su comportamiento con diferentes

sustancias y soluciones. Antes de cada experiencia, los estudiantes analizaron información teórica en distintos formatos y formularon predicciones sobre los resultados esperados.

Los experimentos fueron desarrollados tanto en casa como en los laboratorios del colegio y los resultados fueron organizados colaborativamente mediante tablas y gráficas elaboradas por cada grupo, seguidos por el análisis de los datos y la construcción de conclusiones. Posteriormente, cada estudiante completó una guía individual en la que relacionó los resultados experimentales con las propiedades del agua que hacen posible la vida en el planeta.

Como complemento a estas actividades, se desarrollaron sesiones de profundización y laboratorios demostrativos para estudiar la estructura y los cambios de la materia mediante modelos atómicos, escalas de pH y diferentes reacciones químicas. Estos elementos permitieron ampliar las posibilidades explicativas de los estudiantes sobre los procesos de contaminación y las características físico-químicas del agua observadas en el humedal.

Fase III. Complejización de las relaciones y construcción de explicaciones

La tercera fase estuvo orientada a integrar los aprendizajes construidos durante las etapas anteriores mediante la elaboración de explicaciones cada vez más complejas sobre la dinámica hídrica del humedal. Para ello se retomaron las preguntas formuladas al inicio de la intervención y se propiciaron espacios de discusión, análisis y construcción colectiva de explicaciones en los que los estudiantes relacionaron progresivamente las propiedades del agua con las geoformas, el suelo, la biodiversidad y las actividades humanas presentes en el ecosistema.

Como parte de este proceso, los estudiantes elaboraron diferentes representaciones gráficas, esquemas y producciones escritas que permitieron reorganizar las relaciones construidas durante la intervención y hacer visibles las transformaciones en sus formas de comprender el fenómeno. Los ambientes comunicativos favorecieron el intercambio de ideas, la confrontación de interpretaciones y la construcción colectiva de nuevas explicaciones a partir de la experiencia desarrollada.

Finalmente, cada grupo elaboró el Proyecto Final de Síntesis, en el que integró los conocimientos construidos durante toda la ruta para responder a las preguntas orientadoras y explicar la dinámica hídrica del Humedal Torca–Guaymaral desde una perspectiva sistémica. Este producto permitió evidenciar la manera como las relaciones inicialmente observadas fueron enriqueciéndose progresivamente hasta configurar explicaciones más amplias sobre el funcionamiento del ecosistema.

En conjunto, la estructura de la intervención, las acciones desarrolladas y los recursos diseñados respondieron a una misma intención pedagógica: configurar la dinámica hídrica del humedal Torca–Guaymaral como un problema de conocimiento susceptible de ser abordado en el contexto escolar. Las tres fases de la ruta no constituyen momentos independientes, sino diferentes formas de materializar las condiciones epistemológicas propuestas por el enfoque de Problemas de Conocimiento. En la primera, el cuestionamiento de la experiencia básica permitió interrogar las representaciones iniciales de los estudiantes sobre un entorno cotidiano; en la segunda, la artificialización del mundo natural mediante montajes experimentales y procesos de profundización disciplinar hizo posible estudiar algunas de las relaciones

que organizan el sistema; y, finalmente, la complejización progresiva de las explicaciones favoreció la integración de dichas relaciones en comprensiones cada vez más amplias sobre el funcionamiento del humedal. No obstante, la descripción presentada en este capítulo se limita a exponer la organización general de la propuesta y las decisiones que orientaron su diseño. En el capítulo siguiente se desarrollará con mayor detalle la recuperación de la experiencia, estableciendo un diálogo permanente entre las actividades implementadas y las formas de pensar, preguntar, argumentar y construir explicaciones que fueron emergiendo en los niños y niñas de grado sexto, con el propósito de comprender cómo dichas condiciones hicieron posible la construcción progresiva de conocimiento en el aula.

Tabla 1.

Resumen de las fases de la intervención en el aula

RUTA DE INTERVENCIÓN EN EL AULA	
NOMBRE DE LA INTERVENCIÓN	Del territorio al aula: Pensar la trama de relaciones entre el agua, el suelo y la vida en el Humedal Torca–Guaymaral
TÍTULO	La ciencia interconectada en el Humedal Guaymaral
OBJETIVO	Comprender el agua como una condición ecológica a partir del estudio de sus propiedades, flujos y relaciones en el Humedal Guaymaral.
PROBLEMA DE CONOCIMIENTO	El estudio de las dinámicas hídricas en el Humedal Torca Guaymaral, desde los Problemas de Conocimiento, hace posible pensar los ecosistemas como sistemas complejos.

FASE	PROPÓSITO	TEMA CENTRAL	ACCIONES PRINCIPALES	TIEMPO ESTIMADO
I. Historia del humedal y cuestionamiento de la experiencia	Reconocer el estado actual del Humedal Guaymaral y cuestionar su origen y funcionamiento.	Reconociendo el Humedal Guaymaral	• Salida pedagógica al Humedal Torca–Guaymaral. • Exploración con Google Earth. • Aproximación al ciclo del agua. • Dinámica y modelos de placas tectónicas. • Geomorfología de Bogotá y relación Cerros Orientales–Humedal–Río Bogotá.	**9 horas**
II. Artificialización y montajes para el estudio del humedal	Estudiar el agua como una condición dinámica en interacción con el suelo y los seres vivos.	El agua como condición ecológica	**PROFUNDIZACIÓN DISCIPLINAR** • Propiedades físicas extensivas e intensivas de la materia. **PRÁCTICAS DE LABORATORIO** • Solidificación y expansión. • Adhesión y cohesión. • Capilaridad. **PROFUNDIZACIÓN TEÓRICA** • Modelo de partículas. • Modelos atómicos y tabla periódica. • Propiedades químicas de la materia. • Elementos, moléculas y compuestos. • Compuestos vs. mezclas. • pH. • Modelos de reacciones químicas. • Práctica de laboratorio para evidenciar reacciones químicas y pH.	**15 horas**
III. Complejización de las relaciones	Reflexionar acerca de la dinámica del humedal desde la complejidad de sus relaciones.	El Humedal Guaymaral como sistema complejo	• Lectura guiada del documento *"La ciencia interconectada en el Humedal Guaymaral"*. • Taller red viva: identificación de conexiones entre suelo, agua, fauna, aire, vegetación, fauna y seres humanos en el humedal. • Elaboración de representaciones y explicación colectiva del funcionamiento del humedal. • Proyecto Final de Síntesis.	**6 horas**

Nota. Tiempo estimado para el desarrollo de las actividades de la ruta: 30 horas en total.

5.RECUPERACIÓN DE LA EXPERIENCIA

5.1 DEL CUESTIONAMIENTO DE LA EXPERIENCIA BÁSICA A LA IDENTIFICACIÓN DE LAS INTERRELACIONES

Para el diseño de la intervención en el aula, se tomó como referente una experiencia vivida por los estudiantes durante el año escolar anterior. En aquella ocasión, una fuerte inundación en la Autopista Norte de Bogotá provocó que las rutas escolares permanecieran atrapadas entre el agua durante varias horas, de modo que muchos estudiantes sólo pudieron regresar a sus hogares en la madrugada.

Al ser una experiencia compartida que de diferentes maneras impactó a todos los actores de la comunidad, se convirtió en una situación desencadenante en cuanto permitió "orientar y delimitar sus intereses en la perspectiva de construir conocimiento" (Valencia et al., 2003 p.9). Así, la búsqueda de respuestas a la pregunta "¿por qué la Autopista Norte se inunda cada cierto tiempo?" no surgió, entonces, como un contenido impuesto desde el currículo, sino como una preocupación situada en la experiencia de los estudiantes, quienes podían reconocerla desde lo vivido con las rutas escolares. Desde allí, se abrió la posibilidad de transitar de una primera percepción de los estudiantes sobre el Humedal Guaymaral como parte del paisaje cotidiano, hacia la construcción de un objeto de conocimiento complejo desde el cual explorar el tejido de relaciones que en diferentes escalas configuran la dinámica hídrica de su territorio, al tiempo que se despojan de su rol de observadores neutros y se integran como condiciones del sistema para reconocer que su propia comprensión y acciones determinan el espacio que habitan.

Una de las primeras actividades desarrolladas en la exploración fue un recorrido guiado por un sector del Humedal Guaymaral con estudiantes de grado sexto, acompañados por profesionales de la Secretaría Distrital de Ambiente de Bogotá. El propósito de esta experiencia fue ampliar las posibilidades de percepción sensorial, entendida como una atención

intencionada a las formas, sonidos, olores, texturas, organismos, rastros e interacciones presentes en el humedal y vincularla a procesos de pensamiento, tal como lo plantea el enfoque de los problemas de conocimiento desarrollado por Valencia et al. (s. f.).

Dicho enfoque reconoce que la experiencia básica posibilita el asombro, la inquietud y la admiración frente a los fenómenos naturales. Sin embargo, plantea que la comprensión exige trascender las intuiciones primeras y el deslumbramiento inmediato para vincularse al ejercicio del pensamiento. Esto implica renovar y rectificar de manera permanente las interpretaciones construidas, mediante el diálogo con otros y la contrastación con textos y representaciones, con el fin de avanzar hacia la construcción de significados compartidos (Valencia et al., s. f.).

Así, el recorrido por el humedal posibilitó esta experiencia directa, que, mediada por información proporcionada por el guía y las preguntas formuladas por los estudiantes, permitió la emergencia de reinterpretaciones sobre las posibles relaciones que se tejen en el humedal.

La primera observación se focalizó en un árbol de cedro, en cuyas hojas se pudo ver una población de áfidos y los agujeros dejados por larvas de mariposa. Allí se habló de cómo diferentes animales herbívoros, entre ellos los insectos mencionados encuentran refugio y alimento en esta planta y cómo a su vez, estos alimentan a diferentes especies de aves, lagartijas y camaleones, configurando lo que el guía llamó cadenas alimenticias.

Las primeras reacciones de los estudiantes frente a los insectos estuvieron marcadas por expresiones de asombro, curiosidad, miedo e incluso rechazo. Comentarios como “ah… qué miedo ","agh " o preguntas orientadas a identificar las partes del cuerpo de los organismos presentes constituyeron una aproximación sensorial al fenómeno. Sin embargo, a medida que el guía proporcionaba información, fueron surgiendo preguntas que trascendían la descripción inmediata de los organismos observados y se orientaban hacia la comprensión de las interacciones que se iban evidenciando.

Un ejemplo de esto se puede ver en el siguiente fragmento de la conversación:



Estudiante A: *"… los humanos ya directamente podemos afectar toda una cadena alimenticia, pero ¿otro animal puede afectar toda una cadena alimenticia?"*
Guía: *"La ausencia de una especie puede alterar una cadena alimenticia"*
Estudiante A: *"No, pero digamos. Hay una cadena alimenticia totalmente balanceada, si llega otra especie, entonces ¿puede dañar todo?"*
Guía: *"Por supuesto, una especie invasora. Aquí en el humedal podemos encontrar especies de animales que vienen de otras partes del país o del planeta…"*
Estudiante C: *"¿Como cuando los patos migran?"*
Guia: *"Distinto, distinto porque cuando los patos, por ejemplo, canadienses migran, estamos hablando de otro proceso; porque ellos terminan el proceso de migración y se devuelven."*
Estudiante A: *"O sea, cualquier animal puede ser invasor, ¿no?"*

Desde la perspectiva propuesta por García (2006, p.42), que retoma planteamientos de la epistemología genética, el autor sostiene que no existen observables puros dado que toda observación implica la movilización de relaciones previamente construidas por el sujeto. En ese sentido, el objeto observado no es solamente aquel presente en la experiencia inmediata, sino que está constituido por los significados que el observador le atribuye. En relación con esta idea, el fragmento de la conversación permite analizar la manera en que se configuran los hechos observables en los procesos de construcción de conocimiento.

En este caso, los elementos directamente accesibles a la percepción eran las hojas perforadas, las larvas de mariposa y la presencia de áfidos sobre el árbol de cedro. No obstante, las preguntas formuladas muestran que la observación de los estudiantes no se limitó a registrar dichos elementos, sino que estos fueron interpretados a la luz de esquemas conceptuales previamente construidos sobre cadenas alimenticias, balance e intervención

humana en los ecosistemas. Así, los organismos observados dejaron de constituir entidades aisladas para convertirse en componentes de una red de relaciones.

Desde esta perspectiva, el hecho observable no fue únicamente la presencia de larvas o insectos sobre las hojas del cedro, sino las relaciones de alimentación, dependencia e interdependencia que adquirieron relevancia como objeto de análisis a través de la conversación. Esto se hizo visible cuando el estudiante dejó de preguntar solamente por los organismos presentes en la hoja y comenzó a preguntarse si la llegada de otra especie podía alterar toda la cadena alimenticia.

La configuración de este hecho observable, fue el resultado de un proceso dialógico. Si bien, el estímulo sensorial fue el mismo para todos, este estaba cargado de diferentes interpretaciones individuales construidas a partir del conocimiento particular que cada participante había construido previamente.

Así, cada uno otorgó relevancia a diferentes elementos de esa observación: para algunos, lo fueron los orificios en las hojas, para otros, la anatomía de los insectos y para otros, las acciones que estaban teniendo lugar en la escena. Pero en el momento en que el guía nombra las dinámicas alimentarias, la atención del grupo empieza a centrarse en estas relaciones, activando el pensamiento de los estudiantes sobre previas organizaciones que ya traían sobre las cadenas tróficas. Hanson (1958, p. 25) lo explica de la siguiente forma:

> La visión es esencialmente pictórica, y el conocimiento fundamentalmente lingüístico. Ambos, visión y conocimiento, son elementos indispensables del ver; pero las diferencias entre las representaciones pictóricas y las lingüísticas pueden marcar diferencias entre los rasgos ópticos y conceptuales de la visión.

Es decir, las representaciones lingüísticas que el guía usó sobre las dinámicas de alimentación que tenían lugar en las hojas, permitieron seleccionar los rasgos del hecho hacia los cuales dirigir la observación y con ellos, la emergencia a través del lenguaje, de las diferentes organizaciones conceptuales que los participantes tenían de dichos rasgos. Este

proceso sentó las bases para la reorganización de esos marcos conceptuales para la configuración de significados comunes frente al hecho observable.

De esta forma, la experiencia en el humedal no se limitó al contacto directo con los organismos y sus rastros, sino que se transformó progresivamente en una experiencia mediada por el lenguaje. Las preguntas de los estudiantes, las explicaciones del guía y las conversaciones que se generaron durante el recorrido permitieron que aquello que inicialmente aparecía como una observación dispersa —insectos, hojas perforadas, árboles, aves o posibles relaciones alimenticias— comenzara a organizarse como una red de significados. En este proceso, las interacciones ecosistémicas dejaron de ser únicamente elementos del paisaje o datos aislados de la experiencia sensible, y adquirieron estatus de objeto de conocimiento, en la medida en que pudieron ser nombradas, descritas, relacionadas e interrogadas colectivamente. Así, el lenguaje abrió la posibilidad de resignificar el humedal, no solo como un lugar observado, sino como un sistema de relaciones que podía ser pensado, discutido y explicado por los estudiantes.

De igual forma, la conversación también permite identificar transformaciones parciales en las representaciones que los estudiantes habían construido previamente sobre las cadenas alimenticias. Cuando el estudiante afirma que *“los humanos ya directamente podemos afectar toda una cadena alimenticia”,* parece asumir una comprensión en la que la acción humana constituye el principal factor de alteración de los ecosistemas. Así mismo, al referirse a una *“cadena alimenticia totalmente balanceada”*, su discurso sugiere una comprensión lineal, estática y local de las relaciones alimenticias entre las especies de un lugar.

Sin embargo, la pregunta “si llega otra especie, entonces ¿puede dañar todo?” evidencia la incorporación de nuevos elementos explicativos. En este punto, el estudiante comienza a considerar que los desequilibrios en la cadena alimenticia que imagina pueden originarse también por interacciones entre especies, independientemente de la acción humana. Esta idea amplía el marco interpretativo desde el cual comprende el funcionamiento de las

cadenas tróficas, en tanto introduce la posibilidad de pensar el ecosistema como una red de relaciones susceptible de reorganizarse ante la llegada de nuevos organismos. De este modo, la explicación deja de apoyarse exclusivamente en una causa externa y directa —por ejemplo, la intervención humana— y empieza a incorporar relaciones ecológicas como la competencia, la depredación, la disponibilidad de alimento y la alteración de los vínculos entre poblaciones. En consecuencia, la cadena alimenticia deja de ser concebida únicamente como una secuencia fija de organismos que se comen unos a otros y comienza a aparecer como una trama dinámica, en la que cualquier modificación puede generar efectos sobre otros componentes del sistema.

No obstante, la pregunta final —"O sea, cualquier animal puede ser invasor, ¿no?"— sugiere que dicha reorganización conceptual aún se encuentra en proceso. La asociación que el estudiante establece entre especies invasoras y especies migratorias indica que persisten elementos de una comprensión todavía situada en las condiciones inmediatas del lugar, en la que el equilibrio del sistema depende principalmente de los organismos observables y de su procedencia. Desde esta perspectiva, los organismos que llegan de otros contextos son interpretados como factores externos que alteran dicho equilibrio, sin que todavía se diferencien con claridad las condiciones ecológicas que permiten distinguir una especie migratoria de una especie invasora.

En consecuencia, el fragmento del diálogo puede ser entendido como un proceso de reconstrucción de significados en el que las ideas iniciales son cuestionadas y progresivamente reorganizadas a partir de la experiencia, la actividad dialógica y la incorporación de nuevos referentes explicativos. Desde el enfoque de los problemas de conocimiento, este intercambio entre las preguntas de los estudiantes y las intervenciones del guía resulta central, pues permite cuestionar la experiencia básica, confrontar los saberes iniciales con nuevas formas de explicación y movilizar el pensamiento hacia comprensiones más elaboradas del fenómeno observado (Valencia et al., 2003, p.4).

En este sentido, las condiciones de los ambientes comunicativos y el lenguaje cobran valor como elementos dinamizadores de la experiencia en el proceso de construcción de conocimiento. Construir estos ambientes implica, como lo exponen Valencia, et. al. (2003), reconocer que “el sujeto es y se configura a través de la palabra”, que “el otro es más que un individuo o un grupo de ellos, es aquel que se revela desde su diferencia o heterogeneidad” por medio de diferentes formas de participación y que “la expresión de diversas formas de ver, escuchar, relacionar y comprender permite al estudiante desinhibirse, reconocerse como ser creativo, valorar sus propias producciones e iniciar procesos de construcción de conocimiento de manera intersubjetiva”

No se trata, entonces, sólo de compartir información, sino de facilitar experiencias que motiven la curiosidad sobre el objeto observado en escenarios de confianza para que los marcos conceptuales de los participantes puedan ser escuchados, cuestionados y enriquecidos, libres del juicio de las ideas científicamente correctas o incorrectas, sino como parte de un proceso de resignificación colectiva mediante el diálogo situado en el hecho observado.

Este proceso de resignificación se fue profundizando a medida que la experiencia avanzaba. Los diferentes estímulos sensoriales presentes en el humedal comenzaron a integrarse en un proceso comunicativo en el que emergió, de manera progresiva, una red de relaciones entre las distintas condiciones del ecosistema. Así, cada observación o tema de conversación derivó espontáneamente en nuevas preguntas y conexiones, ampliando la comprensión de los estudiantes sobre las dinámicas ecológicas del lugar.

Por ejemplo, al tocar el tronco de un arboloco (*Smallanthus pyramidalis*) y percibir su temperatura y humedad, surgió una conversación sobre la capacidad de esta especie para almacenar agua en su tronco. Esta observación permitió establecer comparaciones con los eucaliptos sembrados años atrás en la zona con fines económicos, lo que condujo a discutir las distintas demandas hídricas de las especies vegetales y la manera en que cada una influye en

la disponibilidad de agua en el suelo para otros organismos. A su vez, este hecho dio paso a reflexiones sobre las decisiones humanas asociadas al manejo de especies introducidas o invasoras, particularmente frente a la tensión entre su erradicación y el reconocimiento de que algunas de ellas también pueden ofrecer refugio y soporte a otras especies del ecosistema.

Al vincular estos elementos con la experiencia sensible, se abrieron nuevos espacios de significación que permitieron organizar relaciones de interdefinibilidad entre la *estructura y la función* de los objetos observados.

Por ejemplo, mientras la mirada estaba puesta en la estructura del tronco que posibilita el almacenamiento del agua, un estudiante preguntó: *"¿Esta agua se puede tomar?"*, lo que muestra que no estaba interpretando esta estructura como un atributo aislado, sino que se cuestionó sobre la funcionalidad de este. Así, esa estructura de almacenamiento empezó a ser definida desde las funciones que desarrolla como parte de una totalidad organizada y que configura dinámicas particulares del sistema.

Preguntar sobre si el agua se podía tomar, llevó a hablar sobre para quién y en qué condiciones el agua almacenada estaba disponible. Se habló de que no lo está para el consumo humano, pero establecieron tejidos de relaciones en las que las estructuras del árbol que posibilitan el intercambio y almacenamiento de agua determinan su disponibilidad en el suelo para otros organismos, definiendo así las posibilidades de supervivencia para otras especies. De esta manera, este árbol empieza a observarse como un subsistema cuya forma es una condición estructural que posibilita la autorregulación del humedal.

Al compararlo con los eucaliptos, se resignifica también la idea de que todas las estructuras arbóreas son iguales y se reconoce que las formas particulares configuran funciones diferentes que a su vez modifican las condiciones de su entorno. En este caso, la estructura de los eucaliptos, contrario a las del arboloco, representan un efecto perturbador de alta demanda de agua que limita la supervivencia de otras especies.

En la conversación se recalcó, además, que esta especie fue introducida hace varios años en respuesta a intereses comerciales, lo que permitió reintroducir la condición antrópica —discutida en momentos anteriores de la visita— como un elemento perturbador del sistema. Pero además, en esta oportunidad, se reflexionó con los estudiantes sobre la conveniencia de erradicarla o conservarla, reconociendo los posibles efectos de ambas decisiones sobre las dinámicas del humedal. Así, los estudiantes dejaron de observar el humedal como un paisaje externo y comenzaron a comprenderlo como un territorio en el que las decisiones humanas constituyen elementos del propio sistema y, por tanto, participan en su reorganización. Este desplazamiento en la comprensión contribuye a superar la dualidad sujeto-objeto, al situar al sujeto como parte constitutiva de aquello que estudia.

De este modo, la función de una planta —dar refugio, almacenar agua o consumirla— se resignifica colectivamente, no como una verdad biológica absoluta, sino en función de las relaciones que emergen con las demás condiciones del sistema. Esta resignificación fue posible porque la experiencia no se organizó únicamente alrededor de la observación directa, sino también de un ambiente comunicativo en el que las preguntas de los estudiantes, las explicaciones del guía y las intervenciones del grupo permitieron contrastar puntos de vista y construir nuevos sentidos sobre lo observado. Desde el enfoque de los problemas de conocimiento, estos ambientes cobran relevancia porque permiten que los sujetos hablen, escuchen, expresen inquietudes y reconozcan diversas formas de ver, relacionar y comprender el mundo natural (Valencia et al., 2003., p. 10). Así, la planta dejó de ser interpretada como un organismo aislado y comenzó a comprenderse como parte de una red de procesos ecológicos, hídricos y antrópicos, cuya función depende tanto de sus características estructurales como de las relaciones que establece con otros organismos, con el agua, con el suelo y con las decisiones humanas que intervienen el humedal.

Las siguientes estaciones del recorrido, permitieron reconfigurar las imágenes de conocimiento del humedal en torno a sus *flujos hídricos.* En ellas, los estudiantes tuvieron la

oportunidad de observar diferentes cuerpos de agua y relacionarlos con los flujos provenientes de los Cerros Orientales, con aquellos originados por las precipitaciones y con los que son facilitados por la estructura del suelo. De esta manera, comenzaron a reconocer que los cuerpos de agua permanentes y esporádicos del humedal no son elementos aislados, sino expresiones de una dinámica hídrica que también posibilita la existencia de diferentes especies de animales y plantas, algunas de ellas con capacidad de filtración y purificación del agua.

Hacer evidentes estas características mediante el diálogo con el guía y la observación directa en relación con flujos de agua provenientes de condiciones externas a los límites geográficos del humedal, generó condiciones adecuadas para que los estudiantes transitaran de una percepción aislada del sistema hacia el reconocimiento de algunas de sus interconexiones con el territorio y a ubicarlo como parte de un sistema de mayor nivel.

De esta manera, lo que inicialmente se percibió como agua estancada, se convirtió en una zona de almacenamiento en las diferentes capas del suelo, alimentada por flujos dinámicos provenientes de los Cerros orientales y de la Quebrada Aguas Calientes. Este proceso permitió que los estudiantes integraran la problemática local de la inundación de la Autopista Norte dentro de un sistema de relaciones geológicas y territoriales mayor, reconociendo el papel del relieve y la geomorfología en la dirección de las aguas.

En esta dinámica, los estudiantes empezaron a observar el humedal desde nuevos referentes de interpretación. La presencia de invertebrados y larvas de libélula, por ejemplo, dejó de ser un simple registro de organismos presentes en el agua y comenzó a ser comprendida como un indicio de su calidad. Aunque esta calidad no fuera perfecta, la presencia de estos organismos permitió reconocer que el agua todavía sostenía ciertas formas de vida. De esta manera, al reconocer las interacciones entre el agua y la libélula, se configuró un hecho observable desde una perspectiva sistémica.

Las intervenciones de los estudiantes con preguntas como *"¿Aquí hay peces?"* develaron sus asociaciones previamente construidas sobre lo que constituye un

cuerpo de agua, pero la respuesta dada por el guía - *"había hasta dos especies distintas, el Capitan de la sabana y la guapucha… pero están en procesos de extinción por contaminación humana. ¿Quiénes contaminan?"* -, una vez más permitió reconfigurar esa imagen en un hecho que evidencia la intervención humana como una condición propia del sistema que también define su identidad. Es decir, a partir de su interacción con los flujos hídricos, se vuelve a reconocer al ser humano, como parte del mismo objeto que observa.

Centrar la atención en los flujos de agua también posibilitó el reconocimiento de otras relaciones de interdefinibilidad entre los factores bióticos y abióticos del sistema, que se hizo más evidente al llegar al espejo de agua más representativo del humedal -dada su condición de permanencia- Allí, los juncales fueron comparados con una guardería de aves en la que las dinámicas de predación se suspenden, resignificando estas plantas como funciones de soporte y de regulación que garantizan su estabilidad fluyente. Pero, además, entender la laguna como "una pista de aterrizaje" para diferentes especies de aves migratorias, ofrece un nuevo contexto para reconocer que las condiciones ecosistémicas trascienden los límites geográficos establecidos y que estas no siempre están asociadas a perturbaciones, sino que hacen parte de los procesos que sostienen la organización del sistema.

De esta manera, el espejo de agua, la vegetación circundante, las aves locales y migratorias dejan de ser elementos aislados y se resignifican como una red de procesos desde sus relaciones de interdependencia.

Desde estas condiciones, el humedal se nombró también como un área protegida por el convenio RAMSAR, estableciendo así una conexión con condiciones de contorno internacionales con potencial de impactar la identidad del sistema. Es decir, el recorrido por el humedal permitió que los estudiantes comenzaran a identificar el agua, la geomorfología, la biodiversidad y el factor humano como condiciones cuyas funciones se determinan recíprocamente. De este modo, la mirada empezó a desplazarse desde los elementos aislados hacia las interrelaciones que los articulan, configurando nuevos hechos observables

susceptibles de interpretación y reflexión. Estos hechos permitieron empezar a vislumbrar respuestas más complejas al problema de la inundación de la Autopista Norte, al reconocer que el humedal funciona como una zona natural de inundación que recibe flujos de agua provenientes de los cerros orientales y cuya capacidad de regulación se ve afectada por procesos tanto endógenos como exógenos.

Además, estos nuevos hechos observables ayudaron a delimitar el "recorte de la realidad" desde el cual se trabajaría el humedal en el aula (García, 2006, p. 21). A partir de lo observado durante el recorrido, la maestra pudo orientar el estudio del humedal no desde todos sus posibles componentes, sino desde aquellas relaciones que los estudiantes habían empezado a identificar durante el recorrido: entre el agua, el relieve, la biodiversidad y la intervención humana, sin pretender abarcar toda la complejidad del humedal. De este modo, el sistema se delimitó como una totalidad abierta, pero abordable en las condiciones concretas del aula y en relación con las decisiones curriculares de la intervención.

Así, desde el enfoque de los problemas de conocimiento, este primer ejercicio de inmersión permitió que los estudiantes pasaran de una experiencia básica meramente contemplativa hacia una exploración de las relaciones que definen su complejidad. La salida, constituyó una actividad desencadenante de preguntas, y resignificaciones que permitió contextualizar las actividades de profundización que se llevaron a cabo más adelante. Desde los postulados de Rolando García (2006), marcó el inicio de la construcción del sistema con los estudiantes, pues a través del diálogo en el terreno se empezaron a trazar los límites conceptuales y geográficos que no están dados de antemano, sino que se van configurando a partir de las preguntas.

De esta manera, la identificación de interacciones entre el relieve, el ciclo del agua y la actividad humana sentó las bases para definir lo que en la metodología para el estudio de los sistemas complejos que propone García (2006) constituyen las primeras hipótesis de trabajo. Estas hipótesis, en términos de García (2006, pp. 83, 84 y 99), se distancian del significado

tradicional que les atribuye el método científico cartesiano. En lugar de formularse como afirmaciones orientadas a verificar relaciones causales aisladas, se construyen como preguntas sobre las interacciones que configuran el sistema y que podrían contribuir a explicar su funcionamiento. En este sentido, la hipótesis no anticipa una respuesta, sino que ayuda a decidir qué interacciones observar, describir y poner en relación para comprender las propiedades emergentes del sistema.

Para profundizar en el estudio de dichas interacciones, se recurre a la profundización disciplinar con los estudiantes. Sin embargo, esta se desarrolla desde una perspectiva de la complejidad, en la medida en que los conceptos disciplinares no se abordan como elementos aislados, sino como herramientas para interpretar las relaciones que estructuran el sistema objeto de estudio.

Si al responder esas preguntas de base, no se logra explicar el funcionamiento del sistema, la hipótesis estaría errada y sería necesario centrar la mirada en otro tipo de interacciones, es decir, volver a mirar el sistema en su totalidad y proponer nuevas preguntas. (García, 2006, p. 35, 188). Así, las preguntas que se enumeran a continuación constituyen un primer paso en la dialéctica de la integración y la diferenciación que propone Rolando García (2006, p.83-85) como necesaria para estudiar un sistema complejo.

1. ¿Cómo se relaciona la circulación del agua con las formas de la tierra, la composición del suelo y la vegetación?
2. ¿Cómo se relacionan la estructura, propiedades y cambios de la materia con la contaminación del agua en el humedal?
3. ¿Cuáles son las relaciones entre el agua, la calidad del suelo y la biodiversidad?

5.1.1 La reconstrucción histórica del sistema como parte del cuestionamiento de la experiencia básica

La siguiente actividad en el aula se fundamentó en la premisa de Rolando García según la cual “la comprensión cabal del funcionamiento de un sistema complejo requiere un análisis de la historia de los procesos que condujeron al tipo de organización (estructura) que presenta en un momento dado” (García, 2006, p. 81). Para entender cómo las dinámicas y transformaciones del Humedal Guaymaral están relacionadas con las inundaciones de la Autopista Norte, resultaba útil realizar un ejercicio de reconstrucción histórica que permitiera a los estudiantes pasar de la observación sincrónica del terreno “para determinar las propiedades estructurales del sistema en un periodo dado de tiempo”, a una visión diacrónica de su formación “para identificar los procesos que condujeron a esa particular organización (García, 2006, p.135).

Esta doble aproximación, se justifica en que los sistemas complejos no son entidades estáticas sino procesos evolutivos donde “no hay estructura sin historia, ni historia sin estructura” (García, 2006, p. 81), es decir que permite interpretar el recorte de realidad como se presenta actualmente, como el resultado de una trayectoria de procesos que han sucedido en diferentes escalas temporales y espaciales (García, 2006, pp. 51,64,65).

En este contexto, la exploración mediada por la plataforma Google Earth permitió realizar a los estudiantes un proceso de diferenciación disciplinar. A partir de una problemática general (la inundación), las primeras sesiones de clase se enfocaron en el desarrollo de los objetivos propuestos en el currículo de Cambridge relacionados con la descripción de las capas internas de la tierra, los modelos de tectónica de placas y los procesos de formación de montañas, volcanes y terremotos a nivel global, pero con la atención puesta en la formación del humedal.

Este ejercicio permitió abordar el estudio del Humedal Guaymaral no como un sistema aislado, sino como parte de una red de procesos de mayor escala temporal y espacial. Al situar la pregunta por la inundación dentro de la historia geológica del territorio, los estudiantes

empezaron a relacionar la existencia del humedal con procesos que exceden sus límites visibles, como la formación de la Cordillera Oriental, la configuración del relieve, la dirección de los flujos de agua y la acumulación de sedimentos en las zonas bajas de la Sabana de Bogotá. Esta ampliación del marco de comprensión se hizo visible en sus producciones escritas, en las que reconocieron los modelos convergentes, la subducción entre la placa de Nazca y la placa suramericana y la formación de la Cordillera de los Andes como procesos necesarios para comprender la organización actual del territorio.

El viaje virtual, entonces, comenzó con la exploración de procesos orogénicos globales (formación de valles, grietas, cordilleras) para gradualmente acercarse a la ciudad de Bogotá, los Cerros Orientales y el Humedal Guaymaral. Mientras se realizaba en recorrido virtual, se hacían paradas en diferentes lugares, llamando la atención sobre estos procesos orogénicos y generando conversaciones en las que se contrastaban la imágenes de Google Earth, simulaciones en videos, mapas de placas tectónicas e información en su texto guía de ciencias para responder preguntas que les ayudaban a entender el fenómeno mientras reconocían en él, tanto la experiencia directa que tuvieron durante la visita al humedal, como los elementos teóricos que proponía el currículo.

Así, se pueden ver las respuestas en sus cuadernos a las preguntas sobre el modelo de placas tectónicas que mejor representa el proceso de formación de la Cordillera de Los Andes y los accidentes geográficos que se derivaron. Allí reconocen los modelos convergentes y los procesos de subducción por la interacción de las placas de Nazca y Sur América (Ver figuras 3,4 y 5).

Figura 3

Construcciones de estudiantes acerca de la dinámica de las placas tectónicas

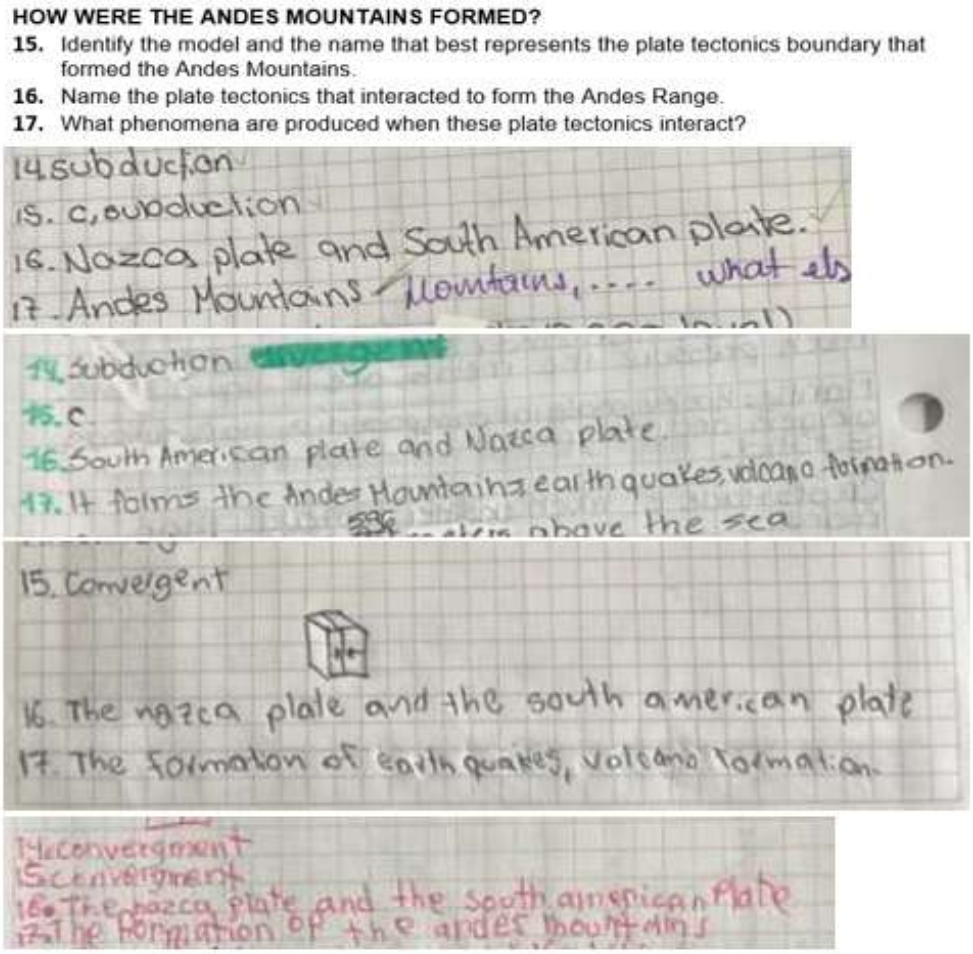


Figura 4

Construcciones textuales de estudiantes acerca de la dinámica de las placas tectónicas

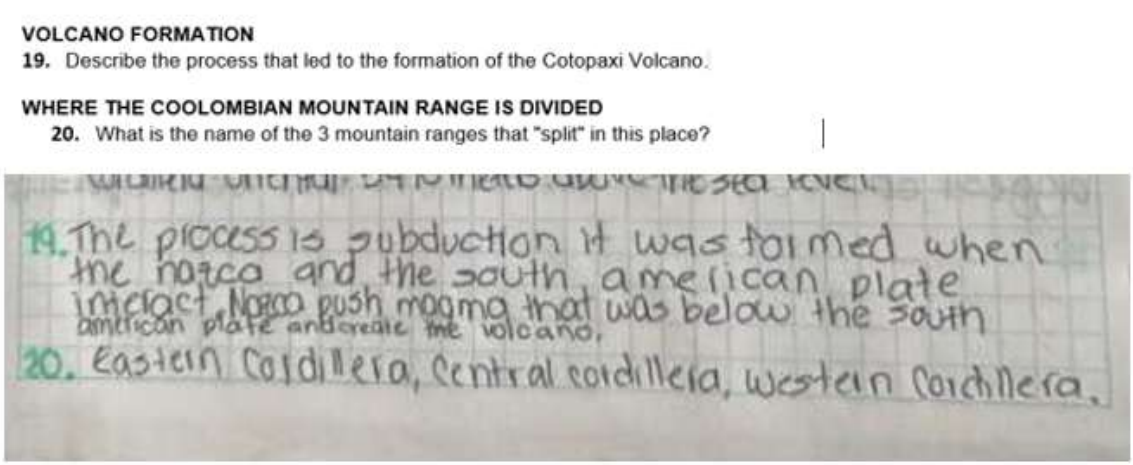
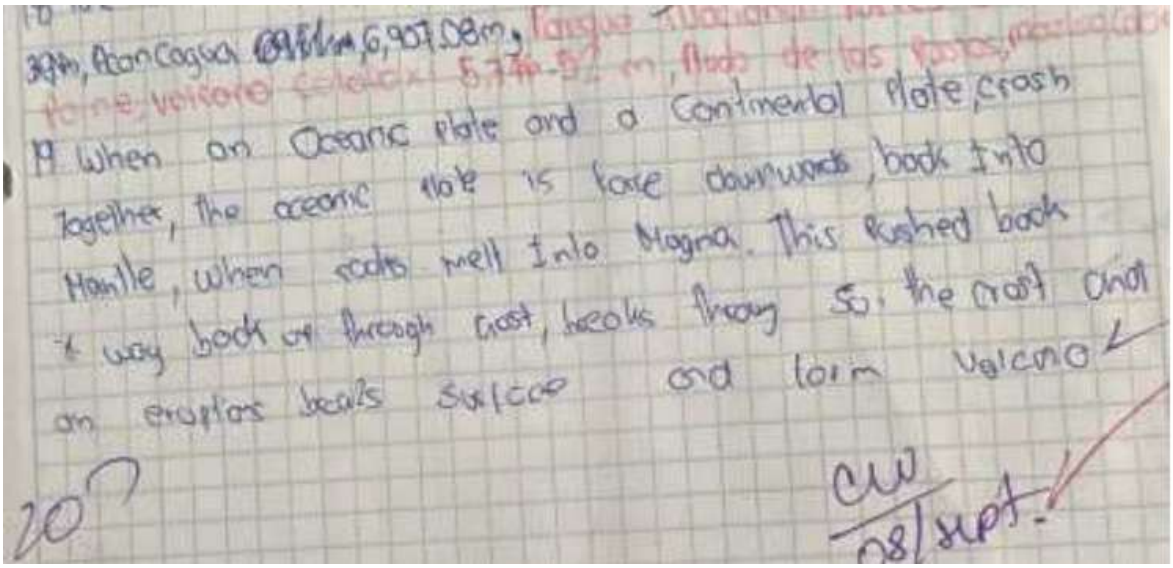


Figura 5

Construcciones de estudiantes acerca de la dinámica de las placas tectónicas



Otros registros incluyen diagramas de la estructura interna de la tierra y las propiedades que posibilitan el movimiento divergente y transformante de las placas, lo que ha configurado otras formas de relieve en diferentes partes del mundo (Ver Figuras 6 y 7). En este sentido, indagar por la formación del relieve permitió avanzar en el cuestionamiento de una experiencia básica centrada en la inundación como evento inmediato. La pregunta inicial —por qué se inunda la Autopista Norte— empezó a desplazarse hacia las condiciones que hacen posible dicha inundación: la procedencia del agua, la dirección de sus flujos, el papel de los Cerros Orientales, la configuración de las zonas bajas de la Sabana y la función del humedal como área de acumulación y regulación hídrica. Esta ampliación del campo de relaciones es coherente con el enfoque de los problemas de conocimiento, en tanto permite complejizar las descripciones, reconocer conexiones multicausales e interrelaciones entre sistema y contexto (Valencia et al., 2003., pp. 4–5).

Figura 6

Construcciones escritas y gráficas de estudiantes acerca de las capas de la tierra

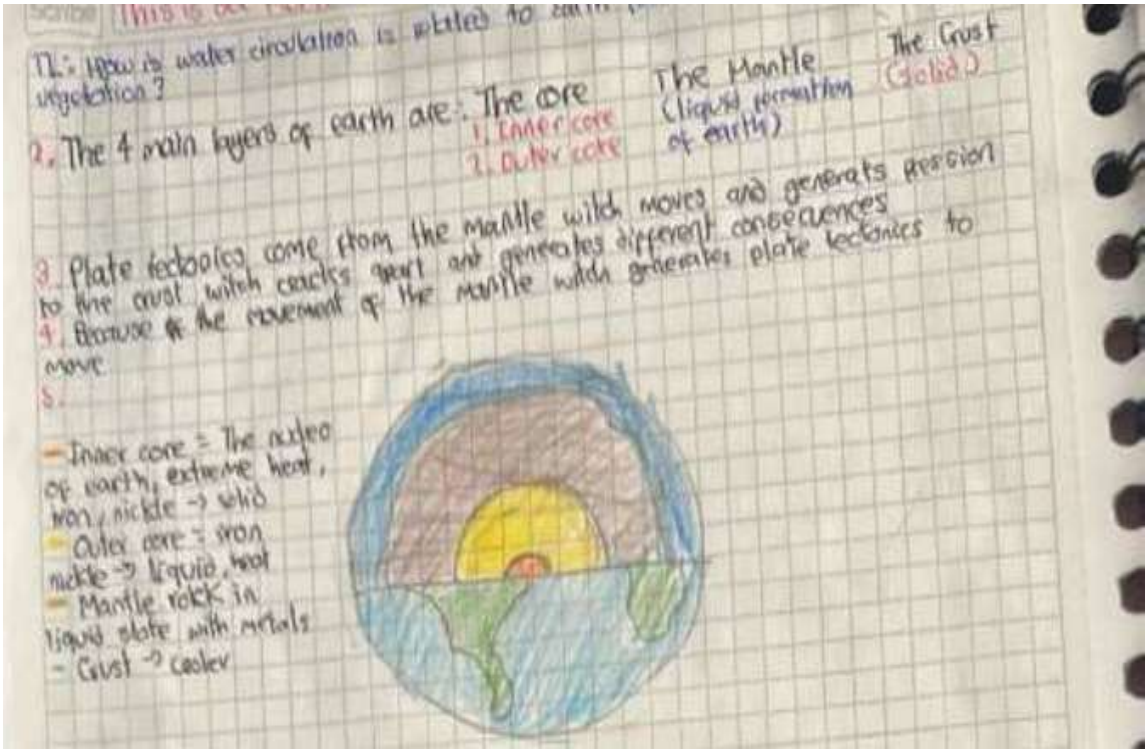
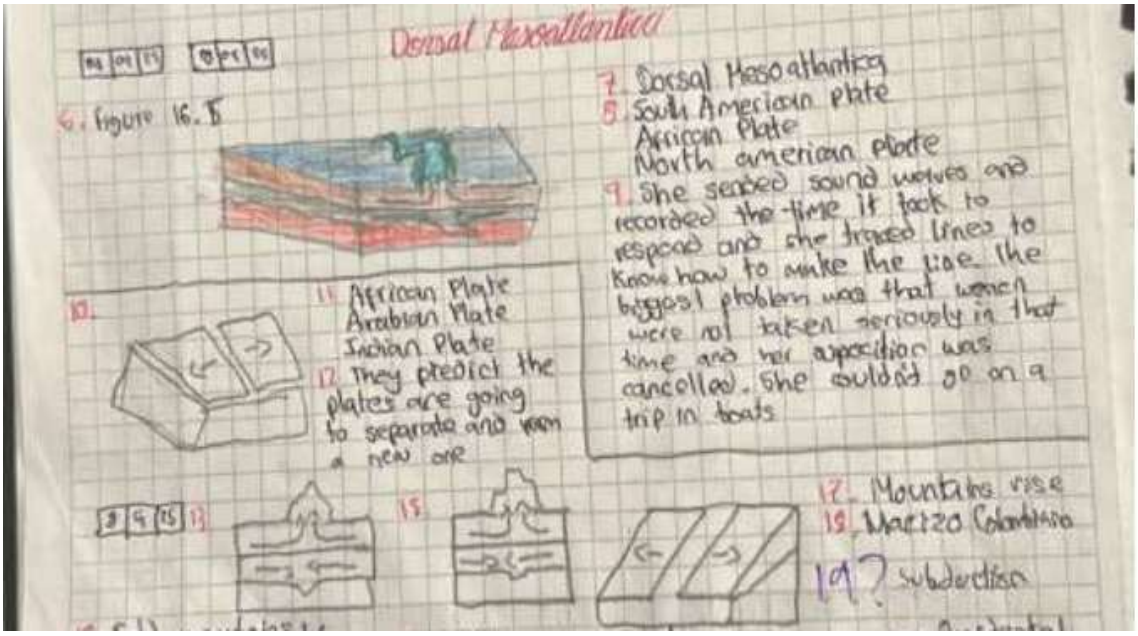


Figura 7

Construcciones escritas y gráficas de estudiantes acerca de movimiento de placas



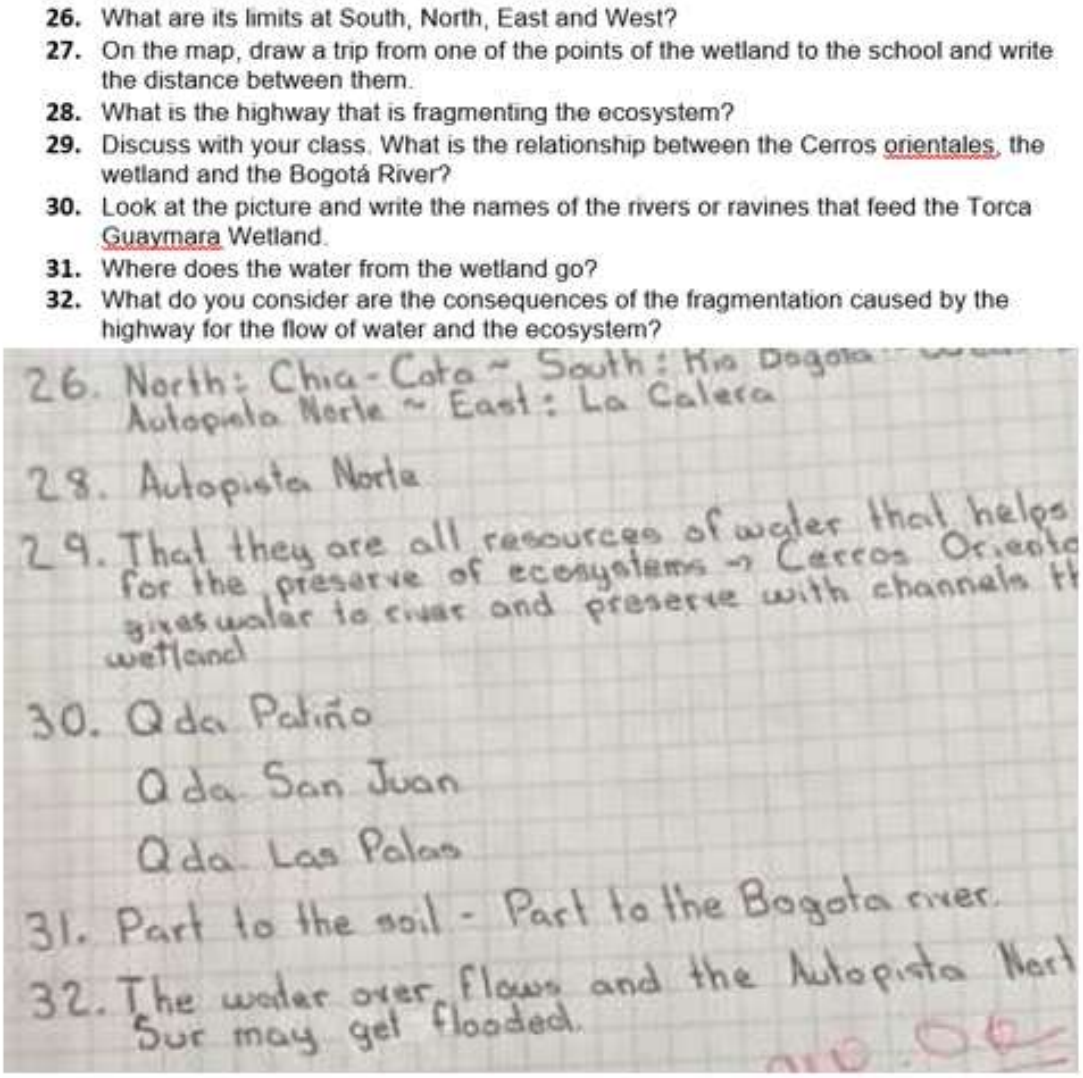
Estos registros evidencian entonces un acercamiento a la comprensión de que la estructura actual de la Cordillera de los Andes es producto de procesos históricos de interacciones entre placas.

Posteriormente, al localizar el punto donde la Cordillera se divide en las cordilleras occidental, central y oriental, los estudiantes pudieron situar la ciudad de Bogotá y el humedal Guaymaral en una morfología específica que determina los flujos de agua en la ciudad. Así, el ejercicio permitió que los estudiantes fueran delimitando paulatinamente el sistema a estudiar, identificando los bordes de la ciudad “Norte: Chía-Cota, Oriente: Cerros orientales, Oeste: el río Bogotá, Sur: Soacha” (ver figura 8). De esta manera, el humedal dejó de ser un punto difuso para convertirse en un componente de un sistema territorial mayor.

Así, la reconstrucción histórica y geográfica permitió a los estudiantes construir respuestas preliminares a la pregunta sobre la inundación de la autopista. Al integrar la información sobre los procesos orogénicos con la hidrología local, los estudiantes empezaron a definir lo que García (2006, p. 127) denomina las condiciones de contorno, como se puede ver en los registros de las figuras 8,9 y 10 cuando delimitan la ciudad a partir de referentes como Chía-Cota, los Cerros Orientales, el río Bogotá y Soacha, y cuando relacionan estos bordes con la circulación del agua hacia el humedal.

Figura 8

Construcciones escritas de estudiantes acerca de límites y referentes geográficos (a)



26. What are its limits at South, North, East and West?
27. On the map, draw a trip from one of the points of the wetland to the school and write the distance between them.
28. What is the highway that is fragmenting the ecosystem?
29. Discuss with your class. What is the relationship between the Cerros orientales, the wetland and the Bogotá River?
30. Look at the picture and write the names of the rivers or ravines that feed the Torca Guaymara Wetland.
31. Where does the water from the wetland go?
32. What do you consider are the consequences of the fragmentation caused by the highway for the flow of water and the ecosystem?

26. North: Chia - Cota ~ South: Rio Bogota
Autopista Norte ~ East: La Calera

28. Autopista Norte

29. That they are all resources of water that helps for the preserve of ecosystems ~ Cerros Orientale gives water to river and preserve with channels th wetland

30. Q da Patiño
Q da San Juan
Q da Las Palas

31. Part to the soil - Part to the Bogota river.

32. The water over flows and the Autopista Nort Sur may get flooded.

Figura 9

Construcciones escritas de estudiantes acerca de límites y referentes geográficos (b)

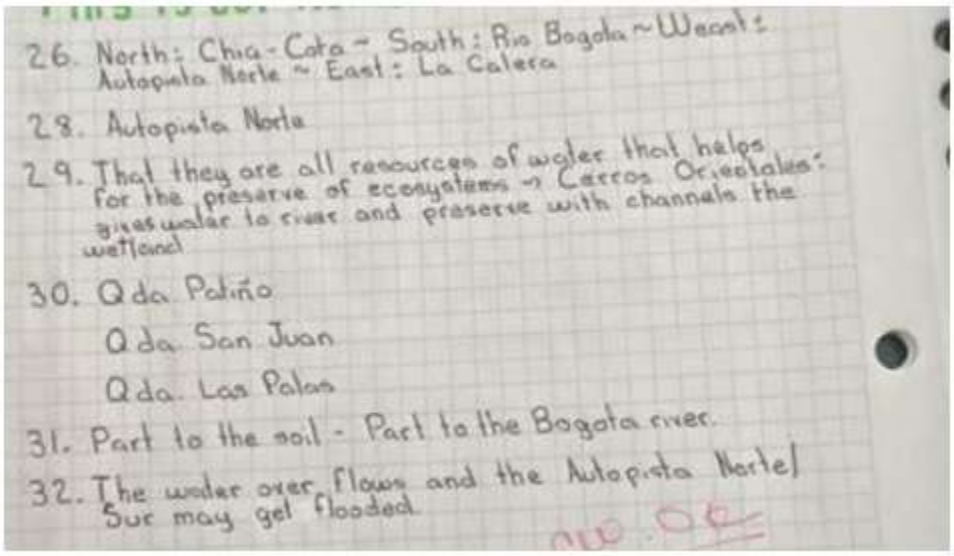
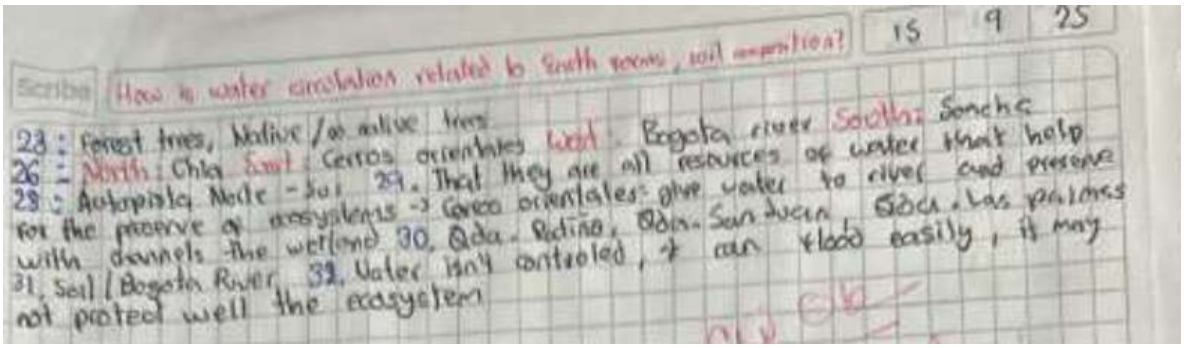


Figura 10

Construcciones escritas de estudiantes acerca de límites y referentes geográficos (c)



En estos registros se puede observar cómo las actividades posibilitaron que los estudiantes ya no vieran la inundación como un evento aislado, sino como un proceso derivado de la interacción entre la geomorfología de los cerros y la función reguladora del humedal. El reconocimiento de que la conectividad del flujo del agua entre los cerros, el humedal y el río Bogotá ha sido alterada por la construcción de canales y de la autopista, les brinda elementos para centrar la mirada en el estudio de los procesos físicos, químicos y biológicos que configuran lo que actualmente es el humedal Guaymaral.

Esta exploración virtual permitió cuestionar la experiencia inicial del humedal desde nuevos referentes teóricos. La reconstrucción histórica ayudó a comprender que el relieve, el ciclo del agua y la infraestructura urbana no actúan como elementos separados, sino como condiciones que se definen mutuamente en la organización del territorio. En ese sentido, el sistema pudo entenderse como una unidad de interdefinibilidad, y el “recorte de la realidad” quedó delimitado por las relaciones que permiten explicar tanto el funcionamiento del humedal como su vulnerabilidad frente a las inundaciones.

Ahora bien, aunque en el primer recorte de la realidad se pudo establecer que los flujos del agua están relacionados con las geoformas, el desplazamiento por gravedad y las propiedades del suelo que favorecen la escorrentía superficial, la infiltración y la retención, esa primera integración no agotó la comprensión del fenómeno, pues las relaciones identificadas en campo exigían ser profundizadas mediante otros modos de experiencia que permitieran diferenciar algunos procesos y propiedades implicados en la dinámica hídrica del sistema, por lo tanto era necesario indagar sobre qué particularidades del agua participan en la emergencia de estos procesos.

De esta manera, y continuando con la fase de diferenciación que en términos de García (2006, p.83) permite caracterizar las condiciones del sistema con un mayor nivel de precisión de forma que aporte a una compresión más precisa de la totalidad, la siguiente fase de la intervención se centró en indagar sobre las particularidades el agua que participan en la emergencia de los procesos del humedal. Para esto, se adelantaron algunas prácticas en el laboratorio de química, cuyas experiencias se recuperan a continuación.

5.1.2 El agua como objeto de conocimiento: la artificialización como estrategia de diferenciación para complejizar la comprensión del sistema humedal Torca–Guaymaral

La fase anterior permitió que la pregunta inicial por la inundación de la Autopista Norte dejara de formularse como una relación lineal de causa y efecto y empezara a comprenderse desde una red de relaciones entre el relieve, los flujos de agua, la estructura del suelo, la vegetación, la biodiversidad y la intervención humana. A través del recorrido por el humedal y de la reconstrucción histórica y geográfica del territorio, los estudiantes comenzaron a delimitar un recorte de realidad en el que el humedal Torca–Guaymaral aparecía como un sistema abierto, una totalidad organizada, vinculada con procesos de mayor escala y con condiciones de contorno que excedían sus límites geográficos. En este marco, el agua se configuró como una condición del sistema: circula, se infiltra, se retiene, sostiene formas de vida y participa en la configuración del territorio. Sin embargo, para comprender con mayor precisión algunas de estas relaciones, se tomó la decisión de pasar de la experiencia directa en el territorio del humedal a experiencias en el laboratorio en las que el agua pudiera ser interrogada desde sus propiedades físicas.

Esta decisión pedagógica se orientó teniendo como referente la perspectiva de García (2006), la cual propone que el estudio de un sistema complejo no consiste en fragmentar la realidad en partes aisladas, sino en construir una primera mirada integradora que permita reconocer qué relaciones requieren ser diferenciadas para comprender mejor la organización del sistema. Por ello, la diferenciación disciplinar no aparece como una ruptura con la totalidad, sino como una condición metodológica para profundizar en algunos procesos sin perder de vista el sistema del cual hacen parte (García, 2006, pp. 83–85). En esta fase, dicha diferenciación se orientó hacia le generación de experiencias que pudieran brindar a los estudiantes, elementos disciplinares que les permitieran aproximarse a responder las preguntas planteadas como hipótesis para comprender el sistema complejo (Ver página___). Dado que las tres preguntas ponen el agua y sus dinámicas en el centro, se decidió también configurarla

como objeto de estudio desde las propiedades que posibilitan su circulación en el territorio y el sostenimiento de las formas de vida.

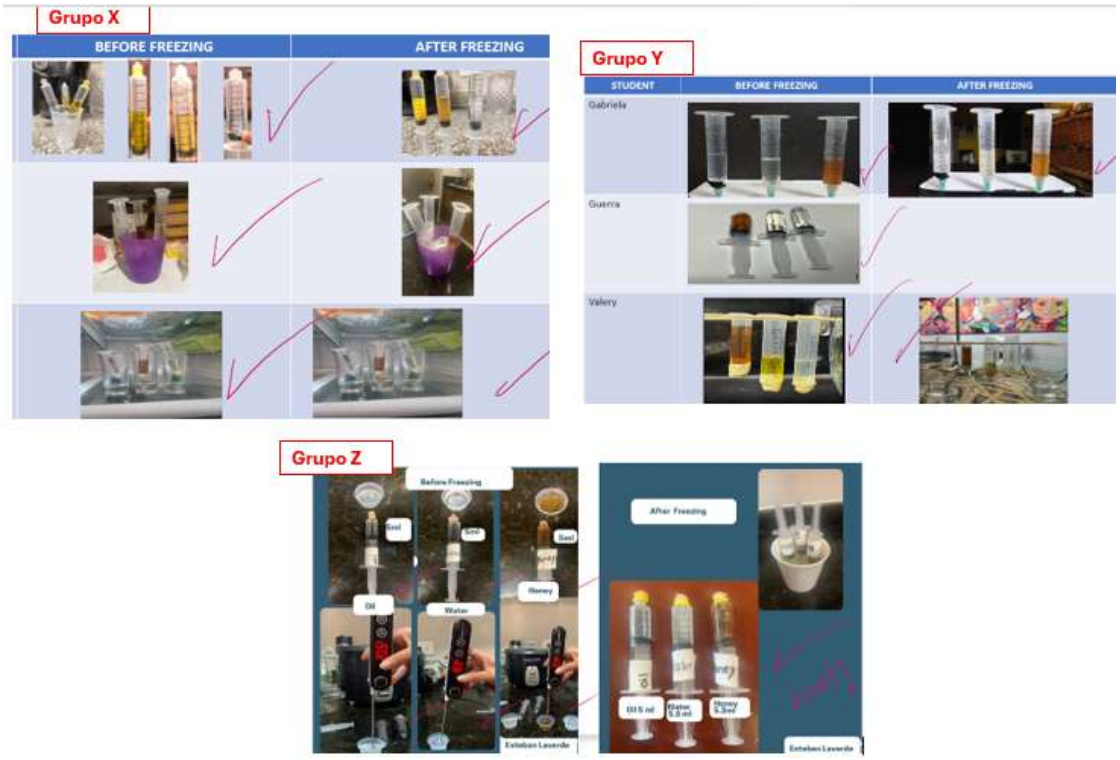
Este ejercicio de profundización disciplinar, implica entonces un tránsito de la experiencia en campo y la exploración histórica del sistema, al trabajo experimental. En dicho tránsito, el laboratorio se convirtió en un nuevo escenario para, en términos de Valencia et al., (2003), artificializar el mundo natural. Es decir, el escenario donde tomar distancia de la experiencia inmediata vivida en la salida de campo, pero también de la relación cotidiana con el agua para imponerle condiciones, interrogarla, establecer variables, construir relaciones y derivar principios que permitan observarla de otra manera y enriquecer su comprensión.

Bajo esta perspectiva, las experiencias que se detallan a continuación permitieron que el agua tomara la condición de objeto de conocimiento a través del estudio de sus propiedades físicas. La primera de ellas buscaba establecer una comparación entre el comportamiento del agua frente al de otras sustancias, ante las variaciones de la temperatura. El experimento consistió en comparar los cambios de volumen del agua, el aceite y la miel al pasar de temperatura ambiente a la temperatura de los congeladores domésticos. Para ello, se les indicó a los estudiantes que colocaran 5 mL de cada sustancia en jeringas selladas, las llevaran al congelador durante 4 horas, después de las cuales debían medir nuevamente el volumen y describir los cambios en la apariencia de las tres sustancias. Los estudiantes estaban organizados en grupos cooperativos que previo al montaje, discutieron sobre referentes teóricos del comportamiento de la densidad en el agua en comparación con otras sustancias, y sobre esto, establecieron una hipótesis sobre lo que sucedería en el experimento. Después, de forma individual cada estudiante realizó el montaje en su casa, tratando de replicar las mismas condiciones, de forma que cada uno aportara uno de los ensayos para la prueba y diligenciaran la tabla de datos en un archivo colaborativo. Estos datos, ya de regreso en el salón, fueron el insumo para calcular los promedios del cambio de volumen, los cuales fueron representados en

gráficos de barras. En la figura 11 se observan algunos de los montajes realizados por los estudiantes en casa.

Figura 11.

Montajes experimentales de la primera experiencia de artificialización (Cambio de volumen de las sustancias vs. Temperatura)



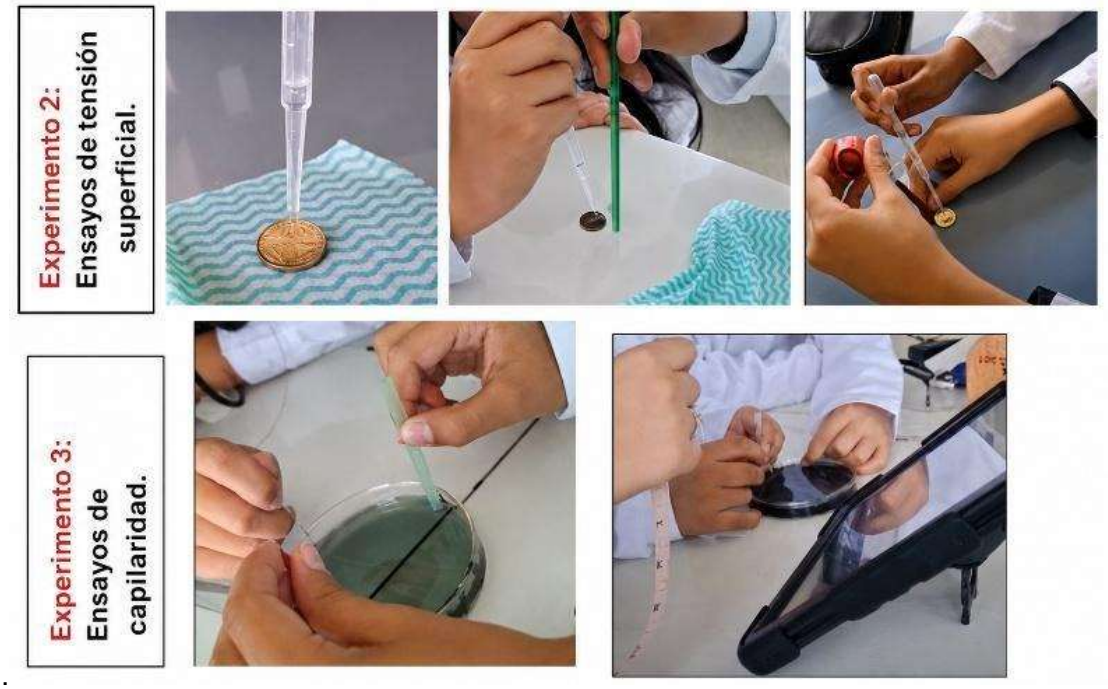
A partir de dichos resultados, cada grupo debía estructurar las conclusiones del experimento, usando una plantilla de redacción como guía, en la cual se retomaba la hipótesis propuesta por el grupo, el proceso, la descripción de los resultados, y la discusión de estos con la teoría, así como las posibles fuentes de error.

La segunda experiencia de laboratorio se centró en la exploración de la tensión superficial y consistió en comparar cuántas gotas de diferentes líquidos podían sostenerse sobre una moneda antes de que el domo formado en la superficie se rompiera. Los estudiantes trabajaron con agua, solución salina, solución azucarada y agua jabonosa, realizando varios

ensayos por sustancia. Además de contar el número de gotas, debían observar la forma del domo, su estabilidad, la manera en que se rompía y las diferencias entre las soluciones. Cada grupo debía realizar tres ensayos con cada una de las sustancias, los cuales registraban en una tabla de datos, sobre la cual debían calcular los promedios, graficar los resultados y al final responder a la pregunta: ¿cómo cambia la capacidad del agua para formar gotas cuando interactúa con otras sustancias?. Esta experiencia permitió hacer visible la capacidad del agua para formar superficies relativamente estables, así como la forma en que dicha propiedad se modifica cuando interactúa con otras sustancias. La figura 12 muestra a algunos estudiantes desarrollando el experimento sobre tensión superficial.

Figura 12

Ensayos de tensión superficial y capilaridad



.

La tercera experiencia de artificialización se enfocó en explorar la capilaridad del agua y sus cambios al ser mezclada con otras sustancias (Figura12) Consistió en observar y comparar el ascenso de diferentes líquidos a través de tubos de distinto diámetro (capilares, mezcladores

de café y pitillos). Los estudiantes usaron nuevamente agua, solución salina, solución azucarada y agua jabonosa, y registraron la altura alcanzada por cada líquido en cada tipo de tubo. Esta experiencia permitió explorar cómo el agua puede moverse en contra de la gravedad debido a sus propiedades de cohesión y adhesión en relación con la superficie de contacto; elementos que se incorporaron posteriormente al describir los movimientos del agua en el humedal y en las plantas. En este caso, cada grupo aportaba un ensayo con cada sustancia y los datos obtenidos se registraron en una sola tabla de datos para todo el grupo, con los cuales realizaron gráficos de barras.

Posteriormente, cada grupo debía responder las preguntas: ¿Qué elementos, condiciones o sustancias afectan el ascenso del líquido a través de un tubo? Y ¿Según los resultados, que hace posible que las sustancias viajen hacia arriba en contra de la fuerza de gravedad?

Durante las tres experiencias, el proceso en clase fue mediado por la docente mediante diferentes estrategias orientadas a la construcción de ambientes comunicativos (Valencia et al. (2003), que favorecieron el diálogo entre pares, con la maestra, con los recursos teóricos y con el propio experimento, permitiendo que los estudiantes expresaran inquietudes, contrastaran interpretaciones, discutieran resultados y construyeran significados de manera colectiva. En este sentido, la interacción comunicativa no fue un elemento accesorio del laboratorio, sino una condición que amplió la experiencia y dinamizó la teorización en el tránsito del experimento hacia procesos de formalización (Malagón et al., 2013, p. 128). Así, el trabajo en grupos cooperativos, los roles asignados, compartir el asombro frente al fenómeno, el diálogo con los textos, las discusiones frente a las preguntas, la construcción de los informes grupales en documentos colaborativos que a su vez se convierten en material de divulgación, entre otras que se irán detallando en el desarrollo de este apartado, constituyen formas de trabajo para la construcción colectiva del conocimiento.

En este sentido, la primera experiencia de laboratorio fue precedida por la construcción de la hipótesis, para lo cual los estudiantes recibieron información teórica sobre el comportamiento de la densidad de las sustancias en comparación con el agua a diferentes temperaturas, como se puede ver en la figura 13

Figura 13

Fragmento de la guía de laboratorio sobre el cambio de volumen de las sustancias al congelarse, con la transcripción al español

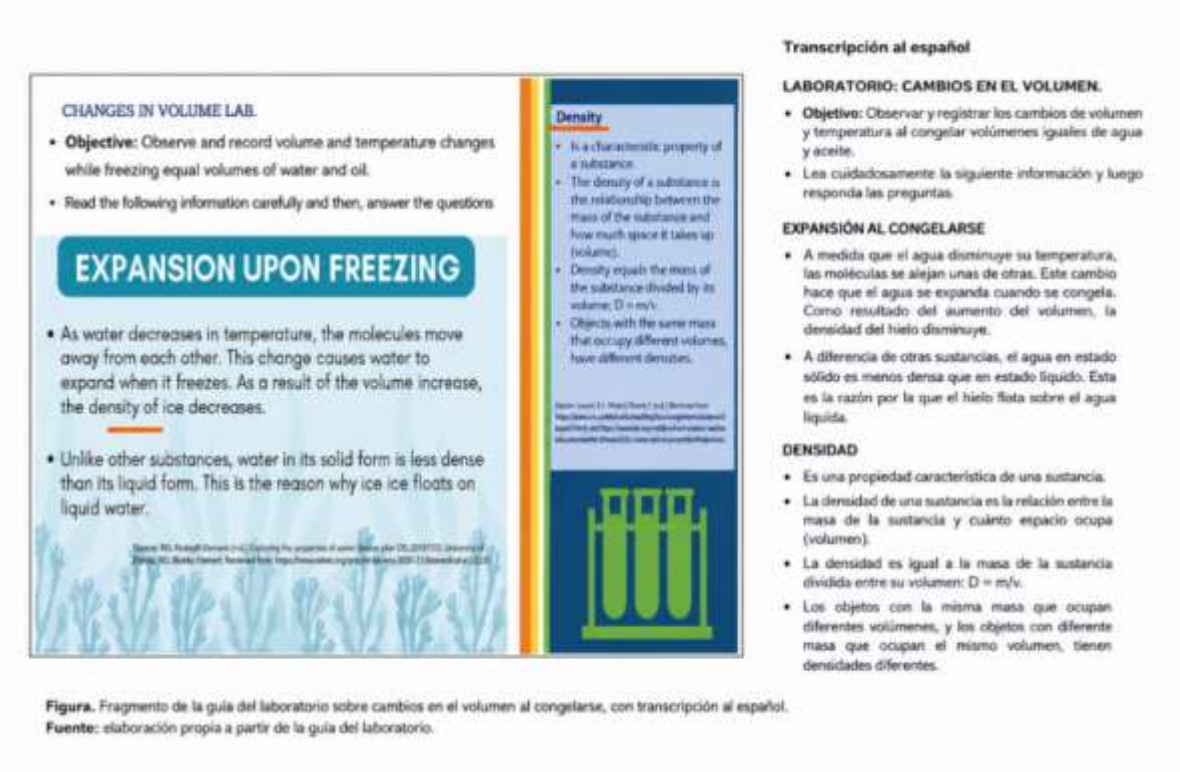


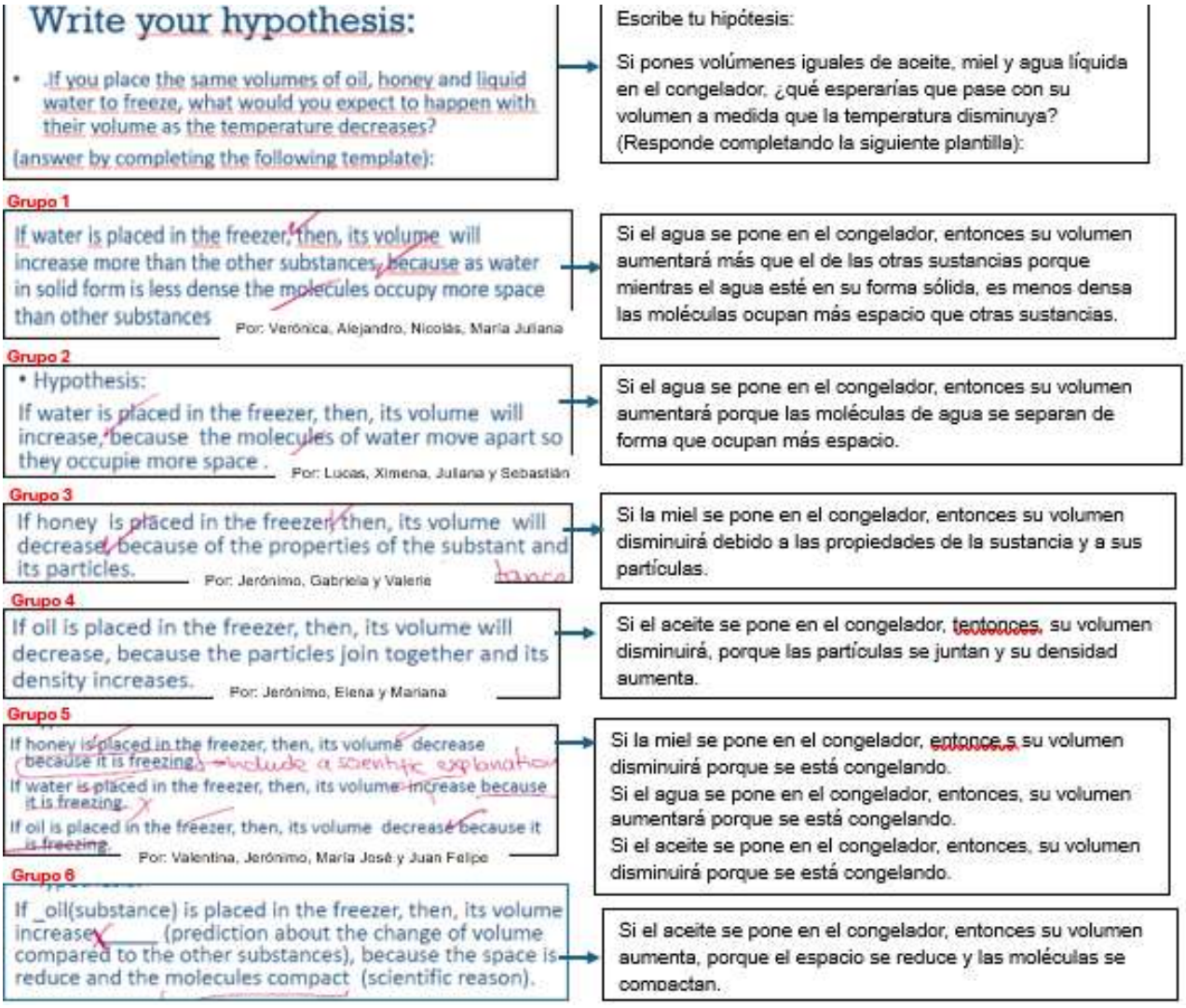
Figura. Fragmento de la guía del laboratorio sobre cambios en el volumen al congelarse, con transcripción al español.
Fuente: elaboración propia a partir de la guía del laboratorio.

A partir de dicha información y de la descripción del montaje que se haría, cada grupo de estudiantes estructuró su hipótesis, algunas de las cuales se transcriben en la figura 14

Este primer momento, buscaba centrar su atención hacia una propiedad particular del agua: su aumento de volumen al congelarse. Desde el enfoque de los problemas de conocimiento, esta etapa puede entenderse como parte de la artificialización del mundo natural, en tanto la experiencia se organiza para imponer condiciones al fenómeno, orientar la observación y poner a prueba una relación construida previamente (Valencia et al., 2003.).

Figura 14

Algunas hipótesis formuladas por los estudiantes sobre el laboratorio de congelamiento de sustancias



Si bien las hipótesis formuladas no constituyen una explicación respecto a la complejidad de la dinámica hídrica en el humedal, si evidencian un tránsito de una experiencia básica a una experiencia interrogada, pues los estudiantes no esperan simplemente ver qué se revela, sino que están decidiendo sobre los aspectos que privilegiarán para significar las relaciones entre temperatura, volumen y organización molecular. Se hace aquí un énfasis en la decisión, pues, aunque algunos de los aspectos a observar vienen enunciados desde el mismo

diseño experimental, la relevancia que cada estudiante o grupo de estudiantes les otorga a estos elementos, responde al conocimiento previo con el cual pueda interpretar los nuevos datos teóricos, (Hanson, 1958)

De esta manera, en los registros (figura 14) se puede observar como la exposición a un mismo cuerpo de información teórica no produce una organización homogénea de la experiencia. Aunque todos partieron de una explicación inicial sobre densidad, volumen, temperatura y comportamiento molecular de las sustancias, cada grupo seleccionó aspectos distintos del fenómeno para anticipar el resultado del experimento. Los grupos 1 y 2, por ejemplo, centraron su atención en el agua y explicaron su aumento de volumen en términos de la organización molecular, mientras que los grupos 3 y 4 focalizaron la mirada en la miel o en el aceite, apelando a las propiedades de la sustancia – idea que aún pareciera estar en abstracto-, a la organización de las partículas o al aumento de densidad. El grupo 5, por su lado, formuló explicaciones más concretas o con desaciertos teóricos, atribuyendo el cambio simplemente al hecho de congelarse y el grupo 6, si bien se aproxima a relacionar el espacio ocupado con la organización molecular, no logra ubicarla adecuadamente en la idea de volumen. Esta diversidad evidencia que la hipótesis no es una reproducción directa de la información recibida, sino una primera organización del fenómeno desde los marcos conceptuales individuales que a su vez son discutidos, modificados o aceptados en cada grupo de trabajo.

Visto desde la perspectiva de García (2006), estos registros confirman que no existen observables puros, pues toda observación está atravesada por relaciones previamente construidas por el sujeto (García, 2006, p. 42). Antes de medir o registrar los resultados, los estudiantes ya habían comenzado a seleccionar qué debía ser observado: el aumento o disminución del volumen, la congelación, la separación molecular, la unión de partículas o el cambio de densidad. En ese sentido, aunque todos trabajaron con las mismas sustancias y bajo una misma guía, no todos construyeron inicialmente el mismo fenómeno, porque cada grupo orientó su mirada desde relaciones conceptuales diferentes.

Este proceso invita a dialogar también con la propuesta de Malagón et al. (2013) respecto a cómo se entiende el rol de la actividad experimental en el devenir del conocimiento científico, a la construcción de fenomenologías y el desarrollo de procesos de formalización. Desde la perspectiva de estos autores, el fenómeno no es estático, sino que se transforma a medida que cambian las formas de organizarlo, describirlo y hablar de él (Malagón et al., 2013, pp. 122–123). Por ello, las diferencias entre las hipótesis no deben interpretarse únicamente en términos de acierto o error en términos del referente teórico, sino como indicios de las organizaciones que los estudiantes empiezan a hacer sobre el fenómeno. Hicieron visibles los énfasis, relaciones y obstáculos conceptuales desde los cuales los estudiantes comenzaron a configurar el agua como objeto de conocimiento y muestran los puntos de partida desde los cuales las ideas van a ser reorganizadas durante la medición, la comparación y la discusión colectiva.

La formalización de la experiencia: registros, cálculos, representaciones y ambientes comunicativos en la transformación de los significados sobre el agua

Si en el apartado anterior se evidenció cómo el proceso de construcción de la hipótesis posibilitó una primera organización del fenómeno previa a la experimentación, en este apartado, se busca revisar cómo esa organización inicial se fue transformando con el desarrollo de las experiencias de artificialización a través de un proceso de formalización colectiva de la experiencia. Aquí, se entiende la formalización en términos de Malagón et al., (2013), como el proceso mediante el cual se elaboran formas de hablar del fenómeno de forma más estructurada. Implica organizar, nombrar, describir, comparar, medir y establecer “clasificaciones, relaciones de orden, mediciones de diversos tipos y la configuración de la representación del fenómeno” y que van más allá de los aspectos cuantitativos, pues también toma la forma de “signos, palabras, dibujos, procedimientos, proposiciones, entre otras” (Malagon et al., 2013, pp.130,131),

Este proceso de formalización en las tres experiencias descritas estuvo dinamizado por diferentes herramientas, como fueron las guías de laboratorio, los procesos de cálculo, el registro en las tablas de datos, las descripciones, la representación gráfica de los resultados y los espacios de discusión. Si en la etapa anterior las hipótesis permitieron focalizar la mirada, en esta fase, las herramientas mencionadas permitieron que los estudiantes pasaran de una relación cotidiana del agua a configurarla como un objeto de conocimiento cuyas propiedades pueden ser medidas, registradas, comparadas, interpretadas y resignificadas colectivamente.

Este empieza a estructurarse desde el momento en que los estudiantes tienen contacto con la guía de laboratorio, la cual incluía instrucciones procedimentales, contenido teórico, preguntas, formatos de registro y plantillas de redacción. La presencia de estos elementos estructuró una forma particular de interrogar el agua: qué sustancias comparar, en qué condiciones, qué cambios observar, cómo registrar los datos y de qué manera discutir los resultados para resignificarlos desde el intercambio de ideas. (Un ejemplo de guía de laboratorio puede verse en el anexos 1.

En los laboratorios desarrollados, las guías y los formatos de registro funcionaron como mediaciones para que los estudiantes pasaran de una relación cotidiana con el agua a hablar de ella en términos de magnitudes, procesos y transformaciones. Por ejemplo, en el primer experimento (Figuras 15 y 16), el agua, la miel y el aceite, sustancias de uso común para los estudiantes se describen en cuanto a su volumen, cómo este cambia en relación con otra magnitud, que en este caso se aborda de forma cualitativa (temperatura ambiente y en el congelador) y partiendo de allí, se establecen comparaciones entre el comportamiento de las sustancias cuando son sometidas a condiciones similares. Aquí las medidas revisten una importancia adicional, pues se evidencia que sólo el registro de los datos es insuficiente para establecer estas relaciones e invita a los estudiantes a incorporar procesos matemáticos para enriquecer su análisis. Así, el cálculo de promedios, la resta como herramienta de comparación entre estados iniciales y finales, para algunos puede plantear un reto adicional, según tengan

asimilados estos procedimientos; pero también, les brinda nuevos escenarios para darle sentido a las operaciones matemáticas, en cuanto les permiten describir con mayor precisión el objeto de estudio.

Otro aspecto importante que se puede evidenciar en los registros de los estudiantes está relacionado con la posibilidad que representó la estructura de la tabla para establecer un diálogo entre las descripciones cuantitativas y cualitativas. Expresiones como las que se observan en la figura 15 “fue el único que aumentó su volumen y fue el único que se fundió más lentamente”, “se volvió blancuzco y pegajoso. Su volumen no cambió”, dejan ver el significado dado a los números como descriptores de los cambios de volumen, pero además muestran que la atención de cada estudiante ante el fenómeno estaba puesta en cualidades diferentes. Mientras Lucas se interesó en el cambio de estado después del experimento, Ximena, Juliana y Juan les dieron relevancia a los cambios en la apariencia y textura de las sustancias. Pero, adicional a esto, en el comentario de Ximena “creo que la jeringa estaba un poco abierta, así que el agua se filtró un poco, se congeló y el volumen disminuyó”, se evidencia un interés personal por la forma en que el procedimiento puede afectar los resultados.

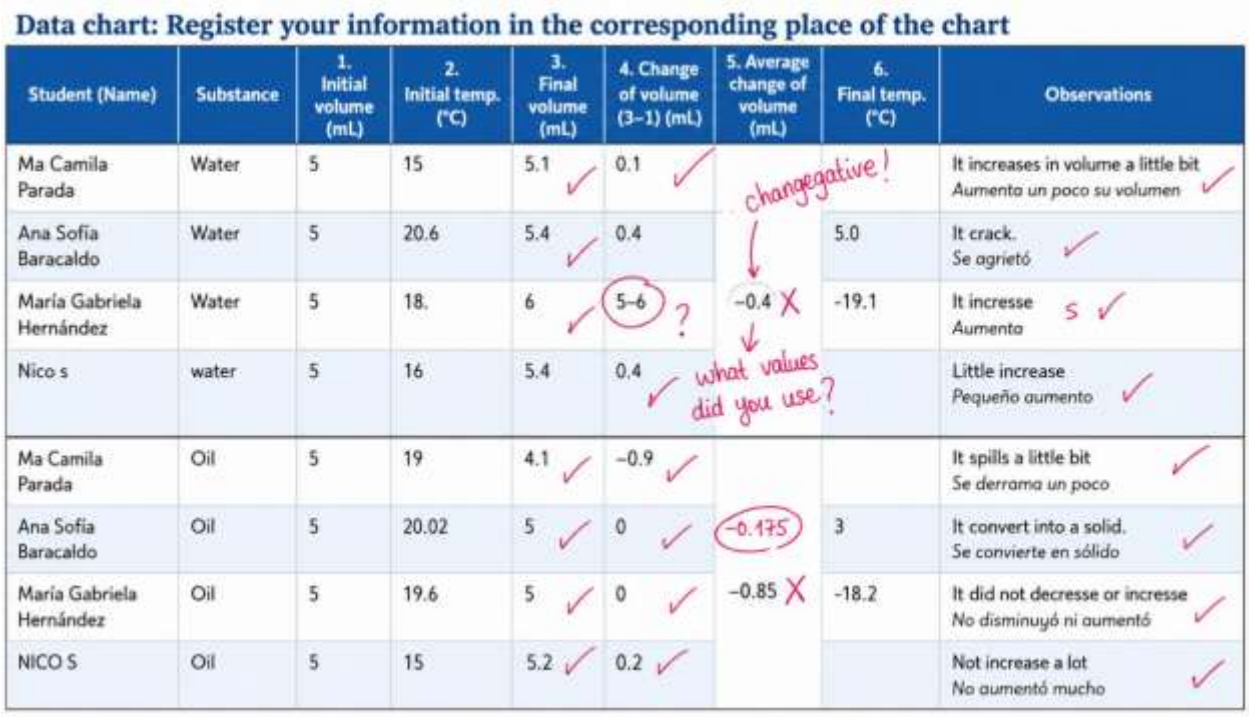
Figura 15.

Ejemplo 1 de la tabla de datos del laboratorio sobre cambio de volumen de las sustancias en el congelador

Student (Name)	Substance	1.Initial volume (µmL)	2.Initial temp.(°C)	3 Final volume (mL)	4.Change of volume (3-1) (mL)	5.Average change of volume (mL)	6.Final temp. (°C)	Observations
Lucas	Water	5 ml	20.8	6.2	1.2	1.35	1.7	It was the only one wich increased volume and was the one wich in the one melted the slowest. *(Fue el único que aumentó su volumen y fue el que se fundió más lentamente).*
Ximena	Water	5ml		1.4	3.2			I think that the strivnge was a litle bit open so the water went through it alitle bit, it freez, and volume decreased. *(Creo que la jeringa estaba un poco abierta, así que el agua se filtró un poco, se congeló y el volumen disminuyó).*
Juliana	Water	5ml		5.1	0.1			It freezed and increased the volume *(Se congeló y aumentó el volumen).*
Juan	Water	5ml		5.9	0.9			It was the only one that increased the volume *(Fue el único que aumentó el volumen).*
Lucas	Oil	5 ml	20.5	5	0	0.25	1.8	It became kind of white and sticky , its volume did not changed *(Se volvió kind of white y pegajoso, su volumen no cambió).*
Ximena	Oil	5ml		4.4	1.0			Thesubstance wnow is white and stiky the volume didn't change *(La sustancia ahora es blanca y pegajosa, el volumen no cambió).*
Juliana	Oil	5ml		5	0			It turned white and freezed but the volume didn't change. *(Se volvió blanca y se congeló pero el volumen no cambió).*
Juan	Oil	5ml		5	0.0			It freeze but the volume did not change and it became white *(Se congeló pero el volumen no cambió y se volvió blanco).*
Lucas	Honey	5 ml	30.3	4.5	-0.5	0	2.3	The volume decreased, It melted quite fast *(El volumen disminuyó, se derritió bastante rápido).*
Ximena	Honey	5ml		5.5	0.5			The volume sancreased alitle bit the substance is freezed and alitle litle stiki, it didn't changr color *(El volumen aumentó un poco, la sustancia está congelada y un poco pegajosa, no cambió de color).*

Figura 16.

Ejemplo 2 de la tabla de datos del laboratorio sobre cambio de volumen de las sustancias en el congelador



Data chart: Register your information in the corresponding place of the chart

Student (Name)	Substance	1. Initial volume (mL)	2. Initial temp. (°C)	3. Final volume (mL)	4. Change of volume (3–1) (mL)	5. Average change of volume (mL)	6. Final temp. (°C)	Observations
Ma Camila Parada	Water	5	15	5.1 ✓	0.1 ✓	changegative!		It increases in volume a little bit *Aumenta un poco su volumen* ✓
Ana Sofía Baracaldo	Water	5	20.6	5.4 ✓	0.4		5.0	It crack. *Se agrietó* ✓
María Gabriela Hernández	Water	5	18.	6 ✓	5–6 ?	−0.4 X	-19.1	It incresse s ✓ *Aumenta*
Nico s	water	5	16	5.4	0.4 ✓	what values did you use?		Little increase *Pequeño aumento* ✓
Ma Camila Parada	Oil	5	19	4.1 ✓	−0.9 ✓			It spills a little bit *Se derrama un poco* ✓
Ana Sofía Baracaldo	Oil	5	20.02	5 ✓	0 ✓	−0.175	3	It convert into a solid. *Se convierte en sólido* ✓
María Gabriela Hernández	Oil	5	19.6	5 ✓	0 ✓	−0.85 X	-18.2	It did not decresse or incresse *No disminuyó ni aumentó* ✓
NICO S	Oil	5	15	5.2 ✓	0.2 ✓			Not increase a lot *No aumentó mucho* ✓

La emergencia de estas interpretaciones diversas también fue potenciada por posibilidades que ofrecía el archivo compartido, pues este podía ser editado por todos los integrantes de cada grupo de forma sincrónica o asincrónica, y cada cambio quedaba visible para todos de manera inmediata. Este hecho abrió oportunidades de participación para todos por igual y expuso a cada estudiante a las percepciones y puntos de vista de sus compañeros, aun cuando esta parte del trabajo se hubiera realizado de forma individual. Esta posibilidad de compartir las elaboraciones propias pudo ampliar el campo de significación del fenómeno para todos los miembros del equipo al ofrecerles mayor diversidad de elementos para abordar las fases posteriores de la experiencia.

Este aspecto también se puede evidenciar en el ejemplo de la figura 17, que corresponde a apartes del informe del laboratorio de uno de los grupos, donde se muestra la progresión de su proceso de formalización de la experiencia, desde la tabla de datos hasta la

conclusión. En este informe, el grupo presenta una pieza comunicativa de gran valor, que partió del trabajo experimental individual, pero que fue adquiriendo sentido en las etapas grupales al conversar sobre los registros, procesar los datos, validar colectivamente las observaciones, decidir sobre los mejores instrumentos de representación (cada estudiante debía elaborar la gráfica en su cuaderno, y después en grupo decidían cuál se usaría para el informe) y finalmente decidir cómo incorporar esos insumos para estructurar la conclusión.

En este registro (Figura 17) se puede ver además cómo los estudiantes trascienden de la ejecución del experimento a formas más precisas de describir el comportamiento de las sustancias. En la tabla de datos, las describen en términos de las variables preestablecidas que posibilitan su comparación (volumen inicial, volumen final y cambio de volumen), la cual además los estudiantes hacen explícita en las observaciones, evidenciando que hay un proceso -acertado- de interpretación de los datos para describir el fenómeno.

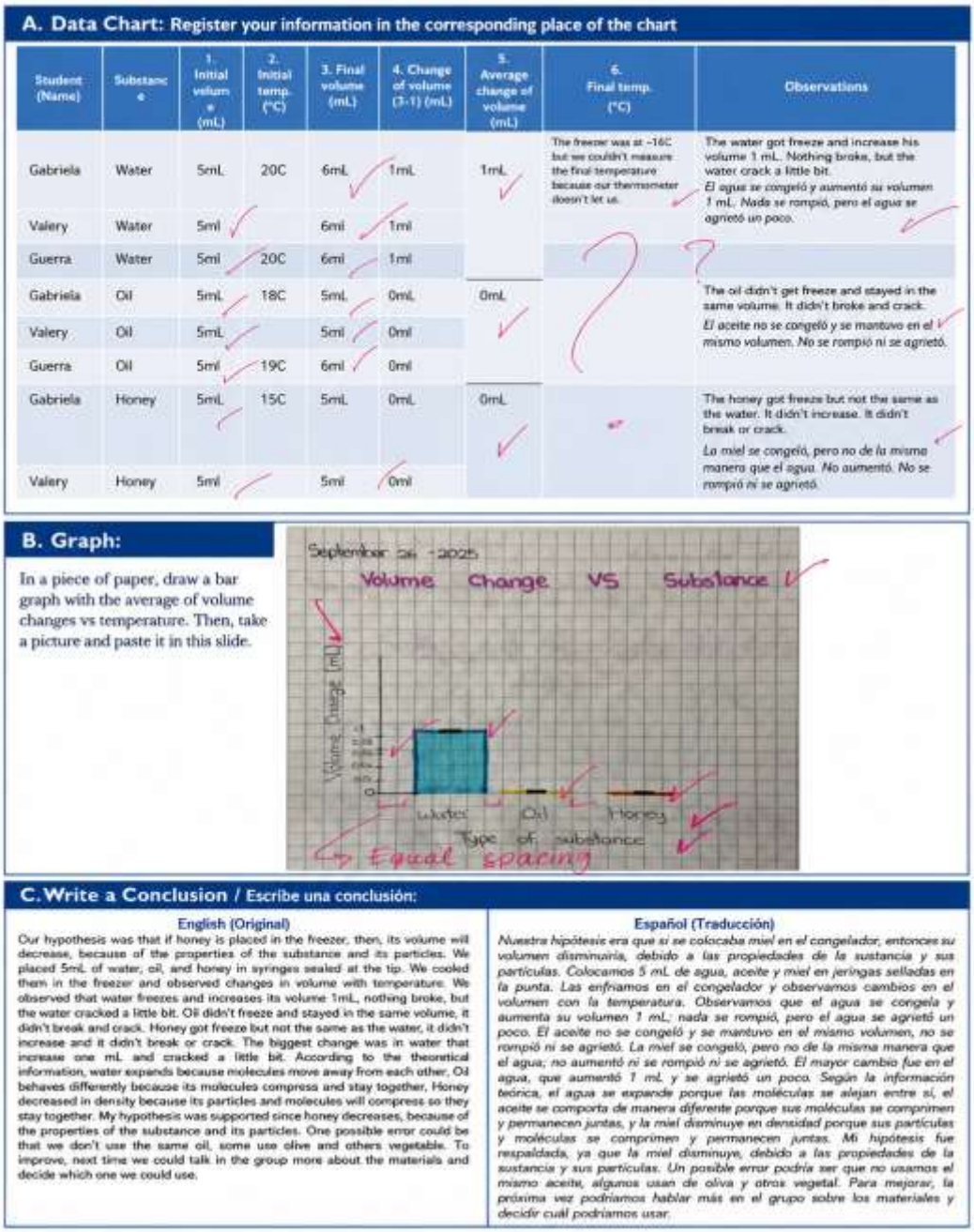
Pero otro aspecto a resaltar es que a partir del ejercicio experimental y de observación, emergen para los estudiantes otras variables cualitativas que para ellos guardan relación con los resultados cuantitativos, como lo declaran tanto en las observaciones de la tabla como en la conclusión. Estas son, el congelamiento y el agrietamiento de las sustancias, que lejos de aparecer como información secundaria, hacen parte del proceso mediante el cual los estudiantes reorganizan sus ideas sobre el agua: ya no se trata solo de una sustancia que cambia de volumen en el congelador, sino de una sustancia cuyo cambio de volumen, estado físico y apariencia pueden ponerse en relación para explicar un comportamiento particular frente a ciertas condiciones de temperatura.

Otro aspecto a resaltar en el proceso de formalización está relacionado con la traducción de la de la tabla de datos al gráfico de barras, la cual les permite visualizar dicho patrón, pero que más allá de ser un método más de representación, se constituye en una práctica de organización del pensamiento, pues, independientemente de la precisión lograda, les implica tomar decisiones sobre qué variables utilizar, cómo ubicarlas en el eje

correspondiente, cómo distribuir cada una de las categorías, cómo escalar las magnitudes en el espacio de la gráfica y cómo ubicar los resultados para comunicar las tendencias de los datos. Es decir, implica que los estudiantes estructuren un nuevo lenguaje para hablar del fenómeno.

Figura 17

Apartados de un informe de laboratorio sobre congelación de las sustancias.



A. Data Chart: Register your information in the corresponding place of the chart

Student (Name)	Substance	1. Initial volume (mL)	2. Initial temp. (°C)	3. Final volume (mL)	4. Change of volume (3-1) (mL)	5. Average change of volume (mL)	6. Final temp. (°C)	Observations
Gabriela	Water	5mL	20C	6mL	1mL	1mL	The freezer was at -16C but we couldn't measure the final temperature because our thermometer doesn't let us.	The water got freeze and increase his volume 1 mL. Nothing broke, but the water crack a little bit. *El agua se congeló y aumentó su volumen 1 mL. Nada se rompió, pero el agua se agrietó un poco.*
Valery	Water	5ml		6ml	1ml			
Guerra	Water	5ml	20C	6ml	1ml			
Gabriela	Oil	5mL	18C	5mL	0mL	0mL		The oil didn't get freeze and stayed in the same volume. It didn't broke and crack. *El aceite no se congeló y se mantuvo en el mismo volumen. No se rompió ni se agrietó.*
Valery	Oil	5mL		5ml	0ml			
Guerra	Oil	5ml	19C	6ml	0ml			
Gabriela	Honey	5mL	15C	5mL	0mL	0mL		The honey got freeze but not the same as the water. It didn't increase. It didn't break or crack. *La miel se congeló, pero no de la misma manera que el agua. No aumentó. No se rompió ni se agrietó.*
Valery	Honey	5ml		5ml	0ml			

B. Graph:

In a piece of paper, draw a bar graph with the average of volume changes vs temperature. Then, take a picture and paste it in this slide.

C. Write a Conclusion / Escribe una conclusión:

English (Original)

Our hypothesis was that if honey is placed in the freezer, then, its volume will decrease, because of the properties of the substance and its particles. We placed 5mL of water, oil, and honey in syringes sealed at the tip. We cooled them in the freezer and observed changes in volume with temperature. We observed that water freezes and increases its volume 1mL, nothing broke, but the water cracked a little bit. Oil didn't freeze and stayed in the same volume, it didn't break and crack. Honey got freeze but not the same as the water, it didn't increase and it didn't break or crack. The biggest change was in water that increase one mL and cracked a little bit. According to the theoretical information, water expands because molecules move away from each other, Oil behaves differently because its molecules compress and stay together, Honey decreased in density because its particles and molecules will compress so they stay together. My hypothesis was supported since honey decreases, because of the properties of the substance and its particles. One possible error could be that we don't use the same oil, some use olive and others vegetable. To improve, next time we could talk in the group more about the materials and decide which one we could use.

Español (Traducción)

Nuestra hipótesis era que si se colocaba miel en el congelador, entonces su volumen disminuiría, debido a las propiedades de la sustancia y sus partículas. Colocamos 5 mL de agua, aceite y miel en jeringas selladas en la punta. Las enfriamos en el congelador y observamos cambios en el volumen con la temperatura. Observamos que el agua se congela y aumenta su volumen 1 mL; nada se rompió, pero el agua se agrietó un poco. El aceite no se congeló y se mantuvo en el mismo volumen, no se rompió ni se agrietó. La miel se congeló, pero no de la misma manera que el agua; no aumentó ni se rompió ni se agrietó. El mayor cambio fue en el agua, que aumentó 1 mL y se agrietó un poco. Según la información teórica, el agua se expande porque las moléculas se alejan entre sí, el aceite se comporta de manera diferente porque sus moléculas se comprimen y permanecen juntas, y la miel disminuye en densidad porque sus partículas y moléculas se comprimen y permanecen juntas. Mi hipótesis fue respaldada, ya que la miel disminuye, debido a las propiedades de la sustancia y sus partículas. Un posible error podría ser que no usamos el mismo aceite, algunos usan de oliva y otros vegetal. Para mejorar, la próxima vez podríamos hablar más en el grupo sobre los materiales y decidir cuál podríamos usar.

Ahora bien, esta organización del pensamiento no gira sólo en torno al fenómeno, sino también frente a las condiciones para interrogarlo. La observación que incluyen en la tabla sobre la limitación del termómetro - similar a lo que evidenció Ximena con el fallo de la jeringa en la figura 15 y la frase “no usamos el mismo aceite, algunos usan de oliva y otros, vegetal” en el apartado de la conclusión, dan un indicio de la importancia asignada por los estudiantes a los instrumentos de medición, pero también del reconocimiento de que los datos no son necesariamente transferibles para explicar el comportamiento de otras sustancias. Estos aspectos permiten inferir que, al materializar diferentes formas de hablar del fenómeno, los estudiantes empiezan a generar organizaciones mentales particulares sobre las formas de interrogar la naturaleza y de su validez o utilidad para construir conocimiento sobre ella.

Una de las conclusiones que se puede tomar de esta experiencia es que el plan de trabajo establecido en la guía de laboratorio fue dinamizada por los estudiantes durante los diferentes espacios comunicativos, para elaborar un material de divulgación que documenta su proceso experimental y con él, las reorganizaciones mentales que se fueron generando hasta elaborar una conclusión que da cuenta del fenómeno que se develó ante ellos. De esta manera se evidencia que, como lo dicen Valencia et al., (2003), “configurar un ambiente de trabajo en el aula, en donde las responsabilidades individuales, las opiniones y el deseo de saber se conjuguen en una búsqueda común… genera las condiciones para la construcción de explicaciones, el desarrollo de argumentaciones y la solución de problemas significativos”.

Pero esta esta de diferenciación mediante la artificialización del mundo natural para estudiar las propiedades del agua, como se ha mencionado, no se agota en la experiencia sobre el cambio del volumen en el congelamiento. Los otros dos laboratorios se desarrollaron de forma similar, excepto que estas no iniciaron con la formulación de una hipótesis, sino que partieron directamente de la fase de experimentación.

Así, el segundo laboratorio les permitió hablar explorar la tensión superficial, la adhesión y la cohesión del agua, aunque inicialmente relatadas en términos de la formación y

destrucción (o explosión) de domos en relación con el número de gotas que soportaban antes de romperse, como se puede evidenciar en la figura 18.

Figura 18

Estudiantes llevando a cabo la fase experimental de la segunda experiencia de artificialización



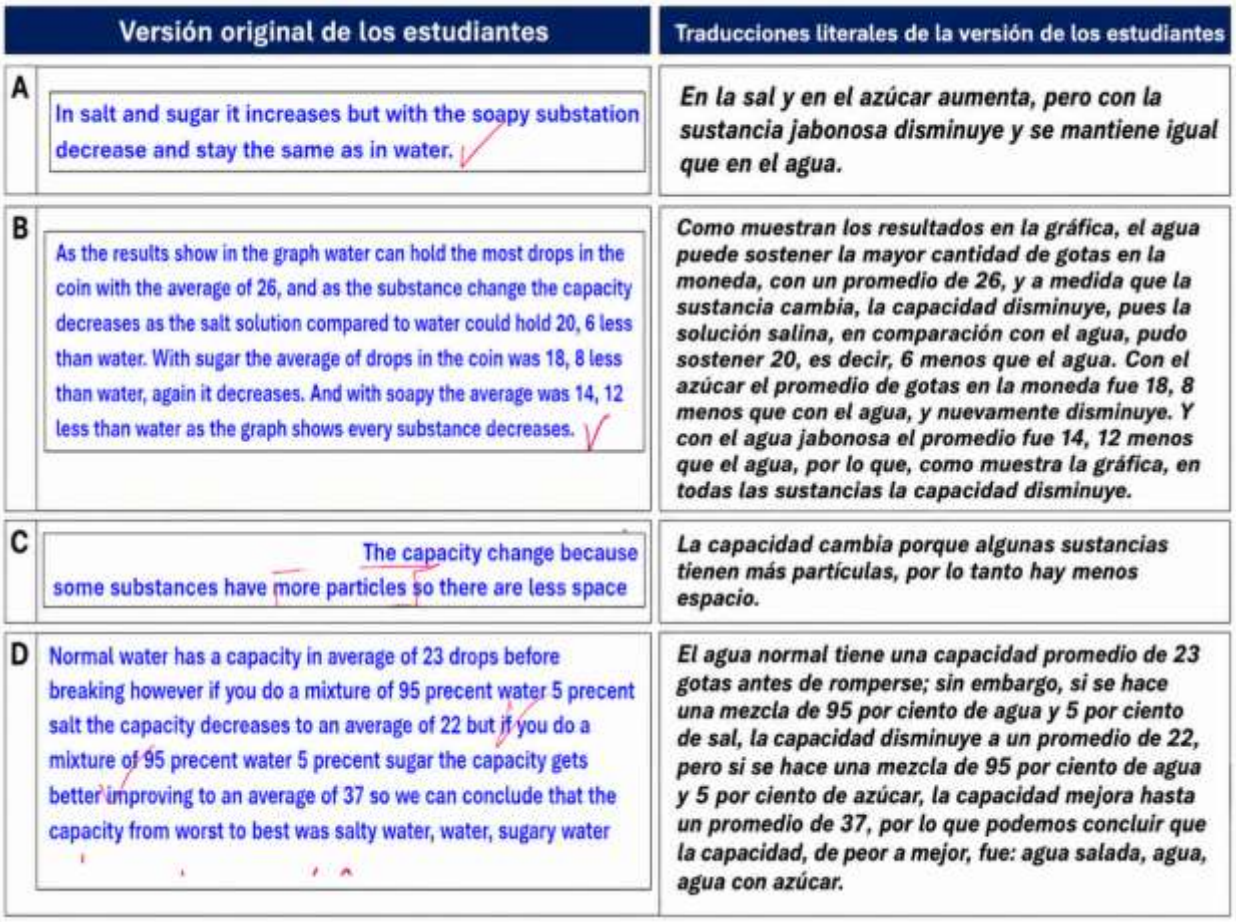
RESULTS LAB 2: Register your results in the following chart

Substance	Trial 1 (drops)	Trial 2 (drops)	Trial 3 (drops)	Average (drops)	Observations (shape of dome, how it broke, etc.)
Water (control)	24	21	23	22.66	The bubble was median and the dome exploded at a regular amount of trials. *(La burbuja era mediana y el domo explotó tras una cantidad regular de ensayos).*
Salt solution (5%)	12	20	11	14.33	It was a low dome and exploded on a big way leaving a big drop *(Era un domo bajo y explotó de una manera grande, dejando una gota grande).*
Sugar solution (5%)	19	17	22	19.333	The dome was bigger and exploded the same as the other substances. *(El domo era más grande y explotó de la misma manera que las otras sustancias).*
Soapy water (1%)	10	19	13	14	The dome was smaller and collapsed faster than the others *(El domo era más pequeño y colapsó más rápido que los demás).*

Como en la primera experiencia, los estudiantes pusieron en diálogo las descripciones cuantitativas y cualitativas y representaron los datos en diagramas de barras, lo cuales usaron como principal insumo para responder a la pregunta: ¿Cómo cambia la capacidad del agua para formar gotas cuando interactúa con otras sustancias? Algunos ejemplos de respuesta se muestran en la figura 19.

Figura 19

Algunas respuestas de los grupos a la pregunta ¿ ¿Cómo cambia la capacidad del agua para formar gotas cuando interactúa con otras sustancias?



	Versión original de los estudiantes	Traducciones literales de la versión de los estudiantes
A	In salt and sugar it increases but with the soapy substation decrease and stay the same as in water.	*En la sal y en el azúcar aumenta, pero con la sustancia jabonosa disminuye y se mantiene igual que en el agua.*
B	As the results show in the graph water can hold the most drops in the coin with the average of 26, and as the substance change the capacity decreases as the salt solution compared to water could hold 20, 6 less than water. With sugar the average of drops in the coin was 18, 8 less than water, again it decreases. And with soapy the average was 14, 12 less than water as the graph shows every substance decreases.	*Como muestran los resultados en la gráfica, el agua puede sostener la mayor cantidad de gotas en la moneda, con un promedio de 26, y a medida que la sustancia cambia, la capacidad disminuye, pues la solución salina, en comparación con el agua, pudo sostener 20, es decir, 6 menos que el agua. Con el azúcar el promedio de gotas en la moneda fue 18, 8 menos que con el agua, y nuevamente disminuye. Y con el agua jabonosa el promedio fue 14, 12 menos que el agua, por lo que, como muestra la gráfica, en todas las sustancias la capacidad disminuye.*
C	The capacity change because some substances have more particles so there are less space	*La capacidad cambia porque algunas sustancias tienen más partículas, por lo tanto hay menos espacio.*
D	Normal water has a capacity in average of 23 drops before breaking however if you do a mixture of 95 precent water 5 precent salt the capacity decreases to an average of 22 but if you do a mixture of 95 precent water 5 precent sugar the capacity gets better improving to an average of 37 so we can conclude that the capacity from worst to best was salty water, water, sugary water	*El agua normal tiene una capacidad promedio de 23 gotas antes de romperse; sin embargo, si se hace una mezcla de 95 por ciento de agua y 5 por ciento de sal, la capacidad disminuye a un promedio de 22, pero si se hace una mezcla de 95 por ciento de agua y 5 por ciento de azúcar, la capacidad mejora hasta un promedio de 37, por lo que podemos concluir que la capacidad, de peor a mejor, fue: agua salada, agua, agua con azúcar.*

Como se puede observar en las respuestas de la figura 19, los estudiantes empiezan a organizar el fenómeno en términos comparativos, recurriendo a las tendencias observadas en las tablas de datos. Es importante resaltar los diferentes grados de precisión con los que cada grupo lo hace, aunque todos establecen como punto de referencia el agua sin ningún aditivo. Así, el grupo A sintetiza la comparación sin añadir ningún dato cuantitativo y la establece en términos de las que aumentan y las que disminuyen su capacidad mientras que los grupos B y D organizan los datos en patrón de decrecimiento de la capacidad de las sustancias para

sostener las gotas en el domo, incorporando y clasificando los datos cuantitativos. El grupo D va más allá, pues establece una relación con las concentraciones de las sustancias, lo que podría leerse como una forma de explicitar que los resultados obtenidos, sólo ocurren bajo las condiciones particulares del montaje. Dado que, en el anterior experimento, se tuvo una observación similar sobre la confiabilidad de los datos respecto al aceite utilizado (ver figura 17) y que en varios registros no consignados aquí se observaron descripciones similares, se puede inferir que en varios estudiantes lograron no sólo crear nuevas organizaciones respecto a las propiedades del agua, sino también sobre el proceder de la indagación científica en términos de la artificialización.

Otro elemento para resaltar de este registro es que en este punto de las experiencias, los estudiantes no han estado expuestos a ningún contenido teórico que se aproxime explicar la formación de los domos. Sin embargo, el grupo C, en lugar de hacer una lectura de los datos obtenidos, se aventura a dar una explicación que termina siendo desacertada en cuanto recurren al campo teórico que enmarcó la primera experiencia. Esto es importante, porque invita a poner la atención del docente en las diversas formas en que los estudiantes recurren a las fuentes de conocimiento para organizar su experiencia y desde allí, diseñar nuevos espacios comunicativos (puesta en común, diálogos, relecturas, etc), que permitan resignificar las experiencias colectivamente y construir lenguajes comunes para referirse al fenómeno estudiado. Esto se logra en el desarrollo de las actividades que se desarrollaron después. Como se explicó al inicio de este apartado, la tercera experiencia se centró en el estudio de las condiciones que afectan la capilaridad del agua. En la fase experimental se utilizaron las mismas sustancias de la experiencia anterior y se midió el ascenso de cada una por tubos de diferentes diámetros (capilares, agitadores de café y pitillos), como se muestra en la figura 20.

Figura 20.

Estudiantes midiendo el ascenso de diferentes sustancias por tubos de diferente diámetro.



De este experimento también se derivó una tabla de datos y un gráfico de barras, a partir de los cuales los estudiantes identificaron las condiciones que influyeron en el ascenso de los líquidos y se aproximaron a explicar por qué algunas sustancias pueden moverse en contra de la gravedad.

Las respuestas a estas preguntas fueron variadas. Muchos de ellos hablaron de la longitud y amplitud de los tubos, las diferentes concentraciones de las soluciones y algunos establecieron inferencias sobre de la capacidad de adherencia de las moléculas. Otros, por el contrario, hablaron de las propiedades de las sustancias en abstracto, sin involucrar las condiciones del ensayo.

Nuevamente, esto permite ver que participar de la misma experiencia, no implica una lectura uniforme de la misma, por lo que los espacios para el intercambio de opiniones, percepciones y explicaciones constituyen una condición ineludible para la construcción del conocimiento en el aula, como se puede verificar en la experiencia que se describe a continuación.

Hasta el momento, las organizaciones construidas por los estudiantes sobre el fenómeno se soportaban principalmente en la experiencia sensorial de la artificialización: lo que se podía ver, medir, tocar, bajo ciertas condiciones impuestas en el laboratorio. Con estas configuraciones, los estudiantes habían pasado de relacionarse con las sustancias desde lo cotidiano y podían ya hablar de ellas en términos de magnitudes, de cambios evidentes y de comparaciones. Es decir, podían describir qué ocurría. Sin embargo, hasta el momento se había llevado un proceso incipiente de teorización, mediado por el acceso a material teórico al inicio de la primera experiencia. La siguiente etapa, entonces, consistió en poner a los estudiantes, de forma individual en situación de diálogo con diferentes fuentes teóricas (textos, videos, imágenes) sobre algunas propiedades del agua, como son la capacidad de expandirse a bajas temperaturas, su tensión superficial, la capacidad de adhesión y cohesión de sus partículas, su sobre su capilaridad, así como la relación de estas propiedades con el sostenimiento de lo vivo.

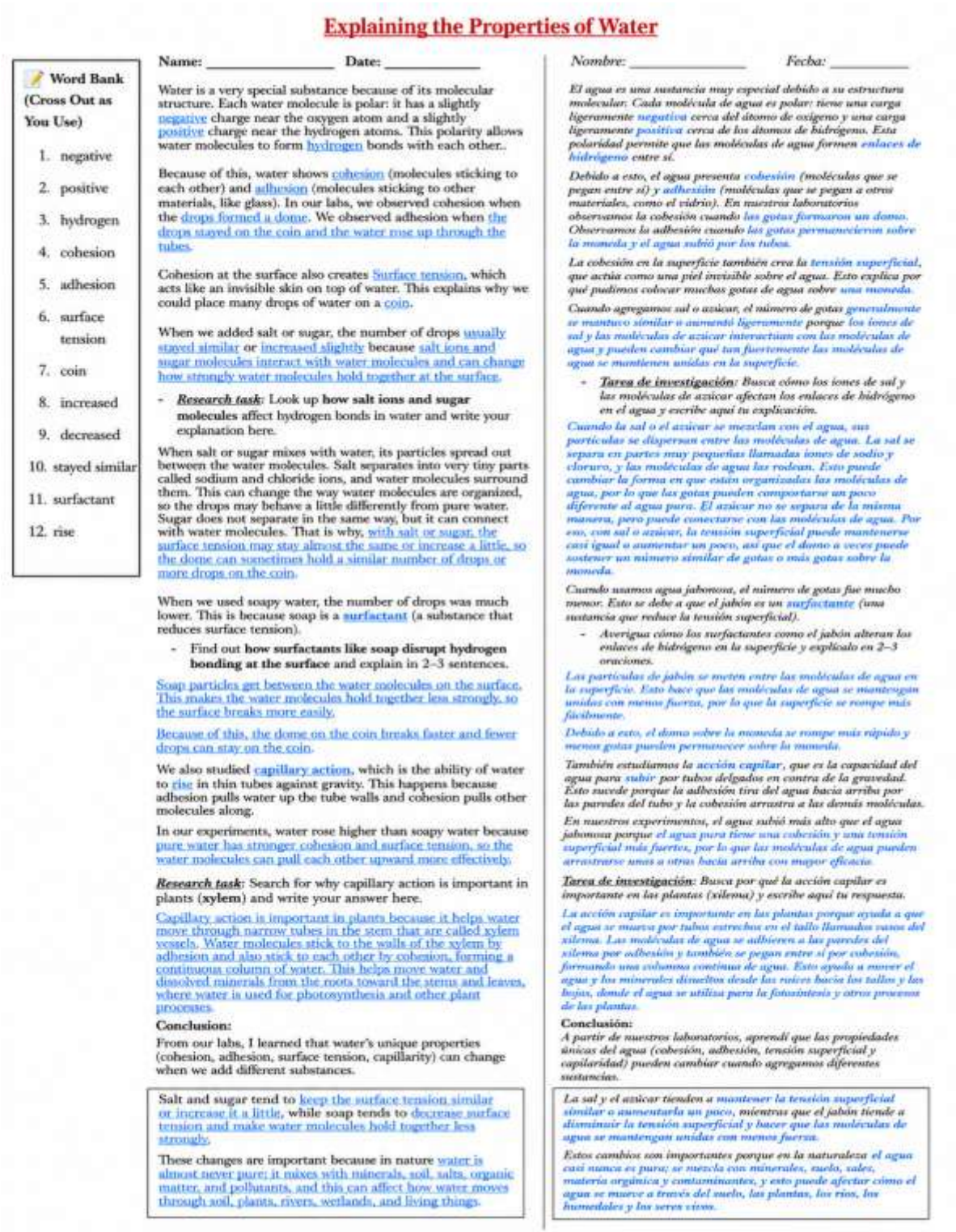
El ejercicio consistía en que cada estudiante seleccionaba el tipo de fuente con el que tuviera afinidad y usaba esa información, en contraste con las tres experiencias de laboratorio, para construir una explicación sobre estas propiedades cuando el agua entra a interactuar con otras sustancias. Esta explicación estaba estructurada en una plantilla de redacción, en la que debían ir incorporando sus hallazgos. Este ejercicio configuró relaciones alternativas con la información, pues entró a hacer parte de un proceso de negociación de significados, donde no sólo la experiencia era cuestionada por la teoría, sino que la teoría misma se ponía en cuestión a partir de los resultados, generando algunos conflictos cognitivos para los estudiantes, sobre todo a la hora de analizar los resultados de capilaridad y de tensión superficial, pues los resultados de estos laboratorios, en todos los casos no fueron igual de consistentes. Esto llevó a reflexiones sobre la rigurosidad en los procedimientos, a considerar fuentes de error que no habían surgido antes, pero también, a comprender que hay otras maneras de mirar los productos teóricos de la ciencia y los métodos mediante los que estos se generan; que no

deben ser asumidos como verdades absolutas e inmutables sino que son siempre susceptibles de ser cuestionados. Aquí entonces, la información teórica adquirió un rol dinamizador y o determinante del pensamiento de los estudiantes.

Después del ejercicio individual, cada estudiante podía compartir sus explicaciones con el grupo de trabajo o en parejas, para discutirlo, ajustarlo, complementarlo o cambiarlo. Este espacio de socialización permitió además contrastar las diferentes comprensiones que se tuvieron sobre el material teórico por lo que las dudas al respecto fueron tomando formas más claras que pudieron ser abordadas por la docente, para retroalimentar el proceso. Cuando se evidenció una comprensión suficiente de este material, los trabajos se socializaron con todo el grupo, fue discutido y enriquecido por los aportes de los estudiantes con moderación de la docente, hasta que se llegó a un acuerdo sobre la versión final de la explicación, que, además, serviría como material de divulgación y de consulta para las siguientes fases en la comprensión de la dinámica hídrica del humedal Torca Guaymaral. El resultado del consenso se presenta en la figura 21.

Figura 21

Explicación sobre las propiedades del agua y su relación con las plantas, producto del consenso de la clase.



Explaining the Properties of Water

Word Bank (Cross Out as You Use)

1. negative
2. positive
3. hydrogen
4. cohesion
5. adhesion
6. surface tension
7. coin
8. increased
9. decreased
10. stayed similar
11. surfactant
12. rise

Name: _____ **Date:** _____

Water is a very special substance because of its molecular structure. Each water molecule is polar: it has a slightly negative charge near the oxygen atom and a slightly positive charge near the hydrogen atoms. This polarity allows water molecules to form hydrogen bonds with each other..

Because of this, water shows cohesion (molecules sticking to each other) and adhesion (molecules sticking to other materials, like glass). In our labs, we observed cohesion when the drops formed a dome. We observed adhesion when the drops stayed on the coin and the water rose up through the tubes.

Cohesion at the surface also creates Surface tension, which acts like an invisible skin on top of water. This explains why we could place many drops of water on a coin.

When we added salt or sugar, the number of drops usually stayed similar or increased slightly because salt ions and sugar molecules interact with water molecules and can change how strongly water molecules hold together at the surface.

- ***Research task***: Look up **how salt ions and sugar molecules** affect hydrogen bonds in water and write your explanation here.

When salt or sugar mixes with water, its particles spread out between the water molecules. Salt separates into very tiny parts called sodium and chloride ions, and water molecules surround them. This can change the way water molecules are organized, so the drops may behave a little differently from pure water. Sugar does not separate in the same way, but it can connect with water molecules. That is why, with salt or sugar, the surface tension may stay almost the same or increase a little, so the dome can sometimes hold a similar number of drops or more drops on the coin.

When we used soapy water, the number of drops was much lower. This is because soap is a surfactant (a substance that reduces surface tension).

- Find out **how surfactants like soap disrupt hydrogen bonding at the surface** and explain in 2–3 sentences.

Soap particles get between the water molecules on the surface. This makes the water molecules hold together less strongly, so the surface breaks more easily.

Because of this, the dome on the coin breaks faster and fewer drops can stay on the coin.

We also studied capillary action, which is the ability of water to rise in thin tubes against gravity. This happens because adhesion pulls water up the tube walls and cohesion pulls other molecules along.

In our experiments, water rose higher than soapy water because pure water has stronger cohesion and surface tension, so the water molecules can pull each other upward more effectively.

Research task: Search for why capillary action is important in plants (**xylem**) and write your answer here.

Capillary action is important in plants because it helps water move through narrow tubes in the stem that are called xylem vessels. Water molecules stick to the walls of the xylem by adhesion and also stick to each other by cohesion, forming a continuous column of water. This helps move water and dissolved minerals from the roots toward the stems and leaves, where water is used for photosynthesis and other plant processes.

Conclusion:

From our labs, I learned that water's unique properties (cohesion, adhesion, surface tension, capillarity) can change when we add different substances.

Salt and sugar tend to keep the surface tension similar or increase it a little, while soap tends to decrease surface tension and make water molecules hold together less strongly.

These changes are important because in nature water is almost never pure; it mixes with minerals, soil, salts, organic matter, and pollutants, and this can affect how water moves through soil, plants, rivers, wetlands, and living things.

Nombre: _____ *Fecha:* _____

El agua es una sustancia muy especial debido a su estructura molecular. Cada molécula de agua es polar: tiene una carga ligeramente negativa cerca del átomo de oxígeno y una carga ligeramente positiva cerca de los átomos de hidrógeno. Esta polaridad permite que las moléculas de agua formen enlaces de hidrógeno entre sí.

Debido a esto, el agua presenta cohesión (moléculas que se pegan entre sí) y adhesión (moléculas que se pegan a otros materiales, como el vidrio). En nuestros laboratorios observamos la cohesión cuando las gotas formaron un domo. Observamos la adhesión cuando las gotas permanecieron sobre la moneda y el agua subió por los tubos.

La cohesión en la superficie también crea la tensión superficial, que actúa como una piel invisible sobre el agua. Esto explica por qué pudimos colocar muchas gotas de agua sobre una moneda.

Cuando agregamos sal o azúcar, el número de gotas generalmente se mantuvo similar o aumentó ligeramente porque los iones de sal y las moléculas de azúcar interactúan con las moléculas de agua y pueden cambiar qué tan fuertemente las moléculas de agua se mantienen unidas en la superficie.

- ***Tarea de investigación***: *Busca cómo los iones de sal y las moléculas de azúcar afectan los enlaces de hidrógeno en el agua y escribe aquí tu explicación.*

Cuando la sal o el azúcar se mezclan con el agua, sus partículas se dispersan entre las moléculas de agua. La sal se separa en partes muy pequeñas llamadas iones de sodio y cloruro, y las moléculas de agua las rodean. Esto puede cambiar la forma en que están organizadas las moléculas de agua, por lo que las gotas pueden comportarse un poco diferente al agua pura. El azúcar no se separa de la misma manera, pero puede conectarse con las moléculas de agua. Por eso, con sal o azúcar, la tensión superficial puede mantenerse casi igual o aumentar un poco, así que el domo a veces puede sostener un número similar de gotas o más gotas sobre la moneda.

Cuando usamos agua jabonosa, el número de gotas fue mucho menor. Esto se debe a que el jabón es un surfactante (una sustancia que reduce la tensión superficial).

- *Averigua cómo los surfactantes como el jabón alteran los enlaces de hidrógeno en la superficie y explícalo en 2–3 oraciones.*

Las partículas de jabón se meten entre las moléculas de agua en la superficie. Esto hace que las moléculas de agua se mantengan unidas con menos fuerza, por lo que la superficie se rompe más fácilmente.

Debido a esto, el domo sobre la moneda se rompe más rápido y menos gotas pueden permanecer sobre la moneda.

También estudiamos la acción capilar, que es la capacidad del agua para subir por tubos delgados en contra de la gravedad. Esto sucede porque la adhesión tira del agua hacia arriba por las paredes del tubo y la cohesión arrastra a las demás moléculas.

En nuestros experimentos, el agua subió más alto que el agua jabonosa porque el agua pura tiene una cohesión y una tensión superficial más fuertes, por lo que las moléculas de agua pueden arrastrarse unas a otras hacia arriba con mayor eficacia.

Tarea de investigación: *Busca por qué la acción capilar es importante en las plantas (xilema) y escribe aquí tu respuesta.*

La acción capilar es importante en las plantas porque ayuda a que el agua se mueva por tubos estrechos en el tallo llamados vasos del xilema. Las moléculas de agua se adhieren a las paredes del xilema por adhesión y también se pegan entre sí por cohesión, formando una columna continua de agua. Esto ayuda a mover el agua y los minerales disueltos desde las raíces hacia los tallos y las hojas, donde el agua se utiliza para la fotosíntesis y otros procesos de las plantas.

Conclusión:

A partir de nuestros laboratorios, aprendí que las propiedades únicas del agua (cohesión, adhesión, tensión superficial y capilaridad) pueden cambiar cuando agregamos diferentes sustancias.

La sal y el azúcar tienden a mantener la tensión superficial similar o aumentarla un poco, mientras que el jabón tiende a disminuir la tensión superficial y hacer que las moléculas de agua se mantengan unidas con menos fuerza.

Estos cambios son importantes porque en la naturaleza el agua casi nunca es pura; se mezcla con minerales, suelo, sales, materia orgánica y contaminantes, y esto puede afectar cómo el agua se mueve a través del suelo, las plantas, los ríos, los humedales y los seres vivos.

Como se puede ver en la figura 21, el producto final de este ejercicio no se limitó a la comprensión aislada de las propiedades del agua, sino que el reconocimiento de los cambios de dichas propiedades por la interacción con otras sustancias marca un nuevo punto de partida para devolver la mirada al humedal para seguir estudiando sus dinámicas.

Por otro lado, en este ejercicio de cierre de las tres experiencias, nuevamente la forma en la que se estructuraron los ambientes comunicativos, como lo proponen Valencia et al., (2003), permitieron la emergencia de ciertos tipos de relaciones que posibilitan el entendimiento, donde el error se convierte en posibilidad, el compañero de clase se convierte en par académico, el docente y los instrumentos (guías, formatos, textos) en dinamizadores del pensamiento y el experimento deja de reducirse, como lo plantean Malagón et al., (2013, pp.124) a un ejercicio de validación de relaciones conceptuales, para convertirse en posibilidad de búsquedas y de comprensiones.

5.1.3 Volviendo a integración: De la profundización disciplinar a la complejización de las relaciones

Las experiencias descritas en el apartado anterior apalancaron acciones posteriores de profundización disciplinar que posibilitaron el desarrollo de la fase que aquí se describirá. Posterior al escrito sobre las propiedades del agua y la enunciación de su importancia en las dinámicas del humedal, se crearon experiencia para la exploración teórica y práctica sobre los modelos de estructura de la materia (modelos atómicos y tabla periódica, modelos de partículas, de elementos, moléculas y compuestos) que a su vez permitieron que los estudiantes construyeran representaciones para diferenciar, desde las evidencias macroscópicas, la formación de mezclas de las reacciones químicas. Así, al percibir el aumento de temperatura, el cambio de color o de pH, la formación de gases y de precipitados como productos de la interacción de varias sustancias, podían asociarlo con los movimientos de electrones en los átomos y diferenciarlo así de una mezcla de sustancias o materiales. Esto es

importante, porque en esta etapa de integración, se estarían enfrentando a material descriptivo sobre ciertos procesos físicos y químicos que acontecen en el humedal y que están directamente relacionados con la dinámica hídrica en el sistema.

El siguiente paso, consistió en brindarles a los estudiantes un documento ampliamente descriptivo de los procesos (físicos, químicos, biológicos y humanos) que tienen lugar en el Humedal Torca Guaymaral. Este instrumento, que se puede ver como anexo 2, fue elaborado con asistencia de la inteligencia artificial, usando como fuentes principales, el Plan de Manejo del Humedal del Humedal Guaymaral y los objetivos de aprendizaje que se habían desarrollado con los estudiantes durante el trimestre (mediante las actividades ya descritas), para crear un recurso con información veraz sobre el humedal, pero adaptado al conocimiento elaborado por los estudiantes. A este documento se le asignó el nombre de “Ciencia Interconectada en el Humedal Torca Guaymaral”.

La primera actividad consistió en que, cada grupo cooperativo debía diferenciar dentro del documento, los aspectos que estuvieran relacionados con las condiciones biológicas, del agua, del suelo, el aire, los elementos antrópicos y las formas de la tierra. Así, cada integrante estaría encargado de consolidar la información de uno de los componentes en tres diapositivas.

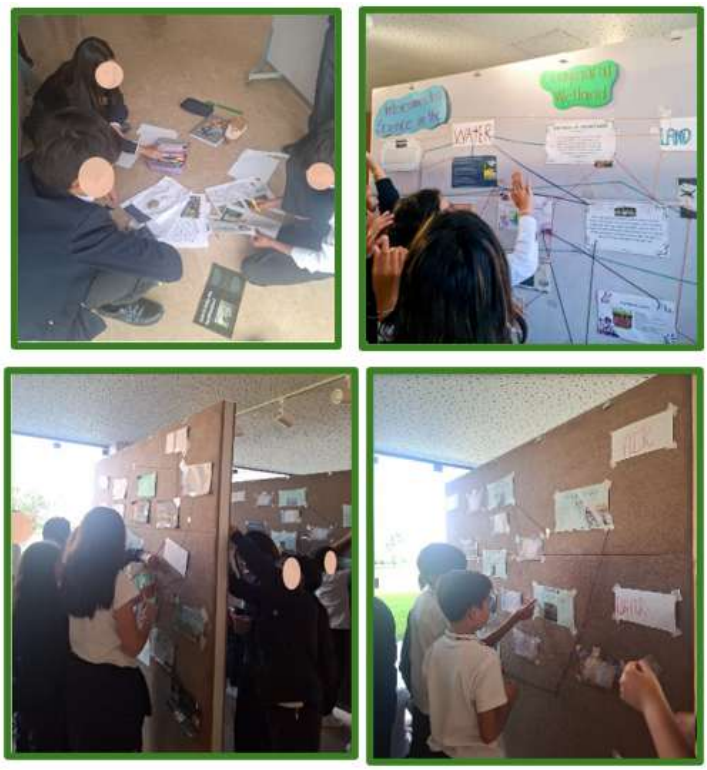
Aunque estaba planteado para dividir el trabajo entre los miembros, el ejercicio tuvo una alta demanda de dialogo, pues estos aspectos no se encuentran explícitamente discriminados en el documento, sino que se entrelazan para describir las dinámicas del humedal. Es decir, que debían conciliar que información correspondía al rol de cada uno.

Después, con las diapositivas impresas, las llevamos a unos paneles de exposición, donde debían evidenciar las relaciones que se tejen entre cada uno de los componentes. Para esto, debían conectar las diapositivas usando lanas de diferentes colores: el azul representaba las relaciones hídricas, el verde las relacionadas con la biodiversidad, el café los elementos antrópicos, y en naranja las relaciones con el suelo y las formas de la tierra.

Como se evidencia en las fotografías de la Figura 22, esta actividad creó un escenario para que cada estudiante compartiera sus propias elaboraciones y las pusiera en juego con las de los demás. Organizar el material, decidir dónde ubicarlo, con qué ideas y categorías conectar cada pedazo de información, los retaba a mantener un diálogo permanente y a reevaluar y reorganizar las ideas para generar un producto que representara los significados construidos colectivamente.

Figura 22.

Estudiantes de diferentes grupos construyendo los mapas de relaciones del humedal Torca Guaymaral



De esta manera, en el ejercicio se podían escuchar conversaciones como la siguiente, que muestra un ejercicio de conectar los elementos a partir de sus relaciones:

> Estudiante A: *"Pero, si la fitoremediación limpia el agua, entonces esta parte tiene que ver con el agua y con la contaminación del agua, o sea, azul"*
> Estudiante B: *"si, pero la contaminación viene de los humanos y del suelo y si estas plantas no están, tampoco pueden limpiar el aire"* (dice mientras, muestra una lana verde sugiriendo que también debe ir a la figura)

Pero también se escuchaban otras expresiones del tipo “si dice agua, pues obvio es azul, so, si no dice, pues se quita”, la cual denota una aproximación más práctica y tal vez menos a atenta a otros aspectos no explícitos que puedan indicar interrelaciones. En cualquier caso, estas expresiones eran continuamente transformadas por la intervención de los demás, ya fuera de forma explícita desde el compartir de las ideas o transformando directamente la organización del panel. Así, se fueron configurando las diferentes representaciones, sin que un panel quedara igual al otro, pues cada grupo ponía su atención en relaciones diferentes, como se puede ver en los resultados finales de dos grupos en la figura 23 y de forma más explícita en la ampliación de una sección de los mismos paneles en la figura 24.

Figura 23

Dos ejemplos de mapas de conexiones del Humedal Torca Guaymaral

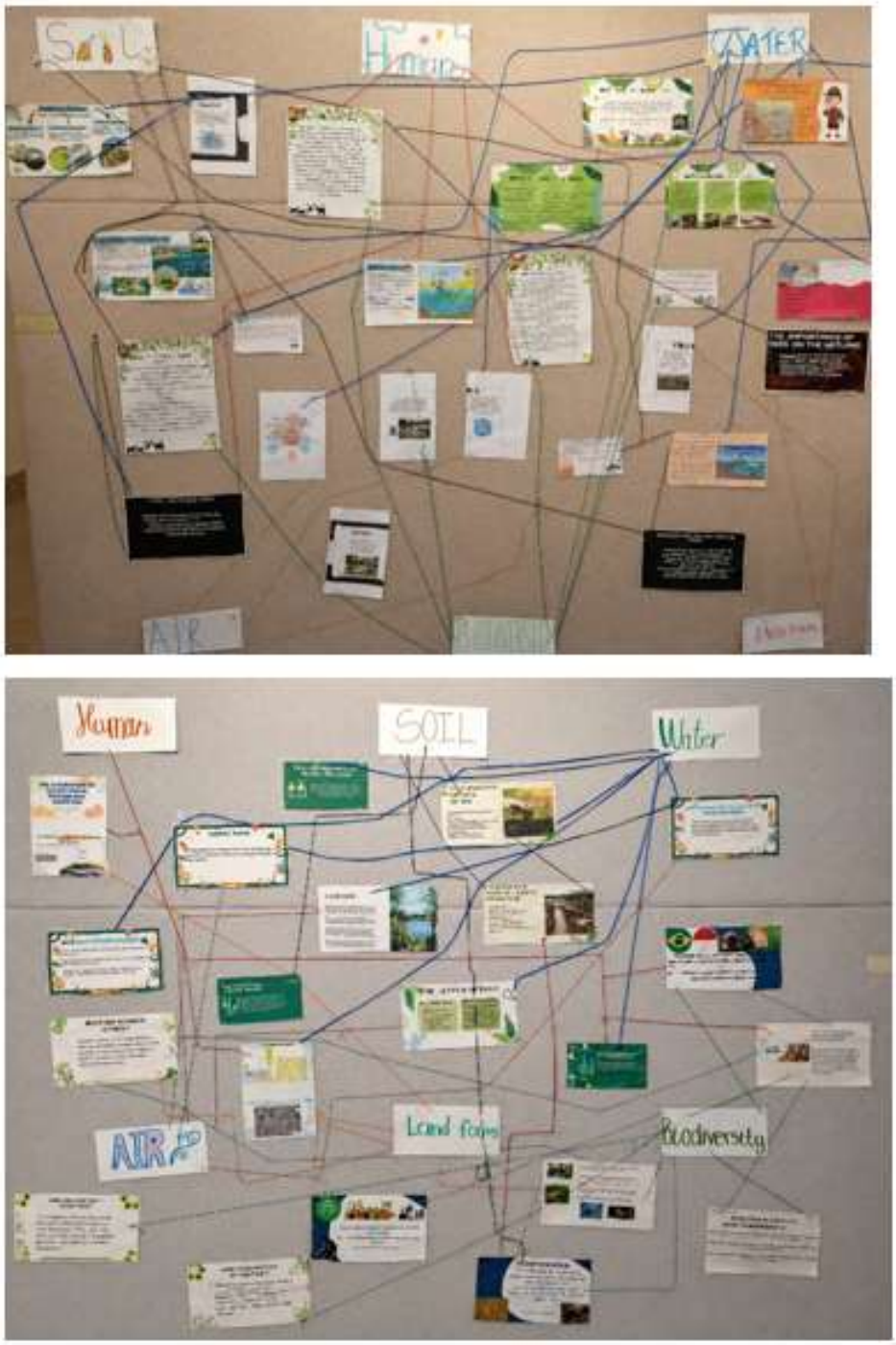
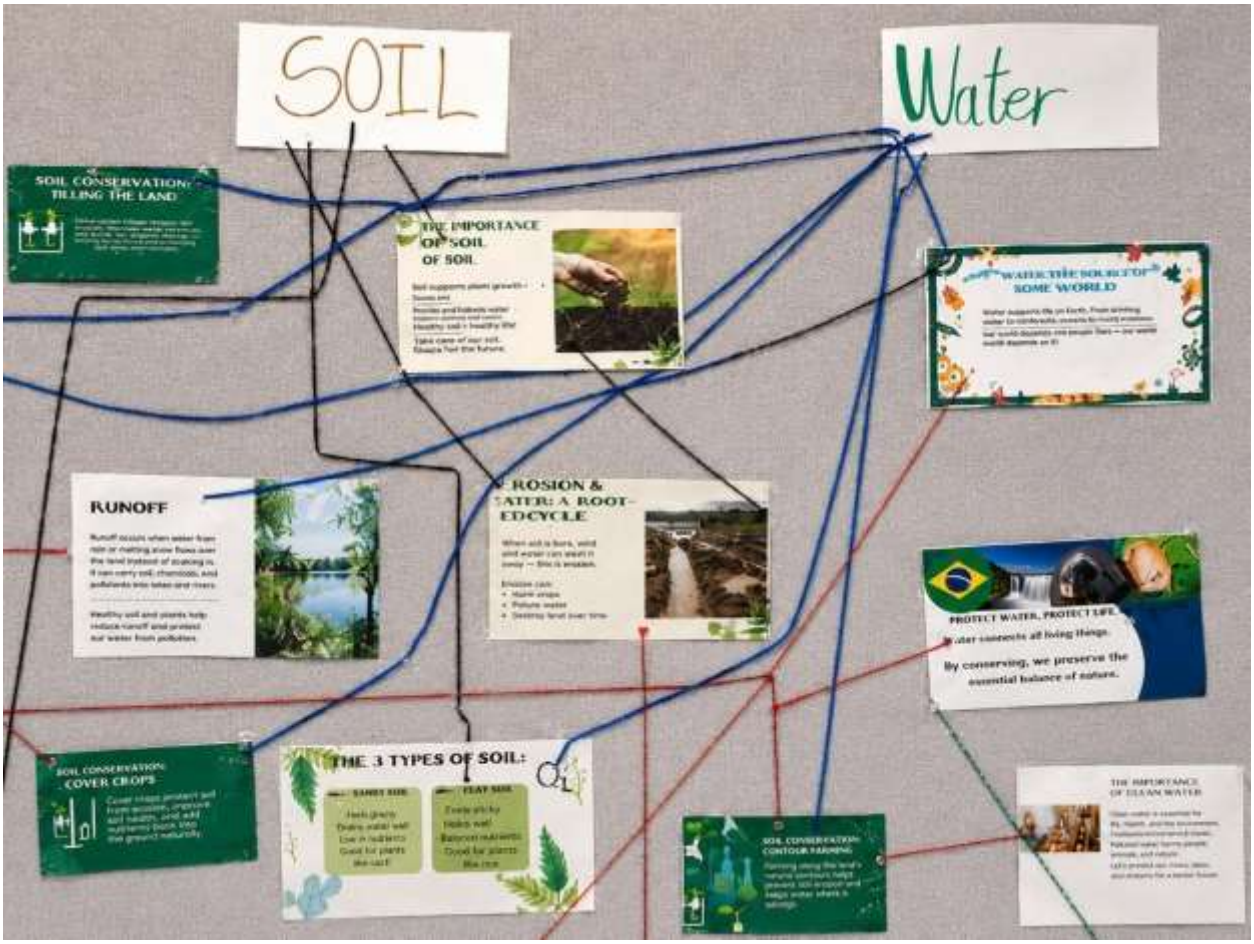


Figura 24.

Zoom realizado a una sección de cada mapa de conexiones



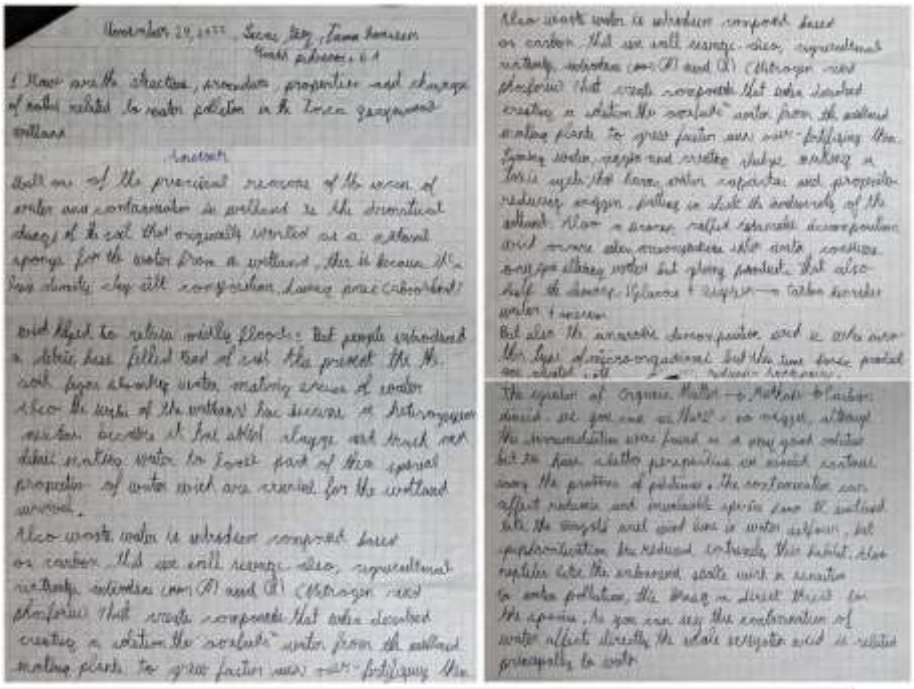
En la Figura 24, se puede ver cómo los estudiantes usaron la lana azul que representa el agua para conectar esta condición con la capacidad reguladora del suelo, los procesos de erosión, la escorrentía y el mantenimiento de las cosechas. Si bien esta actividad no muestra en detalle las organizaciones mentales asignadas a dichas interacciones, si es una materialización de la conciencia que se estaba construyendo sobre la complejidad del sistema, representada en las interacciones de sus componentes.

Devolver la mirada a la totalidad del humedal requería entonces volver a las preguntas que se plantearon en la primera fase como hipótesis para explicar las

dinámicas hídricas del sistema. Así, cada grupo volvió a usar como insumo el documento “La Ciencia Interconectada en el Humedal Torca Guaymaral” para que una a una, estructuraran las respuestas a las preguntas, nuevamente, en un ejercicio dialógico con sus pares y con la información consignada en el documento. Como estrategia, se les pidió que antes de responder, identificaran y subrayaran, con un código de colores, diferentes elementos que podrían ser relevantes para cada una de las preguntas. Por ejemplo, para responder a la pregunta ¿Cómo se relaciona la circulación del agua con las formas de la tierra, la composición del suelo y la vegetación?, debían usar resaltador amarillo para destacar las ideas relacionadas con las especies de plantas presentes en el humedal, rosado para los procesos relacionados con aspectos físicos y químicos del suelo, y amarillo para las ideas relacionadas con el relieve. Este paso es importante pues constituye una estrategia para estructurar el pensamiento de los estudiantes y focalizar su atención en los elementos que aborda la pregunta, con respecto al material de consulta. También para garantizar que, en los momentos de socialización, todos los participantes tuvieran ideas desarrolladas para alimentar la discusión y posibilitar un ambiente comunicativo eficaz. Después de este ejercicio individual el grupo debía reunirse para producir un escrito que respondiera a cada una de las preguntas.

Figura 25.

Respuesta de uno de los grupos a la pregunta ¿Cómo se relaciona la circulación del agua con las formas de la tierra, la composición del suelo y la vegetación?



¿Cómo se relacionan la estructura, las propiedades y los cambios de la materia con la contaminación del agua el humedal Torca–Guaymaral?

Una de las principales razones del exceso de agua y de la contaminación en el humedal es el cambio drástico del suelo, que originalmente funcionaba como una esponja natural para el agua del humedal. Esto se debe a que tenía baja densidad, composición de arcilla y limo, y poros absorbentes que ayudaban a retener pequeñas inundaciones. Pero las personas introdujeron rellenos de escombros y suelo, lo cual evita que el suelo absorba el agua, generando exceso de agua.

Además, el agua del humedal se ha convertido en una mezcla heterogénea porque tiene lodo sólido, basura y residuos. Esto hace que el agua pierda parte de sus propiedades especiales, las cuales son necesarias para la supervivencia del humedal.

También el agua contaminada contiene compuestos orgánicos basados en carbono, a los que llamamos aguas residuales. Las actividades agrícolas introducen nitrógeno y fósforo, que crean compuestos que, al disolverse, forman una solución. Esto sobrealimenta el agua del humedal, haciendo que las plantas crezcan más rápido por la sobre-fertilización. Luego, estas plantas consumen oxígeno y generan lodo, creando un ciclo tóxico que afecta la capacidad de agua y las propiedades del humedal, reduce el oxígeno y pone en riesgo la biodiversidad.

También ocurre un proceso llamado descomposición aeróbica, cuando los microorganismos entran al agua y consumen oxígeno. Este proceso produce sustancias que también ayudan a la limpieza.

Glucosa + oxígeno → dióxido de carbono + agua + energía

Pero también funciona la descomposición anaeróbica, que ocurre cuando hay otro tipo de microorganismos, pero esta vez se crean productos tóxicos.

Materia orgánica → metano + dióxido de carbono

Aunque la biorremediación fue considerada una muy buena solución, para tener una mejor perspectiva debemos seguir observando el problema de la contaminación. La contaminación puede afectar especies endémicas e invaluables del humedal, como el rascón bogotano, que vive en la superfice del agua. Sin embargo, la eutrofización ha reducido extremadamente su hábitat.

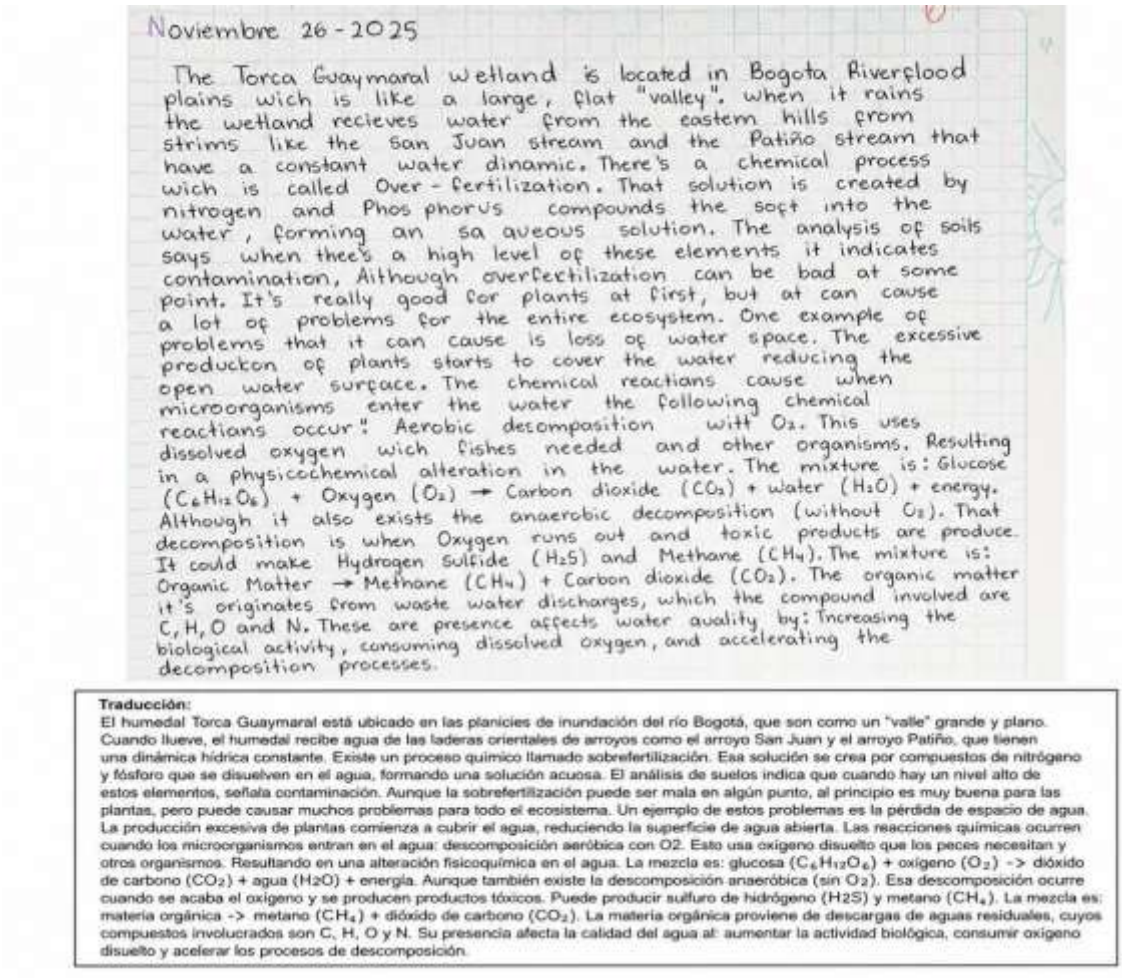
Además, reptiles como la serpiente sabanera son sensibles a la contaminación del agua, lo cual representa una amenaza directa para la especie. Como se puede ver, la contaminación del agua afecta directamente todo el ecosistema, que está relacionado principalmente con el agua.

En los escritos finales, como puede apreciarse en las figuras 25 y 26, se puede evidenciar cómo se reorganizó la mirada de los estudiantes hacia el Humedal Torca

Guaymaral. El sistema ya no era sólo parte del paisaje, sino que se convirtió en un entramado de relaciones donde cada condición se determina con otra. Si bien cada grupo les dio relevancia a interacciones diferentes y algunas producciones evidenciaron un mayor nivel de elaboración que otras (como se puede apreciar en las figuras 26 y 27) en todos los registros los estudiantes hablaron del agua en términos de relaciones e involucraron, no sólo lo que acontece en los límites geográficos del humedal, sino que la mayoría de ellos consideró en sus explicaciones, las condiciones de contorno que lo determinan.

Figura 26.

Respuesta de uno de los grupos a la pregunta ¿Cómo se relaciona la circulación del agua con las formas de la tierra, la composición del suelo y la vegetación?



Noviembre 26 - 2025

The Torca Guaymaral wetland is located in Bogota Riverflood plains wich is like a large, flat "valley". when it rains the wetland recieves water from the eastern hills from strims like the San Juan stream and the Patiño stream that have a constant water dinamic. There's a chemical process wich is called Over - fertilization. That solution is created by nitrogen and Phos phorus compounds the soçt into the water, forming an sa aveous solution. The analysis of soils says when thee's a high level of these elements it indicates contamination, Aithough overfertilization can be bad at some point. It's really good for plants at first, but at can cause a lot of problems for the entire ecosystem. One example of problems that it can cause is loss of water space. The excessive producton of plants starts to cover the water reducing the open water surface. The chemical reactians cause when microorganisms enter the water the following chemical reactians occur: Aerobic decompasition witt O_2. This uses dissolved oxygen wich fishes needed and other organisms. Resulting in a physicochemical alteration in the water. The mixture is: Glucose ($C_6H_{12}O_6$) + Oxygen (O_2) → Carbon dioxide (CO_2) + water (H_2O) + energy. Although it also exists the anaerobic decomposition (without O_2). That decomposition is when Oxygen runs out and toxic products are produce. It could make Hydrogen sulfide (H_2S) and Methane (CH_4). The mixture is: Organic Matter → Methane (CH_4) + Carbon dioxide (CO_2). The organic matter it's originates from waste water discharges, which the compound involved are C, H, O and N. These are presence affects water quality by: Increasing the biological activity, consuming dissolved oxygen, and accelerating the decomposition processes.

Traducción:
El humedal Torca Guaymaral está ubicado en las planicies de inundación del río Bogotá, que son como un "valle" grande y plano. Cuando llueve, el humedal recibe agua de las laderas orientales de arroyos como el arroyo San Juan y el arroyo Patiño, que tienen una dinámica hídrica constante. Existe un proceso químico llamado sobrefertilización. Esa solución se crea por compuestos de nitrógeno y fósforo que se disuelven en el agua, formando una solución acuosa. El análisis de suelos indica que cuando hay un nivel alto de estos elementos, señala contaminación. Aunque la sobrefertilización puede ser mala en algún punto, al principio es muy buena para las plantas, pero puede causar muchos problemas para todo el ecosistema. Un ejemplo de estos problemas es la pérdida de espacio de agua. La producción excesiva de plantas comienza a cubrir el agua, reduciendo la superficie de agua abierta. Las reacciones químicas ocurren cuando los microorganismos entran en el agua: descomposición aeróbica con O2. Esto usa oxígeno disuelto que los peces necesitan y otros organismos. Resultando en una alteración fisicoquímica en el agua. La mezcla es: glucosa ($C_6H_{12}O_6$) + oxígeno (O_2) -> dióxido de carbono (CO_2) + agua (H_2O) + energía. Aunque también existe la descomposición anaeróbica (sin O_2). Esa descomposición ocurre cuando se acaba el oxígeno y se producen productos tóxicos. Puede producir sulfuro de hidrógeno (H_2S) y metano (CH_4). La mezcla es: materia orgánica -> metano (CH_4) + dióxido de carbono (CO_2). La materia orgánica proviene de descargas de aguas residuales, cuyos compuestos involucrados son C, H, O y N. Su presencia afecta la calidad del agua al: aumentar la actividad biológica, consumir oxígeno disuelto y acelerar los procesos de descomposición.

En la figura 26, por ejemplo, los estudiantes hacen referencia a los cerros orientales y a las corrientes que alimentan el humedal, mientras que el escrito en la figura 25 refiere a los

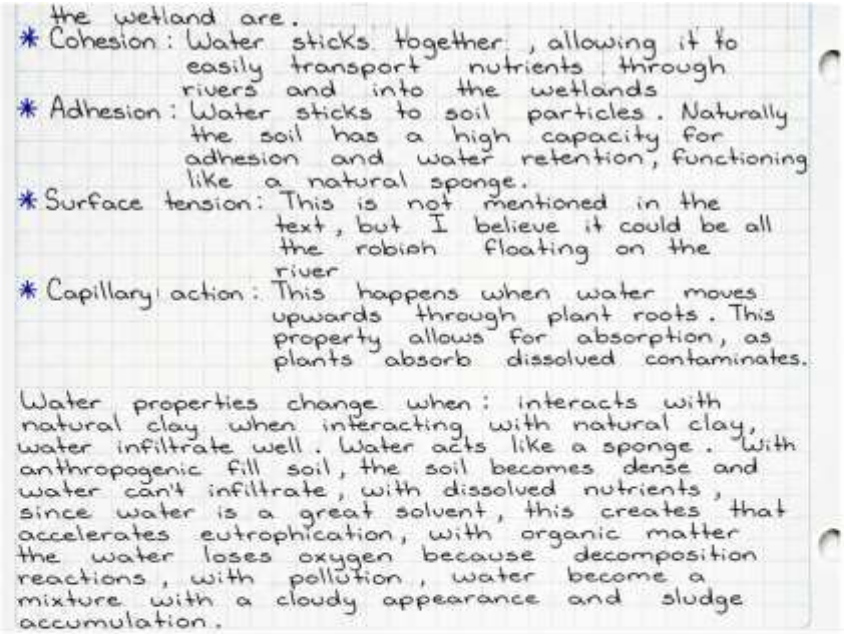
procesos antrópicos que transforman las características de los suelos. En los dos casos, estos elementos son integrados a la explicación en términos de las interacciones con otras condiciones, como los procesos de contaminación, la afectación en las formas de vida, quienes a su vez juegan un papel de purificación del agua.

Otro aspecto fundamental que permite caracterizar las resignificaciones logradas por los estudiantes sobre el humedal tiene que ver con la incorporación de elementos conceptuales elaborados en momentos previos de la intervención en el aula. Si en el momento de la exploración sobre la orogenia del sistema se empezaron a describir los flujos del agua en términos de la gravedad, la infiltración y las inundaciones, en esta etapa final ya hablan de estos procesos en términos de las propiedades del agua y del suelo que en interacción posibilitan dichos flujos (Inicio del escrito en la figura 26 y figura 27), de los compuestos y elementos químicos que caracterizan la contaminación, pero también de las reacciones bioquímicas que emergen por la interacción de diferentes condiciones (Párrafos finales de la figura 26).

La incorporación de estos elementos conceptuales se evidenció en la mayoría de los registros, con diferentes grados de asertividad; sin embargo, si se evidencia un uso con sentido en un intento por explicar unas dinámicas. Distinto a como ocurrió anteriormente cuando un grupo de estudiantes refirió un elemento teórico que no correspondía con el fenómeno observado (asociar la formación de domos a la expansión del agua en estado sólido), en esta etapa, el uso de los elementos teóricos y vocabulario preciso no solo mostró una conexión fuerte con el contexto que se estaba analizando, sino que además, evidenció un diálogo con las experiencias prácticas.

Figura 27

Respuesta de uno de los grupos a la pregunta ¿Cómo se relaciona la circulación del agua con las formas de la tierra, la composición del suelo y la vegetación?



the wetland are.
* Cohesion: Water sticks together, allowing it to easily transport nutrients through rivers and into the wetlands
* Adhesion: Water sticks to soil particles. Naturally the soil has a high capacity for adhesion and water retention, functioning like a natural sponge.
* Surface tension: This is not mentioned in the text, but I believe it could be all the robish floating on the river
* Capillary action: This happens when water moves upwards through plant roots. This property allows for absorption, as plants absorb dissolved contaminates.

Water properties change when: interacts with natural clay when interacting with natural clay, water infiltrate well. Water acts like a sponge. With anthropogenic fill soil, the soil becomes dense and water can't infiltrate, with dissolved nutrients, since water is a great solvent, this creates that accelerates eutrophication, with organic matter the water loses oxygen because decomposition reactions, with pollution, water become a mixture with a cloudy appearance and sludge accumulation.

Traducción:	
* **Cohesión:**	El agua se adhiere entre sí, lo que le permite transportar fácilmente nutrientes a través de los ríos y hacia los humedales.
* **Adhesión:**	El agua se adhiere a las partículas del suelo. Naturalmente, el suelo tiene una alta capacidad de adhesión y retención de agua, funcionando como una esponja natural.
* **Tensión superficial:**	Esto no se menciona en el texto, pero creo que podría ser todo el petirrojo flotando en el río.
* **Acción capilar:**	Esto ocurre cuando el agua se mueve hacia arriba a través de las raíces de las plantas. Esta propiedad permite la absorción, ya que las plantas absorben contaminantes disueltos.
Las propiedades del agua cambian cuando:	Interactúa con arcilla natural; cuando interactúa con arcilla natural, el agua se infiltra bien. El agua actúa como una esponja. Con suelos rellenos de origen antropogénico, el suelo se vuelve denso y el agua no puede infiltrarse; con nutrientes disueltos, como el agua es un gran solvente, esto acelera la eutrofización; con materia orgánica, el agua pierde oxígeno debido a las reacciones de descomposición; con contaminación, el agua se convierte en una mezcla con apariencia turbia y acumulación de lodos.

Este hecho, tiene una relevancia importante, pues los contenidos curriculares, dejan de ser listados de habilidades y conceptos descontextualizados, para convertirse en posibilidad. A partir de ellos, se pueden enriquecer las rutas de profundización disciplinar; al integrarlos a un contexto y a asumirlos como susceptibles de interrogación, se despojan de su carácter reduccionista para sugerir rutas de exploración y cuestionamiento. Es decir, cobran sentido en la comprensión de la propia realidad de los sujetos. Pues no es lo mismo hablar de reacciones químicas en términos de símbolos y modelos que hablar de un ambiente natural, en términos de reacciones químicas que pueden comunicarse con fórmulas y modelos.

El proceso de elaboración de los escritos y sus productos, como cierre de un proceso de estudio de un sistema complejo en condiciones de aula, permite hacer dos afirmaciones de tipo pedagógico: la primera, que el ejercicio dialógico entre las fases de integración y diferenciación propuesta por García (2006) para comprender los sistemas complejos, permite construir una perspectiva que de inicio a fin da sentido a la experiencia, pues aunque se aíslen en un momento las condiciones del objeto de estudio para su profundización, dichas condiciones, son también planteadas en términos de relaciones (por ejemplo el agua interactuando con otras sustancias) y el "para qué" integrador se mantiene presente. Por tanto, los hallazgos estarán siempre conectados a un contexto y de esta manera, estarán aportando a construir una comprensión más precisa de su red de relaciones.

El otro aspecto, tiene que ver con la forma en que la articulación de estrategias como la artificialización del mundo natural, los modos de trabajo (guías, procedimientos, organización de grupos cooperativos), los ambientes comunicativos y la intencionalidad de los experimentos que trasciende la demostración (como parte en la configuración de Problemas de Conocimiento) (Valencia et al., (2003), posibilitan relaciones alternativas con el mundo, el compañero de clase se convierte en coautor en los procesos de construcción de conocimiento, la actividad experimental y la información teórica actúan como dinamizadores del pensamiento, el docente actúa como mediador y posibilitador de experiencias, el sujeto se integra al objeto observado, como sucedió con la incorporación del componente antrópico para entender el sistema y el mundo natural trasciende de ser algo que se estudia para ser algo que el sujeto también vive.

El desarrollo de este trabajo partió de un interés personal por una formación escolar que trascendiera los límites disciplinares e invitara a las personas a establecer un diálogo permanente entre las diferentes dimensiones desde las cuales las construyen sus formas de leer el mundo y su propia vida. En gran medida, este interés se fue alimentando al ver cómo los contenidos disciplinares consolidados en los estudiantes, muchas veces se difuminan al

ponerlos en contextos reales o al transferirlos al estudio de situaciones particulares de otras disciplinas. También, al notar que muy frecuentemente, las experiencias diseñadas por los maestros tienen como punto de partida los objetivos de aprendizaje, los cuales suelen estar organizados por temas y habilidades específicas, desplazando la atención muchas veces a preparar a los estudiantes para el examen y no para la vida.

A medida que el trabajo fue avanzando, la motivación inicial fue transformándose en cuestionamientos sobre la propia práctica, pero también en nuevas posibilidades para comprenderla. En ese recorrido aparecieron otros referentes y otras maneras de comprender el ejercicio docente. Aunque el trabajo se configuró alrededor de las preguntas sobre cómo abordar la dinámica hídrica en los ecosistemas desde una perspectiva de la complejidad, el recorrido permitió la emergencia de muchos más aprendizajes que trascendieron el propósito inicial.

En el diálogo entre la perspectiva de la complejidad, la profundización disciplinar, la experiencia de aula y la recuperación de la experiencia, fueron surgiendo comprensiones que no solo interpelan la manera en que se enseñan los ecosistemas, sino también las formas en que la escuela produce conocimiento, organizan las relaciones entre los sujetos y determina ciertas maneras de habitar el mundo. Más que ofrecer respuestas definitivas, este capítulo reúne algunas de esas reflexiones como aportes que, desde la experiencia desarrollada, pueden contribuir a ampliar la discusión sobre la enseñanza de las ciencias cuando esta se asume desde la configuración de problemas de conocimiento y no únicamente como un problema de transmisión de contenidos. A continuación, se presentan entonces algunas cuestiones para alimentar la discusión.

Una de las limitaciones que desde el inicio se identificó para la construcción de conocimiento contextualizado en el aula tenía que ver principalmente con estructuras curriculares tendientes a la fragmentación del conocimiento y, por tanto, a la

hiperespecialización, las cuales, entienden el aprendizaje como el dominio de habilidades y contenidos disciplinares. Esto entraba en tensión con el interés de traer los contextos reales a la escuela, pues trasladar la mirada del aula a la realidad implica, inevitablemente, acogerla en su complejidad; una complejidad que rebasa los contenidos de ciencias previstos para un grado escolar. Esta tensión plantea, en una primera aproximación, una dicotomía que parece exigir una decisión entre dos únicas posibilidades: relativizar el currículo al servicio del contexto real, corriendo el riesgo de dejar por fuera contenidos que para el sistema educativo resultan relevantes, o abstraer los contenidos disciplinares de los contextos en los que dichos saberes se producen para convertirlos en una estructura fácilmente administrable y medible.

Ambas opciones provienen, en el fondo, del mismo interés por abarcar la totalidad del conocimiento, pero reducen el problema a decidir cuál de las dos debe prevalecer. Superar esta dicotomía implicó, antes que nada, renunciar a la pretensión de conocerlo todo, entendiendo que toda aproximación al mundo supone necesariamente una delimitación. Sin embargo, delimitar no significa reducir la complejidad del fenómeno, sino decidir desde dónde se le interroga. Este desplazamiento permitió comprender que la tensión no se resolvía subordinando el currículo al contexto o el contexto al currículo, sino reconociéndolos como dimensiones complementarias de un mismo proceso de construcción de conocimiento. El contexto aporta las situaciones, las relaciones y las preguntas; el currículo ofrece los conceptos, las representaciones y las herramientas que permiten profundizar en ellas. El primero deja de ser el escenario donde se aplican los contenidos escolares y el segundo deja de ser un listado de saberes que deben imponerse sobre la realidad. Ambos adquieren sentido en su relación con el otro y, precisamente por ello, permanecen abiertos al cuestionamiento.

Desde esta perspectiva, tanto el currículo como el contexto dejan de entenderse como restricciones y comienzan a comprenderse como posibilidades. Sin embargo, esa posibilidad no es una propiedad inherente de ninguno de los dos, sino que emerge desde la mirada del

docente. Es ella la que decide qué relaciones interrogar, qué aspectos profundizar y qué sentido adquieren los contenidos escolares dentro de una experiencia particular. Así, la pregunta fundamental deja de ser qué enseñar y comienza a desplazarse hacia para qué enseñar ciencias o, incluso, qué le da sentido al estudio del mundo natural. La respuesta difícilmente se encuentra en el currículo. Se encuentra en la imagen de ciencia, de conocimiento y de ser humano desde la cual el docente comprende su propia práctica. Son esas respuestas, más que el currículo, las que configuran los puntos de llegada y orientan los caminos para alcanzarlos. Mucho antes de seleccionar un contenido o diseñar una actividad de aula, es en esas preguntas fundamentales donde comienza realmente el ejercicio de enseñar ciencias.

La respuesta a estas preguntas también empieza a definir la imagen de ciencia que orienta la práctica. A lo largo de este trabajo fue haciéndose evidente una comprensión de la ciencia en la que el conocimiento no se construye de manera individual ni se reduce a la apropiación de conceptos previamente establecidos, sino que emerge de la negociación de significados entre sujetos que observan, preguntan, contrastan y construyen explicaciones sobre un mismo fenómeno. Desde esta perspectiva, la experiencia directa constituye una condición necesaria, pero no suficiente. El contacto con el fenómeno solo comienza a transformarse en conocimiento cuando es interrogado, y dicho cuestionamiento difícilmente ocurre de manera espontánea. Requiere ambientes comunicativos en los que las preguntas puedan circular, las diferentes explicaciones sean escuchadas, el error deje de entenderse como un fracaso para convertirse en posibilidad de aprendizaje y el disenso se reconozca como una oportunidad para complejizar las explicaciones. Así, los ambientes comunicativos dejan de ser únicamente una estrategia didáctica y comienzan a comprenderse como otra condición epistemológica para la construcción colectiva de conocimiento.

Es precisamente desde esta comprensión que los instrumentos diseñados para orientar el trabajo cooperativo comenzaron a ocupar un lugar central dentro de la propuesta. Lejos de constituir únicamente recursos para organizar la actividad o registrar información, comenzaron a comprenderse como condiciones que hacen posible la construcción colectiva de conocimiento. La manera en que se formulan las preguntas, las relaciones que se proponen establecer, las representaciones que se ponen en circulación, la información que se presenta o se omite, la distribución de roles dentro del grupo e, incluso, las decisiones que deben negociarse durante el desarrollo de la actividad configuran formas particulares de interacción entre los estudiantes y, con ello, diferentes posibilidades para construir explicaciones sobre el fenómeno estudiado.

Esta manera de comprender los instrumentos permitió reconocer otra de sus funciones dentro de la propuesta. Más allá de orientar el trabajo cooperativo, comenzaron a configurarse como dispositivos que mantenían un diálogo permanente entre la visión del sistema como totalidad organizada y las sucesivas profundizaciones disciplinares. Las preguntas, los organizadores gráficos, las representaciones, los estímulos para la discusión y las diferentes formas de interacción no buscaban aislar un contenido para estudiarlo de manera independiente, sino volver continuamente al sistema para interrogarlo desde nuevas relaciones. De esta manera, los ambientes comunicativos dejaron de entenderse únicamente como escenarios de participación para convertirse en espacios donde la integración y la diferenciación dialogaban de manera permanente., permitiendo que cada proceso de profundización disciplinar ampliara las posibilidades de comprender el funcionamiento del sistema como totalidad organizada.

En el desarrollo de estos espacios también se hizo evidente que la profundización disciplinar dejaba de responder a la lógica de completar un programa de contenidos para convertirse en una decisión orientada por las relaciones que el propio sistema iba haciendo visibles. Las disciplinas dejaron entonces de entenderse como compartimentos desde los

cuales explicar la realidad y comenzaron a funcionar como diferentes formas de aproximarse a un mismo fenómeno. En consecuencia, la pregunta ya no consistía en cuánto debía enseñarse de biología, química o física, sino qué conocimientos permitían comprender mejor las relaciones que el sistema iba revelando. Cada proceso de profundización suponía regresar nuevamente al humedal para releerlo desde nuevas herramientas conceptuales, haciendo visibles relaciones que anteriormente habían permanecido ocultas y enriqueciendo progresivamente la comprensión del sistema como una totalidad organizada.

Desde una mirada curricular, este tipo de trabajo podría interpretarse como una inversión considerable de tiempo frente a otras formas más tradicionales de organizar la enseñanza. Sin embargo, la experiencia permitió comprender que no se trata de dedicar más tiempo a los contenidos, sino de construir con ellos relaciones diferentes. En lugar de estudiar las disciplinas como fines en sí mismas, estas comenzaron a adquirir sentido en la medida en que contribuían a explicar un mismo fenómeno. Esta forma de trabajo favoreció que los estudiantes movilizaran conocimientos entre diferentes campos disciplinares y, progresivamente, empezaran a utilizarlos para comprender situaciones del entorno, superando una de las principales limitaciones derivadas de la fragmentación curricular: la dificultad para transferir lo aprendido entre asignaturas o del aula a la realidad. El tiempo dedicado a construir estas relaciones dejó entonces de percibirse como un tiempo invertido para convertirse en tiempo ganado en la construcción de una comprensión más integrada del mundo.

Pero quizá el mayor valor de este proceso no radique únicamente en las comprensiones que los estudiantes lograron construir sobre el humedal. La necesidad permanente de escuchar otras explicaciones, confrontar puntos de vista, justificar las propias ideas, reorganizar las representaciones y volver sobre el fenómeno desde nuevas preguntas fue configurando también otras formas de relacionarse con los otros, con la información, con la experiencia y con el conocimiento mismo. En ese tránsito, la enseñanza de las ciencias comenzó a trascender la

formación disciplinar para convertirse en un escenario donde aprender sobre el mundo implicó también aprender a construir con otros, formas de comprenderlo.

Paulatinamente, el humedal dejó de ser un objeto externo que debía describirse para convertirse en un sistema del cual los propios estudiantes empezaron a reconocerse como parte. Comprender sus dinámicas significó reconocer también las múltiples relaciones que mantienen con él como habitantes de la ciudad, como usuarios del agua, como generadores de residuos, como ciudadanos que toman decisiones y participan, consciente o inconscientemente, en su transformación. En ese sentido, la aparente separación entre quien conoce y aquello que es conocido comenzó a desdibujarse. El conocimiento dejó de orientarse únicamente hacia la explicación del fenómeno para convertirse también en una forma de comprender el lugar que cada sujeto ocupa dentro de él. Quizá sea allí donde la enseñanza de las ciencias encuentra uno de sus aportes más profundos: cuando estudiar el mundo natural deja de consistir únicamente en explicarlo y comienza a posibilitar que los sujetos se reconozcan como parte de las dinámicas que buscan comprender y, por tanto, como actores que participan permanentemente en su transformación y que, precisamente por ello, pueden hacerlo de manera cada vez más consciente.

Finalmente, más que una propuesta para enseñar un tema específico, el desarrollo de este trabajo terminó configurándose como una posibilidad para repensar las condiciones desde las cuales la escuela construye conocimiento sobre el mundo natural. Permitió comprender que la configuración de problemas de conocimiento en el aula, asumida desde una perspectiva de la complejidad, trasciende la organización de unas determinadas didácticas o la incorporación de un contexto cercano a los estudiantes. Revela una forma distinta de comprender la enseñanza de las ciencias, en la que el currículo dialoga con la realidad, la profundización disciplinar emerge de las relaciones que el propio sistema hace visibles, la experiencia se convierte en objeto de interrogación, los ambientes comunicativos posibilitan la construcción

colectiva de conocimiento y las representaciones permiten reorganizar progresivamente las formas de pensar el mundo. En ese recorrido, los estudiantes no solo construyen explicaciones más complejas sobre los fenómenos naturales; transforman también las relaciones que establecen con los otros, con el conocimiento y con el lugar que habitan. Quizá sea allí donde esta experiencia encuentra su mayor sentido: en reconocer que estudiar un sistema complejo no consiste únicamente en comprender cómo funciona el mundo, sino en aprender, progresivamente, a formar parte de él de una manera más consciente.

6. PRODUCCIÓN DISCURSIVA

El desarrollo de este trabajo partió de un interés personal por una formación escolar que trascendiera los límites disciplinares e invitara a las personas a establecer un diálogo permanente entre las diferentes dimensiones desde las cuales las construyen sus formas de leer el mundo y su propia vida. En gran medida, este interés se fue alimentando al ver cómo los contenidos disciplinares consolidados en los estudiantes, muchas veces se difuminan al ponerlos en contextos reales o al transferirlos al estudio de situaciones particulares de otras disciplinas. También, al notar que muy frecuentemente, las experiencias diseñadas por los maestros tienen como punto de partida los objetivos de aprendizaje, los cuales suelen estar organizados por temas y habilidades específicas, desplazando la atención muchas veces a preparar a los estudiantes para el examen y no para la vida.

A medida que el trabajo fue avanzando, la motivación inicial fue transformándose en cuestionamientos sobre la propia práctica, pero también en nuevas posibilidades para comprenderla. En ese recorrido aparecieron otros referentes y otras maneras de comprender el ejercicio docente. Aunque el trabajo se configuró alrededor de las preguntas sobre cómo abordar la dinámica hídrica en los ecosistemas desde una perspectiva de la complejidad, el recorrido permitió la emergencia de muchos más aprendizajes que trascendieron el propósito inicial.

En el diálogo entre la perspectiva de la complejidad, la profundización disciplinar, la experiencia de aula y la recuperación de la experiencia, fueron surgiendo comprensiones que no solo interpelan la manera en que se enseñan los ecosistemas, sino también las formas en que la escuela produce conocimiento, organiza las relaciones entre los sujetos y determina ciertas maneras de habitar el mundo. Más que ofrecer respuestas definitivas, este capítulo reúne algunas de esas reflexiones como aportes que, desde la experiencia desarrollada, pueden contribuir a ampliar la discusión sobre la enseñanza de las ciencias cuando esta se

asume desde la configuración de problemas de conocimiento y no únicamente como un problema de transmisión de contenidos. A continuación, se presentan entonces algunas cuestiones para alimentar la discusión.

Una de las limitaciones que desde el inicio se identificó para la construcción de conocimiento contextualizado en el aula tenía que ver principalmente con estructuras curriculares tendientes a la fragmentación del conocimiento y, por tanto, a la hiperespecialización, las cuales, entienden el aprendizaje como el dominio de habilidades y contenidos disciplinares. Esto entraba en tensión con el interés de traer los contextos reales a la escuela, pues trasladar la mirada del aula a la realidad implica, inevitablemente, acogerla en su complejidad; una complejidad que rebasa los contenidos de ciencias previstos para un grado escolar. Esta tensión plantea, en una primera aproximación, una dicotomía que parece exigir una decisión entre dos únicas posibilidades: relativizar el currículo al servicio del contexto real, corriendo el riesgo de dejar por fuera contenidos que para el sistema educativo resultan relevantes, o abstraer los contenidos disciplinares de los contextos en los que dichos saberes se producen para convertirlos en una estructura fácilmente administrable y medible.

Ambas opciones provienen, en el fondo, del mismo interés por abarcar la totalidad del conocimiento, pero reducen el problema a decidir cuál de las dos debe prevalecer. Superar esta dicotomía implicó, antes que nada, renunciar a la pretensión de conocerlo todo, entendiendo que toda aproximación al mundo supone necesariamente una delimitación. Sin embargo, delimitar no significa reducir la complejidad del fenómeno, sino decidir desde dónde se le interroga. Este desplazamiento permitió comprender que la tensión no se resolvía subordinando el currículo al contexto o el contexto al currículo, sino reconociéndolos como dimensiones complementarias de un mismo proceso de construcción de conocimiento. El contexto aporta las situaciones, las relaciones y las preguntas; el currículo ofrece los conceptos, las representaciones y las herramientas que permiten profundizar en ellas. El primero deja de ser el escenario donde se aplican los contenidos escolares y el segundo deja

de ser un listado de saberes que deben imponerse sobre la realidad. Ambos adquieren sentido en su relación con el otro y, precisamente por ello, permanecen abiertos al cuestionamiento.

Desde esta perspectiva, tanto el currículo como el contexto dejan de entenderse como restricciones y comienzan a comprenderse como posibilidades. Sin embargo, esa posibilidad no es una propiedad inherente de ninguno de los dos, sino que emerge desde la mirada del docente. Es ella la que decide qué relaciones interrogar, qué aspectos profundizar y qué sentido adquieren los contenidos escolares dentro de una experiencia particular. Así, la pregunta fundamental deja de ser qué enseñar y comienza a desplazarse hacia para qué enseñar ciencias o, incluso, qué le da sentido al estudio del mundo natural. La respuesta difícilmente se encuentra en el currículo. Se encuentra en la imagen de ciencia, de conocimiento y de ser humano desde la cual el docente comprende su propia práctica. Son esas respuestas, más que el currículo, las que configuran los puntos de llegada y orientan los caminos para alcanzarlos. Mucho antes de seleccionar un contenido o diseñar una actividad de aula, es en esas preguntas fundamentales donde comienza realmente el ejercicio de enseñar ciencias.

La respuesta a estas preguntas también empieza a definir la imagen de ciencia que orienta la práctica. A lo largo de este trabajo fue haciéndose evidente una comprensión de la ciencia en la que el conocimiento no se construye de manera individual ni se reduce a la apropiación de conceptos previamente establecidos, sino que emerge de la negociación de significados entre sujetos que observan, preguntan, contrastan y construyen explicaciones sobre un mismo fenómeno. Desde esta perspectiva, la experiencia directa constituye una condición necesaria, pero no suficiente. El contacto con el fenómeno solo comienza a transformarse en conocimiento cuando es interrogado, y dicho cuestionamiento difícilmente ocurre de manera espontánea. Requiere ambientes comunicativos en los que las preguntas puedan circular, las diferentes explicaciones sean escuchadas, el error deje de entenderse como un fracaso para convertirse en posibilidad de aprendizaje y el disenso se reconozca

como una oportunidad para complejizar las explicaciones. Así, los ambientes comunicativos dejan de ser únicamente una estrategia didáctica y comienzan a comprenderse como otra condición epistemológica para la construcción colectiva de conocimiento.

Es precisamente desde esta comprensión que los instrumentos diseñados para orientar el trabajo cooperativo comenzaron a ocupar un lugar central dentro de la propuesta. Lejos de constituir únicamente recursos para organizar la actividad o registrar información, comenzaron a comprenderse como condiciones que hacen posible la construcción colectiva de conocimiento. La manera en que se formulan las preguntas, las relaciones que se proponen establecer, las representaciones que se ponen en circulación, la información que se presenta o se omite, la distribución de roles dentro del grupo e, incluso, las decisiones que deben negociarse durante el desarrollo de la actividad configuran formas particulares de interacción entre los estudiantes y, con ello, diferentes posibilidades para construir explicaciones sobre el fenómeno estudiado.

Esta manera de comprender los instrumentos permitió reconocer otra de sus funciones dentro de la propuesta. Más allá de orientar el trabajo cooperativo, comenzaron a configurarse como dispositivos que mantenían un diálogo permanente entre la visión del sistema como totalidad organizada y las sucesivas profundizaciones disciplinares. Las preguntas, los organizadores gráficos, las representaciones, los estímulos para la discusión y las diferentes formas de interacción no buscaban aislar un contenido para estudiarlo de manera independiente, sino volver continuamente al sistema para interrogarlo desde nuevas relaciones. De esta manera, los ambientes comunicativos dejaron de entenderse únicamente como escenarios de participación para convertirse en espacios donde la integración y la diferenciación dialogaban de manera permanente., permitiendo que cada proceso de profundización disciplinar ampliara las posibilidades de comprender el funcionamiento del sistema como totalidad organizada.

En el desarrollo de estos espacios también se hizo evidente que la profundización disciplinar dejaba de responder a la lógica de completar un programa de contenidos para convertirse en una decisión orientada por las relaciones que el propio sistema iba haciendo visibles. Las disciplinas dejaron entonces de entenderse como compartimentos desde los cuales explicar la realidad y comenzaron a funcionar como diferentes formas de aproximarse a un mismo fenómeno. En consecuencia, la pregunta ya no consistía en cuánto debía enseñarse de biología, química o física, sino qué conocimientos permitían comprender mejor las relaciones que el sistema iba revelando. Cada proceso de profundización suponía regresar nuevamente al humedal para releerlo desde nuevas herramientas conceptuales, haciendo visibles relaciones que anteriormente habían permanecido ocultas y enriqueciendo progresivamente la comprensión del sistema como una totalidad organizada.

Desde una mirada curricular, este tipo de trabajo podría interpretarse como una inversión considerable de tiempo frente a otras formas más tradicionales de organizar la enseñanza. Sin embargo, la experiencia permitió comprender que no se trata de dedicar más tiempo a los contenidos, sino de construir con ellos relaciones diferentes. En lugar de estudiar las disciplinas como fines en sí mismas, estas comenzaron a adquirir sentido en la medida en que contribuían a explicar un mismo fenómeno. Esta forma de trabajo favoreció que los estudiantes movilizaran conocimientos entre diferentes campos disciplinares y, progresivamente, empezaran a utilizarlos para comprender situaciones del entorno, superando una de las principales limitaciones derivadas de la fragmentación curricular: la dificultad para transferir lo aprendido entre asignaturas o del aula a la realidad. El tiempo dedicado a construir estas relaciones dejó entonces de percibirse como un tiempo invertido para convertirse en tiempo ganado en la construcción de una comprensión más integrada del mundo.

Pero quizá el mayor valor de este proceso no radique únicamente en las comprensiones que los estudiantes lograron construir sobre el humedal. La necesidad permanente de escuchar otras explicaciones, confrontar puntos de vista, justificar las propias ideas, reorganizar las

representaciones y volver sobre el fenómeno desde nuevas preguntas fue configurando también otras formas de relacionarse con los otros, con la información, con la experiencia y con el conocimiento mismo. En ese tránsito, la enseñanza de las ciencias comenzó a trascender la formación disciplinar para convertirse en un escenario donde aprender sobre el mundo implicó también aprender a construir con otros, formas de comprenderlo.

Paulatinamente, el humedal dejó de ser un objeto externo que debía describirse para convertirse en un sistema del cual los propios estudiantes empezaron a reconocerse como parte. Comprender sus dinámicas significó reconocer también las múltiples relaciones que mantienen con él como habitantes de la ciudad, como usuarios del agua, como generadores de residuos, como ciudadanos que toman decisiones y participan, consciente o inconscientemente, en su transformación. En ese sentido, la aparente separación entre quien conoce y aquello que es conocido comenzó a desdibujarse. El conocimiento dejó de orientarse únicamente hacia la explicación del fenómeno para convertirse también en una forma de comprender el lugar que cada sujeto ocupa dentro de él. Quizá sea allí donde la enseñanza de las ciencias encuentra uno de sus aportes más profundos: cuando estudiar el mundo natural deja de consistir únicamente en explicarlo y comienza a posibilitar que los sujetos se reconozcan como parte de las dinámicas que buscan comprender y, por tanto, como actores que participan permanentemente en su transformación y que, precisamente por ello, pueden hacerlo de manera cada vez más consciente.

Finalmente, más que una propuesta para enseñar un tema específico, el desarrollo de este trabajo terminó configurándose como una posibilidad para repensar las condiciones desde las cuales la escuela construye conocimiento sobre el mundo natural. Permitió comprender que la configuración de problemas de conocimiento en el aula, asumida desde una perspectiva de la complejidad, trasciende la organización de unas determinadas didácticas o la incorporación de un contexto cercano a los estudiantes. Revela una forma distinta de comprender la enseñanza de las ciencias, en la que el currículo dialoga con la realidad, la profundización

disciplinar emerge de las relaciones que el propio sistema hace visibles, la experiencia se convierte en objeto de interrogación, los ambientes comunicativos posibilitan la construcción colectiva de conocimiento y las representaciones permiten reorganizar progresivamente las formas de pensar el mundo. En ese recorrido, los estudiantes no solo construyen explicaciones más complejas sobre los fenómenos naturales; transforman también las relaciones que establecen con los otros, con el conocimiento y con el lugar que habitan. Quizá sea allí donde esta experiencia encuentra su mayor sentido: en reconocer que estudiar un sistema complejo no consiste únicamente en comprender cómo funciona el mundo, sino en aprender, progresivamente, a formar parte de él de una manera más consciente.

7. BIBLIOGRAFIA

Alcaldía Mayor de Bogotá, D. C. (2021). *Decreto 555 de 2021. Por el cual se adopta la revisión general del Plan de Ordenamiento Territorial de Bogotá D. C.*

Armenteras, D., González, T., Vergara, L. K., Luque, F., Rodríguez, N., & Bonilla, M. A. (2016). Revisión del concepto de ecosistema como "unidad de la naturaleza" 80 años después de su formulación. *Ecosistemas, 25*(1), 83–89. https://doi.org/10.7818/ECOS.2016.25-1.12

Autoridad Nacional de Licencias Ambientales. (2020). *Reporte de análisis regional de la subzona hidrográfica del río Bogotá (SZH-RioBog).* Autoridad Nacional de Licencias Ambientales.

Baena-Rojas, J. J., Ramírez-Montoya, M. S., Mazo-Cuervo, D. M., & López-Caudana, E. O. (2022). Traits of complex thinking: A bibliometric review of a disruptive construct in education. *Journal of Intelligence, 10*(3), Article 37. https://doi.org/10.3390/jintelligence10030037

Betancur-Alarcón, L., Pulgarín-Morales, L., Jiménez-Sáenz, C., Alba, R., & Krueger, T. (2026). Electrified rhythms: How hydropower infrastructure transforms hydrosocial relations of riverine communities in the Lower Sogamoso River, Colombia. *People and Nature*. Advance online publication. https://doi.org/10.1002/pan3.70244

BIOCARBON CERT, Fundación Natura Colombia, & Ecopetrol. (2025). *Documento metodológico sector AFOLU. BCR0007. Conservación y restauración de humedales naturales continentales* (Versión 1.1).

Boelens, R., Cremers, L., & Zwarteveen, M. (Eds.). (2011). *Justicia hídrica: Acumulación, conflicto y acción social*. Instituto de Estudios Peruanos; Fondo Editorial PUCP.

Bozkurt, N. O., & Bozkurt, E. (2024). Systems thinking in education: A bibliometric analysis. *Education and Science, 49*(218), 205–231.

Capra, F. (1996). *La trama de la vida: Una nueva perspectiva de los sistemas vivos*. Editorial Anagrama.

Ceballos Fandiño, J. A. (2018). *Análisis de la dinámica hídrica en la cuenca del río Cravo Sur entre Labranzagrande y Yopal, mediante técnicas de teledetección* [Trabajo de especialización]. Universidad de Manizales.

Colombia. Congreso de la República. (1997). *Ley 357 de 1997. Por medio de la cual se aprueba la Convención Relativa a los Humedales de Importancia Internacional especialmente como Hábitat de Aves Acuáticas*, suscrita en Ramsar el 2 de febrero de 1971. *Diario Oficial No. 42.968*.

Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca, Secretaría Distrital de Ambiente, & Alcaldía Mayor de Bogotá, D. C. (2022). *Actualización del Plan de Manejo Ambiental de los humedales Torca y Guaymaral.*

Custodio, E., & Llamas, M. R. (Dirs.). (1996). *Hidrología subterránea* (2.ª ed., Vol. 1). Ediciones Omega.

Echevaría, J. R. (1979). La filosofía sistemática de Laszlo. Diálogos, 34, 93–110.

Florian-Vergara, C., Salas, H. D., & Builes-Jaramillo, A. (2021). Análisis de la precipitación y la evaporación en el Orinoco colombiano según los modelos climáticos regionales del experimento CORDEX-CORE. TecnoLógicas, 24(52), e2144. https://doi.org/10.22430/22565337.2144

Franco Herrera, A., Sánchez Muñoz, J. A., Guerra Curvelo, W., Reynolds Pombo, J., Speich, S., Cantera Kintz, J., Gutiérrez Bonilla, F. P., & Peña Salamanca, E. J. (2020). Colombia, la oportunidad del agua: Dos océanos y un mar de ríos y aguas subterráneas (Vol. 7). Vicepresidencia de la República de Colombia; Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación.

García, M. C., Piñeros Botero, A., Bernal Quiroga, F. A., & Ardila Robles, E. (2012). Variabilidad climática, cambio climático y el recurso hídrico en Colombia. Revista de Ingeniería, 36, 60–64.

García, R. (2006). Sistemas complejos: Conceptos, método y fundamentación epistemológica de la investigación interdisciplinaria. Gedisa.

Gaspari, F. J. (2013). El agua y la cuenca hidrográfica. En Elementos metodológicos para el manejo de cuencas hidrográficas. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, Universidad Nacional de La Plata.

Hacking, I. (1996). Representar e intervenir. Paidós; Universidad Nacional Autónoma de México.

Hanson, N. R. (2005). Observación. En L. Olivé & A. R. Pérez Ransanz (Eds.), Filosofía de la ciencia: Teoría y observación (cap. 1). Siglo XXI Editores. (Trabajo original publicado en 1958).

Holmes, R. R., Jr., & Dinicola, K. (2010). 100-year flood—It's all about chance. U.S. Geological Survey. https://doi.org/10.3133/gip106

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. (2023). Estudio Nacional del Agua 2022: Resumen ejecutivo. IDEAM.

Ivanova, Y., & Sarmiento, A. (2013). Evaluación de la huella hídrica de la ciudad de Bogotá como una herramienta de la gestión del agua en el territorio urbano. Revista Ambiental Agua, Aire y Suelo, 4(2).

Jean, G. (1989). Bachelard, la infancia y la pedagogía (J. J. Utrilla, Trad.). Fondo de Cultura Económica. (Obra original publicada en 1983).

Karlin, M. S., Moreno, M. A., Rollán, A. A., & Bachmeier, O. A. (2013). Causas y efectos de la dinámica hídrica del suelo sobre las comunidades vegetales en Salinas Grandes, Catamarca (Argentina). Multequina, 22, 1–14.

Lasso, C. A., Usma, J. S., Trujillo, F., & Rial, A. (Eds.). (2010). Biodiversidad de la cuenca del Orinoco: Bases científicas para la identificación de áreas prioritarias para la conservación y uso sostenible de la biodiversidad. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt; WWF Colombia; Fundación Omacha; Fundación La Salle de Ciencias Naturales; Universidad Nacional de Colombia.

Laszlo, E. (2009). El cambio cuántico: Cómo el nuevo paradigma científico puede transformar la sociedad. Kairós.

Londoño Hernández, K. (2020). *Estudio de la circulación del agua como fenómeno complejo con estudiantes de grado cuarto en el Colegio La Colina* [Trabajo de especialización, Universidad Pedagógica Nacional]. Repositorio Institucional de la Universidad Pedagógica Nacional.

Malagón Sánchez, F., Sandoval Osorio, S., & Ayala Manrique, M. M. (2013). La actividad experimental: Construcción de fenomenologías y procesos de formalización. *Praxis Filosófica, Nueva Serie, 36*, 119–138. https://doi.org/10.25100/pfilosofica.v0i36.1134

Martín Clemente, C. R., Sosa Ramírez, J., Maass Moreno, M., Luna Ruíz, J. J., Meráz Jiménez, A. J., & Flores Ancira, E. (2015). Comparación de métodos para estimar disponibilidad hídrica en cuencas forestales. *Terra Latinoamericana, 33*(1), 17–26.

Maturana, H., & Varela, F. (1995). *De máquinas y seres vivos: Autopoiesis, la organización de lo vivo*. Editorial Universitaria.

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2006). *Resolución 196 de 2006. Por la cual se adopta la guía técnica para la formulación de planes de manejo para humedales en Colombia.*

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2018). *Guía nacional de modelación del recurso hídrico para aguas superficiales continentales*. Dirección de Gestión Integral del Recurso Hídrico.

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, & Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM). (2024). *Programa nacional de monitoreo del recurso hídrico.*

Ministerio de Educación Nacional. (2004). *Estándares básicos de competencias en ciencias naturales y ciencias sociales: Formar en ciencias: ¡El desafío! Lo que necesitamos saber y saber hacer*. Ministerio de Educación Nacional.

Morin, E. (1994). *Introducción al pensamiento complejo*. Gedisa.

Neira, J. E. (2024, 7 de noviembre). Esta es la razón por la que se inundó la autopista Norte tras las fuertes lluvias. *Infobae*. https://www.infobae.com/colombia/2024/11/08/esta-es-la-razon-por-la-que-se-inundo-la-autopista-norte-tras-las-fuertes-lluvias/

Ojeda Muñoz, W. (2024). *Una secuencia de enseñanza-aprendizaje en torno al conocimiento ecológico de la avifauna de un humedal para mejorar la territorialidad en estudiantes de séptimo grado de una institución educativa del municipio de Funza* [Tesis de maestría]. Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales (U.D.C.A.).

Orozco Cruz, J. C., Valencia Vargas, S., Méndez Núñez, O., Jiménez Gómez, G., & Garzón Ortiz, J. P. (s. f.). *Los problemas de conocimiento: Una perspectiva compleja para la enseñanza de las ciencias*. Departamento de Física, Universidad Pedagógica Nacional.

Ortega Font, N. M., & Rosas Longoria, R. A. (2012). La crisis hídrica en el espacio urbano post-metropolitano. *Revista Internacional de Ciencias Sociales y Humanidades, SOCIOTAM, 22*(2), 89–123.

Posada-Marín, J. A., Rendón, A. M., Jaramillo, F., & Salazar, J. F. (2026). The transboundary precipitationshed of a non-transboundary watershed: Emerging challenges for water resources management. *Water Resources Management, 40*, Article 110. https://doi.org/10.1007/s11269-025-04450-w

Poveda, G. (2004). La hidroclimatología de Colombia: Una síntesis desde la escala interdecadal hasta la escala diurna. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, 28*(107), 201–222.

Quintero, L. (2024, 6 de noviembre). El impactante video que muestra la grave inundación en la autopista Norte por fuertes lluvias en Bogotá: el agua cubre los carros. *El Tiempo*. https://www.eltiempo.com/bogota/el-impactante-video-que-muestra-la-grave-inundacion-en-la-autopista-norte-por-fuertes-lluvias-en-bogota-3397394

Quintero Velásquez, L. A. (2022). *Cuencas atmosféricas y su importancia en el ordenamiento ambiental del territorio* [Tesis de maestría]. Universidad Nacional de Colombia.

Ramírez-Montoya, M. S., Castillo-Martínez, I. M., Sanabria-Z, J., & Miranda, J. (2022). Complex thinking in the framework of Education 4.0 and open innovation: A systematic literature review. *Journal of Open Innovation: Technology, Market, and Complexity, 8*(1), Article 4. https://doi.org/10.3390/joitmc8010004

Ramsar Convention Secretariat. (2024). *The value of wetlands for cities*. Convention on Wetlands. The value of wetlands for cities

Roa Avendaño, T. (2019). *Hidrosogamoso: Discursos, conflictos y resistencias*. Universidad Andina Simón Bolívar; Centro de Estudios para el Desarrollo Laboral y Agrario (CEDLA).

Roca, D. (2025). *Ecologías políticas del Sur: Cambio climático y alternativas al desarrollo en América Latina y el Caribe* [Video]. ALC Diálogo Magistral CLACSO. https://www.youtube.com/watch?v=v-r6qBov3yw

Sánchez Jiménez, K. Z., & Rojas Vanegas, L. E. (2021). *Enseñanza de los ecosistemas y las relaciones entre sus poblaciones a través de la huerta escolar en el grado 6 de la Institución Etnoeducativa Rural Laachon Mayapo* [Tesis de maestría]. Universidad Distrital Francisco José de Caldas.

Schmittner, A. (2018). *Introduction to Climate Science*. Oregon State University.

Secretaría Distrital de Ambiente, Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca, & Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá. (2022). *Actualización del Plan de Manejo Ambiental de los humedales Torca y Guaymaral.*

Thornthwaite, C. W., & Mather, J. R. (1957). *Instructions and tables for computing potential evapotranspiration and the water balance*. *Publications in Climatology, 10*(3). Laboratory of Climatology, Drexel Institute of Technology.

Tovar Ardila, J. K., & De la Hoz Cuartas, M. C. (2020). *Caracterización del cambio en la regulación hídrica y la oferta potencial de servicios ecosistémicos, asociado al establecimiento de infraestructura hidráulica. Caso de estudio: Complejo de Humedales de Ayapel* [Trabajo de grado]. Universidad de Antioquia.

Universidad de Antioquia. (2020). *Amazonia, Orinoquia y Magdalena, conectados por una cuenca atmosférica invisible*. *Periódico Alma Máter*. https://www.udea.edu.co/wps/portal/udea/web/inicio/udea-noticias/udea-noticia/Contenido/asNoticias/PeriodicoAlmaMater/amazonia-orinoquia-magdalena-cuenca-atmosferica

Urquiza Gómez, A., & Cadenas, H. (2015). Sistemas socioecológicos: Elementos teóricos y conceptuales para la discusión en torno a vulnerabilidad hídrica. *L'Ordinaire des Amériques, 218*. https://doi.org/10.4000/orda.1774

Valencia Vargas, S., Méndez Núñez, O., Jiménez Gómez, G., & Garzón Ortiz, J. P. (2003). *Los problemas de conocimiento: Una perspectiva compleja para la enseñanza de las ciencias*. Departamento de Física, Universidad Pedagógica Nacional.

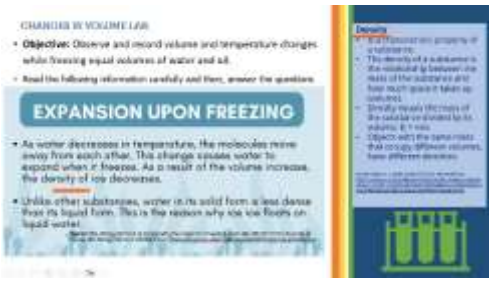
Valencia Vargas, S., Méndez Núñez, O., & Jiménez Gómez, G. (s. f.). *El Eco-Terrario: La comprensión de lo vivo y su configuración como sistema complejo*. Departamento de Física, Universidad Pedagógica Nacional.

Ward, R. C. (1967). *Principles of hydrology*. McGraw-Hill.

8. ANEXOS

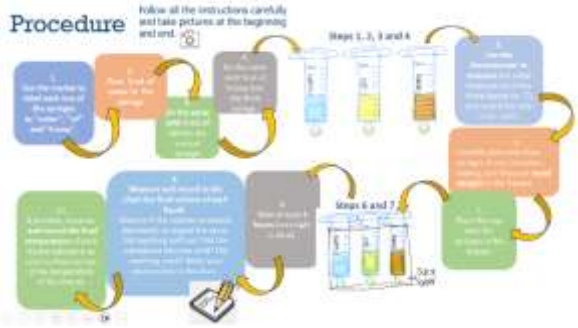
Anexo 1: Ejemplo de Guía de laboratorio.













GRAPH:



Anexo 2: Ciencia interconectada en el Humedal Guaymaral

The Living Science of the Torca Guaymaral Wetland!

1. The Origin of Our Territory: From Mountains to Giant Sponges

Have you ever wondered why the wetland is located right here? Its existence is entirely linked to Bogotá's geological history and the Plate Tectonics that formed the Andes Mountains and the nearby Eastern Hills. The wetland is situated in the Bogotá River Floodplain, which is like a large, flat "valley" or "scoop" that naturally fills with water when rivers and streams rise. The wetland functions as a floodplain area.
Constant water flow reaches the wetland from the Eastern Hills, thanks to tributary streams like the San Juan Stream and the Patiño Stream, which maintain a constant water dynamic.

2. The Soil: From Natural Sponge to Compact Block

The soil is a key component of the wetland, and you have learned about its **physical properties**

2.1. Original Soils (The Clay Sponge):

- Composition: The natural soil was rich in fine particles of clay and silt.
- Key Properties: This soil had a low density (between 0.85g /cm^3 and 1.2 g/cm^3), meaning the soil was light and highly porous. This physical property allowed it to absorb water (the process of infiltration) and hold a lot of it (excellent Water Retention Capacity [CRA]). This "sponge" function helped buffer the water dynamics, which means it reduced the impact of large flood events and regulated the water level in the system.

2.2. Current Soils (Anthropic – made by humans - Fills):

People introduced fill soils of mixed materials (debris), reaching up to 5 meters in height.

- Altered Properties**:** These fills have high density (greater than 1.5 g/cm^3), meaning the soil is heavy and very compact. This causes the loss of water absorption capacity (infiltration).
- Consequence: Because the soil is no longer a sponge, the water cannot be absorbed properly. This, combined with the disconnection of water flows,

increases the risk of flooding during extreme rainfall events (the strongest rains expected over long periods, like once every 100 years).

To fix this, experts propose reconstructing the shape of the land and its hydrology (called hydro-geomorphological reconformation). This means moving the fills and reshaping the soil to restore the water storage capacity (Alcaldía Mayor de Bogotá, 2022).

3. Aquatic Chemistry: Contamination as a Complex Mixture

The wetland water is a giant mixture that is full of life, but also contains pollutants. The water quality analyses (*APMHTG_PMA_PCA*) show it is altered by contamination.

3.1. Why is it a Heterogeneous Mixture?

The water is a complex and heterogeneous mixture because you can distinguish its components.

- Suspended Solids: It contains sludge and fine sediments (solid particles) that are suspended and not dissolved, causing turbidity.
- Floating Matter: Solid waste (trash and debris) and aquatic vegetation are visible floating or submerged.

3.2. The Chemical Contaminants

1. Organic Matter (Chemical Waste): Wastewater discharges (sewage) introduce organic matter (C, H, O, N Compounds), which are complex chemical compounds based on the element Carbon (C).
2. Excess Nutrients (Nitrates and Phosphates): Agricultural and livestock activities add Nitrogen (N) and Phosphorus (P). These elements form ions Nitrates (NO_3^-) and Phosphates (PO_4^{3-}), which, thanks to water polarity, dissolve easily, creating an aqueous solution (a mixture in which water is the solvent). Excess nutrients cause **eutrophication** (over-fertilization), stimulating aquatic plant growth.

3.3. My

Imagine the water in the humedal is like a hungry student. Eutrophication (pronounced: yoo-troh-fih-KAY-shun) is what happens when that water gets too much food!

In the wetland, the "food" is actually essential elements and compounds called nutrients, specifically Nitrogen (N) and Phosphorus (P).

Where Does the "Food" Come From?

In the wetland, that food comes from wastewater discharges and agricultural activity.

Farmers use fertilizers, which are rich in the elements Nitrogen (N) and Phosphorus (P), to help their crops grow.

When it rains, or through runoff from nearby properties, an **excess** of these elements washes into the quebradas and channels of the humedal.

The Chemical Process: Over-Fertilization

Creating a Solution: Since water is a great solvent, the Nitrogen and Phosphorus compounds dissolve into the water, forming an aqueous solution (a mixture where the water is the primary substance). The analysis of soils even tracks high levels of these elements as indicators of contamination.

Uncontrolled Growth: When this excess of nutrients floods the humedal, it acts as a massive "growth boost" for the aquatic plants and algae already living there.

Eutrophication is the scientific name for this over-fertilization of the water.

The Consequences: Why Too Much Food is Bad
This over-fertilization seems good for the plants at first, but it causes huge problems for the entire ecosystem:

- Loss of Water Space: The excessive growth of plants (like the dominant species mentioned in the humedal, such as Barbasco) starts to fill up the water space, reducing the espejo de agua (the open water surface).

- Oxygen Depletion: When all those excess plants and algae eventually die, their organic matter sinks and starts to decay. This decomposition is a chemical reaction that uses up the dissolved Oxygen () in the water. When the oxygen runs out (anoxia), it threatens the survival of fish (like the Bogotá Captain and Guapucha) and other aquatic life.

- Sludge Buildup: Eutrophication accelerates the colmatation—the buildup of lodos (sludge) and sediments—in the humedal basin, which also reduces the water storage capacity.

So, eutrophication is essentially a harmful cycle where pollution from excess nutrients leads to too much plant life, which then dies and causes severe oxygen depletion and sludge accumulation, making the water unhealthy for the native species.

3.4. Chemical Decomposition Reactions

When organic matter and coliforms (microorganisms) enter the water, chemical reactions occur:

- **Aerobic Decomposition (with O_2):** This consumes dissolved Oxygen (O_2) (element) needed by fish and other organisms, resulting in a physicochemical alteration of the water.

$$\text{Glucose}(C_6H_{12}O_6)+\text{Oxygen}(O_2) \longrightarrow \text{Carbon Dioxide}(CO_2)+\text{Water}(H_2O)+\text{Energy}$$

- **Anaerobic Decomposition (without O_2):** If oxygen runs out, toxic products are produced, like Hydrogen Sulfide (H_2S) and Methane (CH_4).

  In an environment where the crucial element Oxygen (O_2**)** is completely gone, these microorganisms break down the bonds within the organic molecules, transforming them into the toxic gaseous products like Methane and Hydrogen Sulfide. Without this microbial crew, the pollution would not decompose, and the reaction would not occur. Therefore, while the microorganisms don't appear in the word equation, they are the **biological engine** driving this polluting chemical change.

$$\text{Organic Matter} \longrightarrow \text{Methane}(CH_4) + \text{Carbon Dioxide}\ (CO_2)$$

3.5. Bioremediation: Assisted Natural Cleanup

Experts propose bioremediation to mitigate contamination. Assisted chemical reaction (bioremediation) is a management measure where experts *help* nature use living organisms to speed up the cleaning reactions. Phytoremediation uses plants (like reeds) as natural filters: as the plant absorbs water to live, its roots also "pull up" the dissolved ionic contaminants (Nitrates and Phosphates), storing them in their structure and cleaning the water.

Bioremediation: Letting Nature Do the Cleanup!
When contamination occurs in the wetland—like the high levels of Nitrates and Phosphates from fertilizers and wastewater—experts propose using bioremediation to clean the water.
1. What is an Assisted Chemical Reaction?
You already know that a chemical reaction happens when reactants turn into products, often changing the chemical properties of the substances.
• Normal Reaction: Many cleaning reactions (like decomposition) happen naturally, but very slowly.
• Assisted Reaction (Bioremediation): This is a management measure where experts help speed up those natural chemical cleaning reactions. They do this by introducing or encouraging living organisms—like certain bacteria or plants—to "eat" or absorb the harmful pollutants. This helps ensure that the cleaning reaction has a successful outcome, transforming the contaminants into something harmless or stable.
2. How Phytoremediation Filters the Water
Phytoremediation is a specific type of bioremediation that uses plants (like the reeds and other wetland vegetation you see). The plants act like natural filters to clean the polluted water.

• The Contaminants: The problem substances in the water are often excess nutrients, particularly Nitrates (NO_3^-) and Phosphates (PO_3^{3-}). These are ionic compounds that are dissolved in the water (an aqueous solution) because water is a great solvent.
• The Plant's Role: For a plant to live and grow, it needs to absorb water through its roots. When the plant "drinks" the polluted water, its roots are designed to "pull up" and absorb these dissolved ionic contaminants (the Nitrates and Phosphates).
• Cleaning Process: The plants don't destroy the elements right away; they simply store those contaminants in their structure (their leaves, stems, and roots). By storing the excess nutrients, the plants effectively remove them from the water, preventing those elements from reaching toxic levels and causing further eutrophication.
In summary, phytoremediation is crucial because the roots of the wetland vegetation "block" and retain the dissolved contaminants, thereby purifying the water and restoring the humedal's function. This is a key action in the Environmental Recovery Zone (Zona de Recuperación Ambiental), aiming to control and maintain the water and reduce contamination.

4. Biodiversity and Habitat Quality

The wetland is a vital refuge for unique species, known as Conservation Objects (VOCs), which depend on water and soil quality (Alcaldía Mayor de Bogotá, 2022).

4.1. Endemic Species and Chemical Threats (APMHTG_PMA_OCFA)

An endemic species is a type of organism (a plant, animal, or microorganism) that is naturally restricted to or found only in a specific location, like a single country, region, or even a small locality.

Key Characteristics of Endemic Species:

• Restricted Distribution: Endemic species have a small geographical range; they are not found anywhere else in the world. For example, the sources note that the Bogotá Chirping Frog (*Dendropsophus molitor*) is an endemic species, meaning it lives only in certain parts of Colombia (the central and northeast zone, including Cundinamarca) (Acosta Galvis, 2019;).
• High Conservation Value: Because endemic species are confined to one place, they acquire great value for conservation analysis. If their specific habitat is destroyed or altered—as happens in the wetland due to fills and contamination—their entire global population is at risk.
• Vulnerability: Endemic species often register populations that are scarce because they may have a low capacity for dispersal, require very specific habitats, or thrive due to geographical isolation. This low capacity can lead to reduced reproductive success, making them particularly vulnerable to extinction.
For example, in the Torca Guaymaral Wetland, we discussed several endemic species that are designated as Objects of Conservation (VOCs) precisely because their distribution is restricted:
• Reptiles/Amphibians: The Sabanera Snake (*Atractus crassicaudatus*) and the Bogotá Chirping Frog (*Dendropsophus molitor*) are considered endemic to the region.
• Birds: The Bogotá Rail (*Rallus semiplumbeus*) is an example of an endemic bird found in the area.

• Fish: Endemic fish of the Cundiboyacense high plateau, such as the Bogotá Captain (*Eremophilus Mutisii*) and the Guapucha (*Grundulus bogotensis*), are recognized as conservation objects.
If we think of the Earth as a giant library, an endemic species is like a very rare book that exists on only one shelf in the world. If that one shelf is damaged (by pollution or habitat loss), that unique book is lost forever. That's why protecting the Torca Guaymaral Wetland is so important—it's the only home for some of these unique species.

- **Amphibians and Reptiles (Bogotá Chirping Frog & Sabanera Snake):** The Bogotá Chirping Frog (*Dendropsophus molitor*) needs aquatic areas for development (Acosta Galvis, 2019). The Sabanera Snake (*Atractus crassicaudatus*) is endemic (Paternina & Capera-M, 2017). They are sensitive to water contamination. The decomposition of organic matter consumes the Oxygen (O_2) that is dissolved in water, threatening these organisms.
- **Endemic Fish (Bogotá Captain & Guapucha):** The Bogotá Captain (*Eremophilus Mutisii*) and Guapucha (*Grundulus bogotensis*) are vulnerable to sewage and agrochemical runoff. The high consumption of dissolved Oxygen and sludge buildup (colmatation) are direct threats.
- **Birds (Bogotá Rail, Ruddy Duck):** Species like the Bogotá Rail (*Rallus semiplumbeus*) are endemic and associated with the water surface (Alcaldía Mayor de Bogotá, 2022). Their habitat shrinks due to eutrophication (excessive plant growth) and sludge buildup. High noise levels (over 75 dbA) and uncontrolled lighting are stress factors.

4.2. Invasive Species and Fragmented Routes

What is an Invasive Species?
An invasive species is a plant or animal that is not native (not originally from) to a specific environment, but has been introduced, often by human activities, and now causes significant harm to the local ecosystem.
You can think of an invasive species as a visitor that arrives and quickly takes over the house!

- Why are Invasive Species a Problem in the Wetland?

Invasive plants are a major issue identified in the management plan for Torca Guaymaral, listed in the *Map of Areas with High Invasion Risk Species (APMHTG_PMA_ERI)*.
a. They are Highly Competitive: Invasive plants have characteristics that make them very tough and aggressive. They can often survive in areas where the soil has been heavily altered or where there is high stress (like poor soils or high water stress).
b. They Limit Native Growth: Invasive species create high competition for resources (like sunlight, water, and nutrients) with the native plants. For example, species like

gorse (*Ulex europaeus*) and kikuyu grass (*Cenchrus clandestinus*) are dominant in the area. Gorse forms dense patches that block sunlight from reaching the soil, which in turn limits the natural regeneration of native species.
c. They Reduce Biodiversity: By dominating the area and replacing native vegetation, invasive species create a homogenization of the habitat. This reduces the diversity of microhabitats and resources available, which is necessary for the survival and establishment of native flora and fauna.
The presence and expansion of invasive species in areas of the humedal are seen as a factor that limits the natural regeneration of the native ecosystem. Because of this, the Plan of Management includes specific actions for the elimination and control of invasive species like gorse (retamo) to protect the native environment.

Invasives: The dominance of high-risk invasive species (like gorse (*Ulex europaeus*) and kikuyu grass (*Cenchrus clandestinus*)) is a key problem. These species block sunlight, which limits the regeneration of native species. Native species regeneration is the natural process (like using the soil seed bank) that allows plants native to the wetland to grow back. Unfortunately, the fills have caused the loss of soil layers containing seed banks.

- The Problem: When the "Seed Bank" Gets Buried or Removed

To understand this problem, we first need to understand what a "seed bank" is.

- What is a Seed Bank?

◦ Imagine the wetland soil (the original **clay and silt** soil that was light and porous) as a giant savings account. This account doesn't hold money; it holds the **seeds** of all the native plants that belong there.
◦ The native species regeneration (the way native plants naturally grow back) depends on these seeds. If a plant dies, or if a small area is disturbed, these dormant seeds wait in the soil for the right conditions (like moisture or light) to germinate and start growing again.

2. How the Fills Destroyed the Bank:
◦ Our sources state that the anthropic (made by humans) fills—the debris and mixed materials that people used to dry out the area—reached heights of 1 meter to 5 meters.
◦ When these heavy, compact fill materials were dumped onto the land, they did one of two things to the original soil layers (the "seed bank"):
▪ They Buried It Deeply: The dense, new material was placed right on top of the native soil, burying the seeds so deep that they could no longer feel the sunlight or get the air needed to germinate.
▪ They Removed It: In many areas, the transformation involved scraping away the native topsoil layer entirely and replacing it with the fill materials.

3. The Result: Loss of Nature's "Reset Button"

The fills caused a loss of the soil layers with banks of seeds of local flora species.

• This loss is a major limiting factor to restoration. Without the natural "savings account" in the soil, the native vegetation cannot easily grow back on its own.
• The disturbed soil conditions (high density, poor chemistry) also favor invasive species like gorse (retamo) and kikuyu grass, which are strong enough to grow in poor soils. These invasives then take over the few places where native seeds might try to sprout, making the problem even worse.
This is why the management plan calls for strategies that involve the restoration of ecological mechanisms, which sometimes means moving native soil or planting new native seeds (seed sources) to rebuild that natural "savings account".

4.3. Fragmentation

Fragmentation is the division of the habitat caused by infrastructure like the Autopista Norte (since 1950), which reduces the probability of fauna mobility. Fauna mobility is critical for animals like the Opossum (*Didelphis pernigra*) and the Guinean Pig (*Cavia aperea*). When their routes are cut off, these animals are reported run over when trying to cross roads. Experts are trying to establish fauna crossings in the roads to connect the ecological corridors (Alcaldía Mayor de Bogotá, 2022).