



Universidad Central de Venezuela
Facultad de Humanidades y Educación
Comisión de Estudios de Postgrado
Maestría en Psicología de la Instrucción



El ciclo del agua: la representación como ayuda
para su interpretación, un estudio desde la teoría
del aprendizaje multimedia.

Tutor (a):

Dra. Giovanna Lombardi

Autor (a):

Lic. Odalis García

Cédula de Identidad

14.425.118

Caracas, 25 de octubre de 2024



Universidad Central de Venezuela
Facultad de Humanidades y Educación
Comisión de Estudios de Postgrado
Maestría en Psicología de la Instrucción



El ciclo del agua: la representación como ayuda
para su interpretación, un estudio desde la teoría
del aprendizaje multimedia.

Trabajo de Grado presentado como requisito para
obtener el grado de *Magíster Scientiarum* en Psicología
de la Instrucción

Tutor (a):

Dra. Giovanna Lombardi

Autor (a):

Lic. Odalis García

Cédula de Identidad

14.425.118

Caracas, 25 de octubre de 2024

NÚMERO DE DEPÓSITO LEGAL

DC2024002128



Universidad Central de Venezuela
Facultad de Humanidades y Educación
Comisión de Estudios de Postgrado
Maestría Psicología de la Instrucción



VEREDICTO

Quienes suscriben, miembros del jurado designado por el Consejo de la Facultad de la Facultad de Humanidades y Educación de la Universidad Central de Venezuela, para examinar el Trabajo de Grado presentado por: **Odalis Migdalia García Giménez** Cédula de identidad N° 14.425.118, bajo el título "El ciclo del agua: la representación como ayuda para su interpretación, un estudio desde la teoría de aprendizaje multimedia.", a fin de cumplir con el requisito legal para optar al grado académico de Magíster Scientiarum en Psicología de la Instrucción, dejan constancia de lo siguiente:

1.- Leído como fue dicho trabajo por cada uno de los miembros del jurado, se fijó el día 25 de octubre de 2024 a la 01:00 PM., para que la autora lo defendiera en forma pública, lo que se hizo a través de la plataforma Googlemeet , bajo la modalidad online a través del enlace <https://meet.google.com/jgv-vhvo-bpe>; mediante un resumen oral de su contenido, luego de lo cual respondió satisfactoriamente a las preguntas que le fueron formuladas por el jurado, todo ello conforme con lo dispuesto en el Reglamento de Estudios de Postgrado.

2.- Finalizada la defensa del trabajo, el jurado decidió aprobarlo, por considerar, sin hacerse solidario con las ideas expuestas por la autora, que se ajusta a lo dispuesto y exigido en el Reglamento de Estudios de Postgrado.

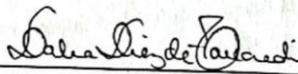
El trabajo presentado muestra una importante revisión bibliográfica que se integra en un discurso coherente y se usa como base para resolver un problema instruccional específico y complejo en el área de enseñanza de las ciencias. De igual manera destaca el aporte de la construcción de categorías de análisis que permiten dar cuenta del desarrollo de competencias representacionales. Describe un trabajo detallado de diseño instruccional que podría servir de inspiración y modelo para otros profesores e investigadores. Además,



cumple con los parámetros exigidos para un proyecto de Investigación y un Trabajo de Grado

3.- El jurado por unanimidad decidió otorgarla calificación de EXCELENTE al presente trabajo por considerarlo de excepcional calidad.

En fe de lo cual se levanta la presente ACTA, a los 25 días del mes de octubre del año 2024, conforme a lo dispuesto en el Reglamento de Estudios de Postgrado, actuó como Coordinadora del jurado Prof. Giovanna Lombardi.



Prof. Dalia Diez de Tancredi / C.I. V-
4.576.822
Jurado externo: UPEL-IPC



Prof. Robin Urquhart / C.I. V-6.084.760
Institución: UCV



Prof. Giovanna Lombardi/C.I. V-6.165.763
Institución: UCV
Tutor



DEDICATORIA:

A mi vieja Nilda, ejemplo incansable de trabajo y servicio hacia los otros,

A mi regalo de Dios, por estar allí siempre para mí, por ayudarme a encontrarme cuando me he desviado del camino, Luis Zamora, por su amor y lealtad.

A nuestra ZAGA, Luis Daniel, Luis Alejandro, a Luis Alfredo, por toda la paciencia que me tienen y por motivarme a crecer de manera constante.

A la señora Paula y la señora Elvira, ustedes han sido parte fundamental en todo lo que los Zaga estamos haciendo.

A la Profe Giovanna, mi madre académica y modelo de lucha inagotable por mejorar la academia.

A mis hermanos, quienes fueron mi primera escuela de vida, a toda mi familia...

AGRADECIMIENTOS:

De manera especial Aleida, una compañera vital en todo este camino que llaman investigación.

A Nelly, una hermana de vida que a pesar de la distancia siempre me insta a ser mejor.

A mis amigas, hermanas de vida que encontré en mi paso por Ecuador y que hoy son parte de mi vida.

Al Colegio Javier, por ser una escuela viva que me ha ayudado a fortalecer mi amor por la docencia y que me ayudó a comprender que, para servir mejor, hay que ser más.

A los grandes maestros del Postgrado en Psicología de la Instrucción: Beatriz Lepage, Eugenia Pereyra, Patricia Peña, Robin Urquhart, Nelson Díaz y Maite Andrés.

A mis estudiantes, quienes son la fuerza motriz que nos impulsa a seguir creyendo que un mundo mejor es posible y que la educación es la vía.

Índice de contenido

Resumen	12
Introducción.....	13
Capítulo 1: Planteamiento del problema	17
1.1 Formulación del Problema	17
1.1.1 Dificultades Originadas en la Representación Pedagógica.	18
1.1.2 Dificultades de Aprendizaje del Ciclo Biogeoquímico.....	19
1.2 Justificación: necesidad de una investigación del uso de las REP en el ciclo del agua.23	
1.3 Objetivos de la Investigación	24
1.3.1 Objetivo General.....	24
1.3.2 Objetivos específicos	24
Capítulo 2. Marco teórico Referencial	26
2.1. Antecedentes de la Investigación	27
2.1.1 Problemas Asociados al Estudio del Ciclo Biogeoquímico del agua.....	27
2.1.2 Beneficios de usar Representaciones Pictóricas para Enseñar Tópicos Científicos.	30
2.1.3 Necesidad de Alfabetizar Visualmente a los Estudiantes cuando se Enfrentan a Tópicos que Combinan Representaciones Pictóricas y Lingüísticas.....	31
2.2 Fundamentos teóricos que sustentan la investigación relacionados con las REP.....	33
2.2.1 Definición de representación	33
2.2.2 Representaciones Externas: definición, clasificación y función.....	34
2.2.3 Representaciones externas tipo pictóricas (REP): Características, función, tipos, niveles de representación.	36
2.3. Caracterización de las REP de los Ciclos Biogeoquímicos con Énfasis en el Ciclo del Agua.	43
2.3.1 Modelos teóricos que sustentan el aprendizaje a partir de las REP en la Psicología de la instrucción.	52
2.3.1.1 Modelo Multialmacén de Memoria.....	53
2.3.1.2 Teoría cognitiva de aprendizaje multimedia (TCAMM).....	55

2.3.1.3 El modelo de los 7 elementos de Schönborn y Anderson (2010): implicaciones para la enseñanza y aprendizaje del ciclo del agua.	60
2.4 Competencias representacionales que un estudiante debe alcanzar para construir conocimiento a partir de una REP en los CBGQ.	62
Capítulo 3: Metodología.....	64
3.1 Tipo de investigación.....	64
3.2. Diseño de investigación.....	64
3.3 Descripción de los Participantes.....	67
3.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos	68
3.5 Procedimientos aplicados.....	69
3.6 Temporalidad de la recolección de los datos	76
Capítulo 4: resultados y discusión	78
4.1 Contexto.....	78
4.2 Identificar el nivel de competencia representacional de los estudiantes de 1er año de bachillerato ante una REP del CBGQ del agua.....	79
4.2.1. Resultados vinculados a la parte B del test: Conocimientos declarativos	79
4.2.2 Competencias representacionales determinadas a partir de un dibujo hecho a mano y sin material de ayuda (Parte A del pretest).	86
4.2.3 Otras competencias representacionales evaluadas en la Parte A del test.	98
4.3 Objetivo tres (3): Describir el nivel de progresión de las competencias representacionales alcanzadas luego de la instrucción explícita.	114
4.4 Discusión general de los resultados encontrados, de la praxis a la teoría.	130
Capítulo V: Conclusiones.....	137
Referencias	142
Anexo A: Resultados por dupla	148
Anexo B: Test aplicado.	177
Anexo C: Cuadernillo de trabajo.	184

Índice de tablas

Tabla 1. <i>Clasificación de las representaciones pictóricas más frecuentes en los libros de textos</i>	38
Tabla 2. <i>Niveles de representación encontrados en una REP, con énfasis en los ciclos biogeoquímicos</i>	40
Tabla 3. <i>Currículo de educación general básica y bachillerato general unificado Fuente: Ministerio Educación Ecuador, 2016</i>	44
Tabla: 4. <i>Interpretación de los principales principios instruccionales propuesto por Mayer (2005)</i>	59
Tabla 5. <i>Propuesta metodológica para llevar a cabo la investigación.</i>	66
Tabla 6. <i>Tareas que debían realizar cuando se enfrenten a una REP de los CBGQ y que fueron evaluadas en la parte 1 del test o en cualquier tema relacionado con el ciclo del agua.</i>	71
Tabla 7. <i>Lista de cotejo con Elementos que deberían reconocer y relacionar los estudiantes al construir o analizar un ciclo del agua. (parte A) + Rúbrica para medir el nivel de competencia representacional (parte B)</i>	74
Tabla 8. <i>Secuencias de actividades a realizar durante las sesiones de enseñanza y aprendizaje</i>	76
Tabla 9. <i>Resultados cuantitativos de la aplicación del test antes y después de la intervención: Pre test y Posttest.</i>	80
Tabla 10. <i>Descripción de competencia antes de la intervención</i>	88
Tabla 11. <i>Resumen de los resultados encontrados en las habilidades representacionales dispuestas en la Parte A del test</i>	101
Tabla 12. <i>Habilidad de aplicación/implementación: Implica comprender conceptualmente un proceso, y modificar una RE</i>	109
Tabla 13. <i>Resumen del nivel de progresión del CBGQ del agua</i>	114
Tabla 14. <i>Respuestas globales de competencias representaciones (REPi; REPm; REPf)</i>	116
Tabla 15. <i>t-Test: Pareado para medias</i>	119

Tabla 16. Componentes que no superan el 50 % de logro dentro los dibujos del ciclo del agua (Parte A del test).....	128
---	-----

Índice de figuras

Figura 1. La fotografía, muestra el agua en diferentes estados de agregación.....	42
Figura 2-A. Representación pedagógica de un ciclo del agua. (artículo científico)	46
Figura 2-B. Representación pedagógica del Ciclo del agua. (Libro de texto).....	46
Figura 2-C. Propuesta de modelo científico del ciclo del agua.....	50
Figura 3. Modelo Multialmacén de Memoria. por Atkinson y Schiffrin (1968)...	54
Figura 4. Modelo Cognitivo de Aprendizaje Multimedia.....	58
Figura 5. Modelo de 7 factores de Schönborn y Anderson (2010).....	60
Figura 6. Gráfico de columnas sobre los resultados del pretest (color azul y post test color rojo).....	81
Figura 7. Dibujo clasificado con nivel de competencia 1: (dupla 6).....	90
Figura 8. Dibujo clasificado con nivel de competencia 2: (dupla 1).....	92
Figura 9. Dibujo clasificado con nivel de competencia 2: (dupla 2).....	93
Figura 10. Dibujo clasificado con nivel de competencia 2: (dupla 9)	93
Figura 11. Habilidades: Descodificar el lenguaje simbólico / Traducir verticalmente a través de múltiples REP un concepto.....	103
Figura 12. Traducir vertical/horizontalmente una REP en otra, pasar de un nivel a otro. (Dupla 2)	105
Figura 13. Evaluar la eficacia de una representación. (Dupla 2).....	106

Figura 14 A - B. <i>Habilidad representacional: implementación de un diseño para la mejora de la infiltración y evapotranspiración. (Pretest (A) y Postest (B) dupla 2)</i>	109
Figura 15. <i>Habilidad representacional: implementación de un diseño para la mejora de la infiltración y evapotranspiración</i>	111
Figura 16. <i>Habilidad, interpretación de un diseño para la mejora de la infiltración y evapotranspiración en una zona urbana (dupla 10). Pretest-A y postest-B</i>	112
Figura 17. <i>Gráfico resumen del nivel de competencia representacional desarrollado por los estudiantes antes, durante y al final de la intervención pedagógica</i>	117
Figura 18. <i>Dibujos para ilustrar el nivel de progresión de las competencias representacionales (Dupla 1)</i>	122
Figura 19. <i>Dibujo para ilustrar el nivel de progresión de las competencias representacionales (Dupla 7)</i>	124
Figura 20. <i>Dibujos para ilustrar el nivel de progresión de las competencias representacionales (Dupla 11)</i>	126



EL CICLO DEL AGUA. LA REPRESENTACIÓN COMO AYUDA PARA LA INTERPRETACIÓN. UN ESTUDIO DESDE LA TEORÍA DE APRENDIZAJE MULTIMEDIA

Resumen

El objetivo de esta investigación fue describir cómo cambian las competencias representacionales en estudiantes que cursaron 1er año de bachillerato (15-16 años) y recibieron instrucción sobre las reglas utilizadas para construir las REP del ciclo del agua. Para ello se diseñó una intervención pedagógica bajo los principios instruccionales de la teoría cognoscitiva de aprendizaje multimedia propuestos por Mayer (2005), apoyada en lo que contempla el modelo de los 7 factores de Schönborn y Anderson (2010) sobre los diversos elementos que se necesitan para comprender una REP, independientemente del tópico en la que se presente. Es una investigación de corte mixto, ya que utiliza elementos de análisis cualitativo y cuantitativo y su diseño se basó en una investigación basada en diseño. Se buscó conocer y describir cómo cambiaban las habilidades de los estudiantes para utilizar la información que presentan las REPs del ciclo del agua. Dicho estudio contempló la utilización de un cuadernillo de trabajo que contenía diversas tareas. Se utilizó un test que se aplicó antes y después de la intervención didáctica para recoger las respuestas a las diversas situaciones que implican el uso o construcción de representaciones pictóricas del ciclo del agua. Las respuestas, construidas con lápiz a mano, se evaluaron usando análisis de contenido, a través de una rúbrica diseñada para tal fin. Los resultados permiten concluir que la instrucción explícita sobre las reglas de representación es un requisito indispensable para mejorar la comprensión de los estudiantes: los estudiantes en general incrementaron su nivel de competencia representacional después de la intervención, ya que la instrucción les permitió reconocer la naturaleza y los niveles de representación, y en consecuencia poder interpretar y / o construir significado a partir de una REP del ciclo del agua.

Descriptor: representaciones externas pictóricas, competencias representacionales, ciclos biogeoquímicos, teoría cognoscitiva de aprendizaje multimedia.

Introducción

Históricamente, los seres humanos han construido sistemas para representar todo lo que han observado o estudiado. Estos sistemas pueden ser pensamientos internos o representaciones externas y existe una especie de quimera entre ambos tipos de sistema. En la actualidad basta solo con mirar los libros de texto utilizados en la educación en cualquiera de los niveles educativos para observar que las representaciones pictóricas o figurativas (REP) ocupan un lugar prominente dentro de ellos con la intención de comunicar ideas al lector.

Las REP han sido utilizadas no sólo como un sistema para comunicar ideas, sino también como objetos que facilitan el aprendizaje y el avance científico. Un ejemplo de lo que afirmamos lo tenemos en el proceso de replicación semiconservativa del ADN, el cual no hubiese sido posible de cimentar sin las fotografías de cristalografía generadas por Rosalind Franklin que dieron origen a que Watson y Crick pudieran construir el modelo de doble hélice del ADN.

En la comunidad científica, por tanto, es frecuente que se utilicen diferentes tipos de representaciones externas, sistemas de signos que sustituyen un objeto, fenómeno o idea para “visualizarlo” desde diferentes perspectivas, confiriéndole así un carácter multimodal, entendido como el uso de diferentes formatos para representar aspectos diferentes de un fenómeno o cosa (Lemke, 2004). Estos diferentes sistemas de representación, que se complementan, exigen al estudiante y al público en general

manejarlos (leerlos y escribirlos) para aprender sobre el t3pico que est3n estudiando, y usarlos como instrumentos de comunicaci3n y procesamiento de informaci3n (Lombardi, 2009).

Un estudiante que quiere aprender los conceptos de una disciplina particular debe poder leer e interpretar los diferentes sistemas de representaci3n utilizados por la comunidad de discurso para introducirse en ella (Perales y Jim3nez, 2002; Diez y Caballero, 2004 y Lombardi, 2009). No obstante, no es una tarea sencilla, ya que no siempre una imagen dice m3s que 1000 palabras, especialmente cuando esa imagen est3 cargada de contenidos como las representaciones pict3ricas usadas en las ciencias naturales. Estas representaciones deben ser interpretadas desde el 3rea espec3fica de conocimiento a las que hacen referencia (Pozzer y Roth, 2003; Lombardi, 2009).

De all3 que sea necesario que los estudiantes y/o lectores desarrollen competencias representacionales o visuales. Entendemos las competencias representacionales como el grupo de habilidades que permiten al lector aprender y resolver problemas en un dominio de conocimiento dado a partir del procesamiento de una representaci3n pict3rica (Stieff y Desutter, 2021). Asimismo, autores como Sch3nborn y Anderson (2010) afirman que un estudiante ha desarrollado estas competencias cuando tiene la capacidad de: (a) decodificar e interpretar los elementos constituyentes de cada representaci3n, (b) codificar y construir significados a partir de ellas, y (c) generar sus propias representaciones para presentar sus ideas.

La presente investigaci3n se centr3 en un tipo particular de REP, la de los

Ciclos Biogeoquímicos (CBGQ). Los CBGQ funcionan como un modelo explicativo de los diversos procesos cíclicos, de tipo biológicos, físicos y químicos que ocurren entre el medio ambiente y los organismos que se encuentran en él. La representación de este tema de la Biología fue escogida para llevar a cabo la investigación, porque combina diferentes niveles de representación y además comprende una serie de elementos visuales que aumentan su complejidad, lo que dificulta la interpretación y construcción de una representación.

Los signos empleados en la construcción de los CBGQ representan distintos niveles (macroscópico, microscópico, submicroscópico y simbólico) y tienen el propósito de describir los diferentes procesos de intercambio de masa y energía que ocurren en la naturaleza, procesos que deben ser tomados en cuenta para mostrar una comprensión sistémica de dicho ciclo. Al estudiante se le dificultará visualizar y comprender los intercambios de masa y energía que ocurren en los ecosistemas si no utiliza los CBGQ (Diez y Caballero, 2004; Nyachwaya y Gillespie, 2016).

Apoyado en la Psicología de la Instrucción, la investigación pretendió generar herramientas para que los estudiantes aprendan significativamente un tópico como el CBGQ del agua a partir de una REP que combina diferentes niveles de representación y reglas específicas para su construcción. A este fin, se diseñó un formato de instrucción considerando algunos de los principios instruccionales que propone la Teoría de Aprendizaje Multimedia (TCMM) de Mayer (2005). Con este diseño se buscó reducir el trabajo cognitivo que una persona debe realizar cuando se enfrenta a

materiales nuevos que combinan más de un tipo de REP. Con base en la teoría de Procesamiento de Información, reconocemos que la limitada capacidad de la memoria de trabajo podría saturarse si la información que el estudiante debe procesar incluye información irrelevante que no contribuye al aprendizaje, porque distrae y demanda recursos cognitivos que podrían aprovecharse para aprender. El uso de esta teoría y las sugerencias de Schönborn y Anderson (2010) sobre habilidades de representación permitió diseñar tareas de instrucción para ayudar a los estudiantes a desarrollar competencias representacionales que les permitiera leer y comprender una REP de los CBGQ.

La investigación fue de tipo mixto combinó elementos cualitativos y cuantitativos, con un enfoque descriptivo y longitudinal de campo. Se apoyó en una metodología basada en diseño, cuyo propósito fue profundizar en las trayectorias seguidas por un grupo de estudiantes para pasar de niveles representacionales básicos a niveles de representación más complejos e identificar las dificultades que encontraron para lograrlo, con el fin de sugerir caminos para abordarlas.

Capítulo 1: Planteamiento del problema

1.1 Formulación del Problema

Una revisión de la literatura en el campo de la enseñanza de las ciencias, tanto en el formato físico como en el electrónico en las últimas décadas, muestra un destacado papel de las representaciones externas tipo pictóricas (también conocidas como representaciones gráficas o visuales) en el aprendizaje de las diferentes disciplinas del área científica (Eitel et al. 2013; Matuano y Mazzitelli, 2018; Lemke, 2004; Offerdahl et al. 2017; Tsui y Treagust, 2013). Esto cual reafirma el carácter multimodal de estas disciplinas.

Basados en el hecho de que las REP forman parte del discurso que utilizan los científicos para explicar los fenómenos naturales o parte de ellos, es necesario que los estudiantes estén alfabetizados visualmente, a fin de que puedan establecer un diálogo con esa parte del discurso que muestra información fundamental para construir significados.

En este trabajo entenderemos la alfabetización visual como la capacidad de utilizar el sistema de representaciones pictóricas empleadas para aprehender conceptos y hechos científicos dentro de un campo disciplinar y utilizar el complejo aparato representacional híbrido con el que se construye el discurso para razonar o calcular dentro de ese campo (Lemke, 1994). Esta habilidad se convierte en prerrequisito que facilita el aprendizaje del contenido, en este caso sobre los ciclos biogeoquímicos.

Sin embargo, según Otero et al. (2003) e Idoyaga et al. (2021) la presencia de las REP sigue siendo opaca para la mayoría de los estudiantes, es decir, es como si no estuvieran. En consecuencia, no se leen, por lo que tampoco se procesan, lo que podría afectar considerablemente la construcción del conocimiento para el tópico que se está representando. A continuación, describiremos dificultades para el procesamiento originadas en la representación pedagógica.

1.1.1 Dificultades Originadas en la Representación Pedagógica.

A pesar del aumento en el uso de las REP para la presentación de contenidos en ciencias naturales, se tienen distintas evidencias de las limitaciones que existen relacionadas con el uso de las representaciones pictóricas usadas en la construcción del discurso, hecho que no favorece la alfabetización visual o gráfica.

La primera evidencia se relaciona de manera directa con el hecho de que a pesar del amplio uso de las REP en los textos (independientemente de si son físicos o electrónicos), hay pocas bases teóricas que orienten la utilización de este tipo de representación en la enseñanza y el aprendizaje (Rau, 2017). Esta limitación genera que se presente la REP sin ayudas que faciliten atribuirles significado.

La segunda evidencia proviene del hecho que las REP se construyen utilizando diferentes sistemas de signos, sin explicitar cómo asociar el signo a lo que éste intenta sustituir. Tampoco se señala que los diferentes signos, al procesarlos, permiten acceder a información de diferente naturaleza, por ejemplo: a) dibujos de información que podemos percibir a través de los sentidos, por ejemplo, de una montaña o el mar,

con la que es posible establecer una relación de analogía en función del conocimiento previo; b) signos que indican dirección de un evento o proceso, por ejemplo, flechas; c) signos que indican composición y cambios (sean cambios físicos o químicos), por ejemplo, H₂O.

Una tercera evidencia de las limitaciones de las REP en los libros textos, que se suma y está relacionada con las anteriores, es la ausencia de actividades que promuevan el uso de las REP como un objeto epistémico, es decir, como medios que ayuden a los estudiantes a construir conocimiento (Pozo 2017; Evagoro et al, 2015). Esto se relaciona directamente con la creencia de que las imágenes son autosuficientes y no requieren una enseñanza explícita (Lombardi y Caballero, 2012).

Estos planteamientos se aplican explícitamente a la representación pedagógica, porque los diferentes signos utilizados para construir las REP presentan un tipo de información característica, incluso dentro de la misma área de conocimiento (Offerdah et al. 2017). Las carencias en la representación pedagógica originan dificultades de aprendizaje, y describimos algunas de estas a continuación.

1.1.2 Dificultades de Aprendizaje del Ciclo Biogeoquímico.

La diversidad de signos utilizados para construir las REP en cada disciplina y en cada área disciplinar dificulta atribuir significados si no se establece una clara relación signo/significado/área temática. Es frecuente tener iguales signos con significados diferentes en áreas de conocimiento diferentes. Esto genera dificultades en los lectores para atribuir significados si no se establece con claridad el contexto en

el que se debe interpretar el signo.

Una dificultad de aprendizaje deriva del uso superficial de las REP que los estudiantes realizan cuando se enfrentan a su lectura e interpretación con el propósito de aprender. Es decir, los estudiantes solo se quedan en el nivel que perciben de manera directa (macrocosmos), obviando información que se presenta en otros niveles de representación del concepto (microscópico o submicroscópico), información cuya interpretación es fundamental para apropiarse del discurso (Postigo y Pozo, 2000; Postigo y López, 2012).

Así mismo, trabajos como el reportado por Raviolo (2019) indican que el ciclo del agua es un diagrama que combina al mismo tiempo elementos reales (o relacionados con las convenciones que una persona común maneja, por ejemplo, depósitos de agua, montañas) y un modelo (elementos más abstractos o conceptuales, por ejemplo, un proceso de flujo de materia y energía), lo que supone un verdadero reto para los estudiantes. Es difícil, sobre todo, porque un modelo es una representación de la realidad que busca describir, explicar o inferir algo que una persona común no maneja, y cuyo aprendizaje requiere la construcción de un modelo mental por parte del aprendiz, modelo mental que posteriormente puede comunicar en una representación externa.

Algunas carencias en la REP pueden generar dificultades en el comportamiento como ciudadanos. En el caso de las REP de los CBGQ, la mayoría de los libros utilizados no toman en cuenta la influencia de la especie humana y el impacto que este

puede tener en la alteración del ciclo. Esto según autores como Fandel et al. (2018) y Ramírez et al, (2021) podría ser una de las causas de que los ciudadanos vean al agua como un recurso inacabable, sin entender las consecuencias que derivan de esta concepción, ni la necesidad de considerar el agua como un recurso no renovable.

En síntesis, se puede decir que la alfabetización científica de los estudiantes requiere una revisión de la representación pedagógica que se utiliza, la cual debe hacer explícitos los signos que se utilizan, e indicar cómo relacionar cada signo con lo que representa (reglas) en cada área de conocimiento y para tratar cada tópico en específico. Ignorar esto, conlleva a que el lector no procese parte del mensaje que es fundamental para la comprensión y el aprendizaje.

Una forma de superar esta dificultad puede ser construir e implementar actividades que permitan que el estudiante pueda establecer un diálogo con el texto, y en particular con las REP, un diálogo que permita construir significados (Hettmannsperger et al. 2016; Lombardi y Caballero 2012; Scheid et al. 2019; Yore y Hand, 2010). Apropiarse del lenguaje científico implica manejar los sistemas híbridos que utiliza para representar las ideas, los conceptos o procesos. Por consiguiente, la presente investigación tiene como punto de partida que los estudiantes deben desarrollar habilidades para poder leer las REP sobre el tópico del ciclo del agua, habilidades que se quieren promover en el transcurso de esta investigación.

Esta meta tiene como base la experiencia personal que tiene la autora de esta investigación sobre este tema y la información obtenida en trabajos reportados por

varios autores (Lombardi, 2021; Ramírez-Segado, 2021; López, 2020). Por ejemplo, Offerdahl et al, (2017) consideran que, si un estudiante no es consciente de los diversos elementos y características que utiliza una comunidad de discurso en la construcción de una REP para presentar un tema particular, no podrá apropiarse de los contenidos que se presentan. Lo anterior amerita que los docentes desarrollen intervenciones didácticas que permitan que los estudiantes puedan desarrollar habilidades que les permitan leer e interpretar las REP utilizadas por esa comunidad de discurso. Así podrán seleccionar, organizar e integrar la información relevante, y de esa forma de aprender a partir de la REP. De acuerdo a Márquez (2005), esto se conoce como leer con el propósito de aprender.

Realizar una interpretación acertada de una REP requiere: a) concentrarse en entender la naturaleza de la REP y las reglas de representación, b) reconocer los diferentes niveles de representación (macroscópico, microscópico, submicroscópico y simbólico) en los que se presenta el concepto estudiado, c) integrar los diferentes procesos y elementos que lo conforman para poder comprender de manera integral el fenómeno que se está representando. Esto permitirá que la memoria de corto plazo no se sobrecargue al fijar la atención en signos que no ayudan a la selección de información relevante. Estos procesos deberían poder realizarse de manera automática para analizar e interpretar el contenido que se presenta y atribuirle significado. Realizar estos procesos de manera sistemática nos lleva a proponer un diseño de instrucción que promueva de manera explícita reconocer la naturaleza de los CBGQ y

las reglas con las que se construyen, por lo que nos formulamos la siguiente pregunta de investigación: *¿Cómo cambian las competencias representacionales en estudiantes de bachillerato que reciben instrucción sobre las reglas utilizadas para construir las REP del ciclo biogeoquímico del agua?*

1.2 Justificación: necesidad de una investigación del uso de las REP en el ciclo del agua.

Las REP de los CBGQ concentran en un mismo espacio información específica que describe los intercambios de materia y energía, y permiten visualizar los problemas de contaminación que la especie humana genera en sus actividades diarias y que repercuten en la vida de todos los seres vivos. Para los estudiantes es complejo comprender todo el conjunto de información que se sintetiza en una REP de los CBGQ. Las mismas integran información que involucra diferentes elementos y procesos que se conjugan en diferentes niveles que son difíciles de decodificar e interrelacionar, incluso para un estudiante de bachillerato (16-17 años). Aunado a lo anterior, en un estudio realizado por Maldonado et al. (2007), se señala que las REP de los CBGQ son representaciones gráficas esenciales para enseñar dicho tópico. Sin embargo, las actividades que se incluyen dentro de los libros de texto por lo general promueven un uso superficial de las REP, como si su lectura fuera natural, lo que podría generar problemas en los estudiantes.

Por otra parte, estudios como el de Ramadas (2013) indican que, respecto a las REP de tal ciclo, los estudiantes solo se limitan a dar explicaciones a nivel

macroscópico, sin tomar en cuenta la conectividad y complejidad de los procesos que ocurren a nivel submicroscópico. Si estos procesos no son comprendidos, limitaran su concepción como un proceso cíclico que interconecta procesos biológicos, físicos y químicos. Esto trae como consecuencia que, por ejemplo, los ciudadanos no sean conscientes del enorme reto que implica preservar la cantidad de agua disponible para los seres humanos, sobre todo cuando hay regiones en el mundo que sufren brutalmente su escasez. Superado esto, podrán interconectar diversos procesos naturales con la manera en cómo la especie humana ha afectado dichos procesos, producto de sus hábitos de consumo, promoviendo así la conservación de los recursos naturales.

Ayudar a los estudiantes a superar los obstáculos que pueden encontrar para aprender la naturaleza de tópicos como los CBGQ puede permitir que no solo alcancen sus objetivos escolares, sino que también podría contribuir a formar ciudadanos mejor informados.

1.3 Objetivos de la Investigación

1.3.1 Objetivo General

Describir cómo cambian las competencias representacionales en estudiantes de bachillerato que reciben instrucción sobre las reglas utilizadas para construir las REP del ciclo del agua.

1.3.2 Objetivos específicos

1. Identificar el nivel inicial de competencia representacional de los estudiantes de 1er

año de bachillerato ante una REP del ciclo del agua.

2. Diseñar una secuencia de actividades (cuadernillo de trabajo) basada en los principios instruccionales de la teoría de aprendizaje multimedia de Mayer (2005), para introducir a los estudiantes en el desarrollo de las competencias representacionales relacionadas con las REP del ciclo del agua.
3. Describir cómo cambia el nivel de competencia representacional de los estudiantes de 3er año de bachillerato al interpretar una REP del ciclo del agua.
4. Proponer ajustes a los ejercicios del cuadernillo en función de los resultados

Capítulo 2. Marco teórico Referencial

La presente investigación hace referencia a los problemas asociados a la comprensión del CBGQ del agua, enfocándose en la apropiación de la representación de dicho ciclo como parte fundamental para su aprehensión. Dicho tópico se presenta en la asignatura de Biología, donde al igual que la Química o la Física, se utiliza un lenguaje complejo, impersonal, cargado de contenido, que maneja un sistema de signos y un léxico específico, que si no se dominan correctamente será difícil que se pueda decodificar eficientemente lo que se busca presentar.

De manera concreta en esta investigación, se partió de la tesis que si el estudiante conoce el sistema de signos y las reglas con la que se construyen las representaciones utilizadas para presentar al ciclo del agua, se facilitará su comprensión de la información que estas contienen.

En esta investigación se buscó favorecer el desarrollo de competencias representacionales en un grupo de estudiantes, de manera que al enfrentarse a la representación pictórica del ciclo del agua puedan aprender a partir de su lectura, y posteriormente utilizar estos conocimientos. Esto lo hemos conceptualizado como alfabetización. Para lograr este propósito construimos un diseño fundamentado en los principios del aprendizaje multimedia (Mayer, 2005), los que permiten explicitar las reglas que conecten representación-objeto representado. Para lograr este propósito se crearon actividades concretas para promover el reconocimiento y uso del sistema de

signos con el que se construye la representación del CBGQ del agua, y otras que requerían la aplicación de este sistema híbrido de signos para resolver problemas y consolidar aprendizajes.

2.1. Antecedentes de la Investigación

A continuación, se analiza una compilación de trabajos que sustentan las bondades de usar las REP en la construcción del conocimiento.

2.1.1 Problemas Asociados al Estudio del Ciclo Biogeoquímico del agua.

La crisis ambiental que afronta el planeta es profunda y no hay ningún tipo de organismo vivo que se escape de sus consecuencias. Países como los nuestros, ubicados en América del Sur, a pesar de poseer grandes fuentes de agua dulce, no escapan de esta problemática. Organizaciones como la Cepal hablan de que vivimos una gran crisis que pone en riesgo la salud y una alimentación de calidad de millones de personas que viven en la región de las Américas y en el mundo en general. Esta crisis es producto no solo de la falta de educación ambiental de los ciudadanos, sino también de la falta de una infraestructura adecuada que garantice el acceso justo a todas las regiones que componen a nuestros países (Mejía y Londoño, 2023).

El objetivo de esta investigación no es presentar un ensayo que explique las principales causas y consecuencias de la crisis hídrica que vive el mundo actualmente. Sin embargo, es necesario vincular cómo la falta de comprensión del CBGQ del agua a lo largo de su enseñanza-aprendizaje puede relacionarse con dicha crisis. Es

innegable que el t3pico del ciclo del agua reviste gran importancia, lo que se evidencia en que forma parte de los dise1nos instruccionales desde los primeros a1os de escolaridad.

A continuaci3n, se presentan algunas investigaciones que hablan de los principales problemas acad3micos asociados al CBGQ del agua. La mayor3a de los problemas reportados en la bibliograf3a podemos etiquetarlos como *Problemas de la representaci3n pedag3gica*.

Entre los problemas se1alados se tiene que muchos docentes tratan este tema de naturaleza compleja, como algo demasiado sencillo al obviar una serie de procesos y relaciones que ocurren dentro de 3l que afectan su aprehensi3n (Chin and Mageswary, 2013). A consecuencia de lo complejo del tema, los modelos te3ricos usados para mostrar los ciclos tambi3n son intrincados, ya que muestran una realidad din3mica en la que se producen cambios continuos que afectan a numerosos factores. Esto supone una alta demanda cognitiva porque es necesario desarrollar una visi3n sist3mica y din3mica, pero eso no es lo que se percibe en los modelos propuestos en la literatura (Jaen y Ba1os, 2018). Un segundo problema se asocia a los textos utilizados. Algunos textos tienen errores conceptuales, por ejemplo, obvian el flujo subterr3neo del agua, ignoran compartimientos como glaciares u omiten el papel de las plantas, lo que resulta en que los estudiantes no tengan una visi3n m3s amplia del tema (Chin y Mageswary, 2013). Otra dificultad la constituye la sobrevaloraci3n de unos dep3sitos sobre otros (Maldonado et al., 2007). Adem3s, se han encontrado dificultades en las

representaciones del ciclo del agua que se presentan en los textos, tales como el carácter rígido, estático, e incluso no cíclico de este proceso de naturaleza dinámica y cambiante, lo que definitivamente afecta la comprensión de la interconexión de los procesos y el aprendizaje. Un tercer tipo de problema lo tenemos en los recursos semióticos usados para construir la representación. En este sentido Maldonado et al. (2007) indican la lectura gráfica de secciones, detalles, flechas o líneas cinéticas de diferente grosor y color no son de aprendizaje innato; más aún cuando el texto no hace referencia alguna a su interpretación o incluso un ciclo biogeoquímico se ilustra con unas flechas y colores y otro ciclo de otra manera. Es decir, no hay reglas fijas para el uso de los signos lo que dificulta atribuir significado. Un cuarto tipo de problema lo destaca Ramadas (2013) al señalar que los procesos inherentes a dicho ciclo no se asocian con procesos cotidianos que ocurren en el ambiente, adicional a esta dificultad, se suma la ausencia del hombre, en la representación del ciclo (Jaén y Baños, 2018). Esta omisión es importante dada la gran responsabilidad de la especie humana como agente modelador de los problemas ambientales.

A partir de la información presentada inferimos que una de las dificultades para el aprendizaje significativo del ciclo del agua se debe a que, en los libros de texto, los procesos que se estudian en dicho ciclo no se asocian con eventos cotidianos, las imágenes presentadas muestran los procesos y depósitos con un carácter rígido, omitiendo la interconexión de los diferentes procesos, así como como también con un abordaje meramente macroscópico. Consideramos que la integración de una REP en la

que se combine información que muestre los diferentes niveles en los que ocurre el ciclo, que tome en cuenta además la interconexión de los procesos, que no sobrevalore unos depósitos sobre otros y que además su utilización se realice de manera consciente y explícita favorecerá su interpretación y utilización para resolver los problemas ecológicos y sociales que se relacionan con el preciado líquido vital.

2.1.2 Beneficios de usar Representaciones Pictóricas para Enseñar Tópicos Científicos.

Hay relatos de personajes históricos que muestran que la fecundidad en sus investigaciones ha sido posible gracias al pensamiento visual que ellos y sus predecesores han tenido. Las múltiples representaciones pictóricas encontradas en las teorías o procesos que subyacen a las ciencias, han servido para inspirar, construir, representar - investigar, y comunicar el conocimiento. Al respecto López-Canto (2020), nos dice “La representación como estrategia cognitiva también fue determinante, por ejemplo, para Darwin o Edison y son muchos más los ejemplos de científicos contemporáneos que han utilizado herramientas y estrategias de aproximación visual a la resolución de problemas” (p. 99).

Lo anterior sirve como evidencia para afirmar que la utilización de elementos visuales ha sido parte de las prácticas habituales o circunstanciales en la labor científica en general. Gracias a su capacidad para contener y transmitir información, y gracias a las características epistémicas y heurísticas propias de la representación visual del conocimiento (López-Canto, 2020).

Al revisar los trabajos de Ott et al. (2018), Saux et al., (2015), Kurnaza y Arslan, (2014) y Maldonado-González et al. (2007), se puede sostener que investigadores de diversas áreas de la enseñanza de las ciencias coinciden en que el uso de las REP, beneficia el proceso de aprendizaje en diversos tópicos. Todo esto nos hace pensar que hay convergencia en el hecho de orientar el uso expreso de las REP, ya que una representación pictórica vale más que 1000 palabras (aunque no en todos los contextos). En el caso específico de esta investigación, la REP del ciclo biogeoquímico del agua resulta ser un medio fundamental para mostrar aspectos de diferentes procesos que de otra manera sería muy difícil de transmitir.

2.1.3 Necesidad de Alfabetizar Visualmente a los Estudiantes cuando se Enfrentan a Tópicos que Combinan Representaciones Pictóricas y Lingüísticas.

A lo largo de esta investigación se ha podido apreciar como diversos autores como Scheid y col (2019), Hilton y Nichols (2011), Schonborn y Anderson, (2010), Yore y Hand (2010), Lombardi et al., (2005), sustentan la importancia de construir e implementar actividades que permitan que el estudiante desarrolle competencias o habilidades representacionales como uno de los requisitos para poder establecer un diálogo con el texto. En particular enfatizan la importancia de hacerlo con las REP, para facilitar un diálogo que permita construir significados

Hay una creciente tendencia de afirmar que es imperativo enseñar a los estudiantes la habilidad para enfrentarse a la vasta gama de REP, ya que esto contribuye de manera inequívoca al desarrollo de habilidades científicas. Es decir, para asegurar

que el estudiante podrá comprender y comunicar las ideas y teorías de una comunidad científica. Estos autores coinciden en que es necesario que los estudiantes desarrollen competencias *representacionales*, entendiendo estas como las capacidades de: a) dar explicaciones a partir de las representaciones; b) utilizar las representaciones en diferentes contextos y establecer relaciones entre diferentes representaciones; d) generar representaciones de acuerdo a un objetivo o contenido específico para explicar algún concepto o proceso (Yore y Hand, 2010).

En las ciencias naturales, la alfabetización científica está asociada a constructos como “competencias representacionales” (Wu, 2003), “habilidades de visualización” (Gilbert, 2007b, c.p. Eilam y Poyas, 2010), “competencias multimodal representacional” (Yore y Hand, 2010). Se entiende la Alfabetización en el sentido que lo entiende Lemke (1998), como el uso de los sistemas de representación para razonar y operar en un campo de conocimiento.

Los escenarios anteriores permiten plantear las siguientes premisas para el diseño de la enseñanza de los CBGQ:

- a) Hacer explícito las reglas con las que se construyen las REP disminuirá la carga cognitiva que el estudiante debe superar para comprender los conceptos subyacentes a los CBGQ.
- b) Proponer tareas relacionadas con las REP que permitan hacer uso consciente de la información que las REP contienen facilitará el proceso de apropiación, y en consecuencia la alfabetización en esta área específica de conocimiento.

- c) Los docentes, además de considerar la demanda de tarea que presenta el contenido a ser impartido, también deben tomar en cuenta la naturaleza representacional que presenta dicho contenido, ya que aprender ciencias exige como requisito previo dominar el sistema de representaciones que ésta utiliza (Lombardi, 2009). Es decir, enseñar al estudiante el tipo de REP con la que va a trabajar y el patrón de tareas que debe desarrollar, le permitirá tener un entrenamiento previo que facilite la apropiación y construcción de significados.

2.2 Fundamentos teóricos que sustentan la investigación relacionados con las REP

En algunas investigaciones científicas como las publicadas por la investigadora Márquez (2005), se plantea que para que una persona pueda aprender ciencias, debe conocer el lenguaje de la ciencia, y específicamente el de cada disciplina. Esto significa que debe dominar el lenguaje (hablar y escribir), lo que es un pre-requisito para comprender los marcos conceptuales. Es decir, para aprender ciencias es necesario dominar todo el aparataje comunicacional que se usa para presentar la información, información que el aprendiz debe transformar en conocimiento.

A continuación, se explican algunos elementos que han sido fundamentales para llevar a cabo la presente investigación.

2.2.1 Definición de representación

Algunos autores como López-Canto, (2020), hacen referencia al concepto de representación como el acto de sustituir algo, de volver presente algo que está ausente. Esta es una labor muy ligada a la producción científica, y en general a cualquier proceso

que las personas realizan para tratar de mostrar algo que perciben a través de sus sentidos o mediado por el uso de instrumentos (una manera de ampliar la percepción). Las representaciones construidas les permiten a las personas volver “volver a presentar” lo que han ideado producto de sus procesos cognitivos, y además compartir información con sus pares.

Esta diferencia permite clasificar las representaciones en dos grandes grupos: a) las internas que corresponden a todo aquello que recreamos en nuestra mente al percibir, razonar y en consecuencia actuar y; b) las externas que corresponden a “un reflejo inexacto” de los objetos, fenómenos o situaciones que existen o que nos imaginamos, y que se concretan en diferentes formatos e incluso en diferentes medios (Eysenk y Keanne, (1990). Un tipo particular de estas, las representaciones externas tipo pictóricas, son objetos del presente estudio.

2.2.2 Representaciones Externas: definición, clasificación y función.

En general una representación externa puede entenderse como, “... Cualquier notación, signo o conjunto de símbolos que re-presenta (vuelve a presentar) algún aspecto del mundo externo o de nuestra imaginación, en ausencia de ella” (Eysenk y Keane 1990, p. 202). Es a través de las RE que intercambiamos significados. En el proceso de evaluación, los estudiantes, al construir sus respuestas (RE), permiten conocer su comprensión sobre el tópico estudiado.

El concepto de representación propuesto por Eysenk y Keanne (1990) tiene 4 componentes: a) el objeto o idea que se representa, (el mundo representado, es decir,

el contenido); b) el sistema de signos que se usa para representar el objeto (mundo representante); c) las reglas de representación (estas reglas dependen de los marcos conceptuales de cada disciplina); y d) los procesos que debe realizar el lector para atribuir significados.

Es necesario diferenciar las representaciones externas construidas en consenso por los científicos en campos disciplinares específicos de las representaciones externas sobre el mismo tópico construidas para fines didácticos y las representaciones externas construidas por los estudiantes para mostrar su comprensión del tópico. A la vez, las representaciones externas (RE) deben diferenciarse de las representaciones internas (RI) que resultan del procesamiento interno de cada sujeto, sea este sujeto el científico, el docente o el estudiante. Las RI no se estudian directamente, pero son importantes, porque el aprendizaje ocurre cuando el estudiante es capaz de construir una representación interna en sintonía con la representación externa que está manipulando, cuando esta RE es válida para una comunidad de discurso particular.

Es necesario hacer énfasis en que “los signos son representaciones en la medida que existe un proceso que permite interpretarlos” (Greca, 2000). En el marco de la presente investigación, este proceso lo asociamos a la decodificación, selección y organización de la información relevante, y finalmente a la interpretación de las REP de los CBGQ.

Es decir, lo que se busca en la presente investigación es facilitar la lectura y construcción de las REP utilizadas para presentar el tópico de los CBGQ, es decir,

facilitar el aprendizaje a partir de la lectura de una REP del ciclo CBGQ construida de manera correcta para presentar el contenido. Las REP se construyen haciendo uso de líneas, colores, puntos, incluso texturas, entre otros, que las hacen adquirir una diversidad de formas (Lombardi, 2021). Estas serán objeto de esta investigación por lo que a continuación ampliaremos su caracterización.

2.2.3 Representaciones externas tipo pictóricas (REP): Características, función, tipos, niveles de representación.

Las REP se caracterizan por: a) nos dan información visual-espacial sobre algunas características de la naturaleza que nos rodea y nos presentan la información como un todo; b) presentan información que se percibe a través de la vista, uno de los sentidos más importantes porque suministra información que puede ser manipulada directamente; c) presentan información que puede ayudar en la toma de decisiones para resolver problemas de diversa índole (Florián et al. 2019).

Lo anterior apunta a que los estudiantes deben poder realizar procesos que les permitan comprender las REP, pero, en el contexto educativo, también deben aprender a construirlas, en particular aquellas REP utilizadas para mostrar los fenómenos y/o conceptos científicos. Cada tipo de REP se puede utilizar para una función determinada, de acuerdo al objetivo de instrucción que se ha determinado, o incluso distintos tipos de REP pueden combinarse para mostrar aspectos complementarios de un mismo concepto. Por lo expuesto, las REP son una herramienta que se utiliza en una doble dirección, para enseñar y para aprender.

Las REP se construyen usando diversos “recursos semióticos”. Entre éstos tenemos: distribuciones espaciales, formas, colores, intensidades, líneas (abiertas o cerradas), flechas (dirección). Al combinarse, estos recursos producen diversas características, que, dependiendo de la comunidad de discurso, requieren el manejo de diferentes reglas para apropiarse de su significado. De allí que se busque que los estudiantes sean conscientes y capaces de reconocer la naturaleza de cada REP y las reglas con las que se construye, para que éstas puedan ser utilizadas para construir significado.

Cada tipo diferente de REP permite acceder a un tipo particular de información que el sujeto debe procesar y transformar en conocimientos. Por ejemplo, el dibujo de una célula permite describirla en términos de sus componentes; un gráfico de solubilidad en función de la temperatura permite visualizar las relaciones entre las variables involucrados en el concepto. Por esta razón, es importante establecer una clasificación que permita relacionar el tipo de REP con el tipo de información que puede inferirse a partir de ella. De hecho, autores como Postigo y López-Manjón (2012) señalan que, si el estudiante conoce el tipo de REP al que se está enfrentando, puede inferir qué tipo de información va a encontrar en ella.

La clasificación de las REP suele variar dependiendo de la literatura. En la presente investigación, se usó la clasificación propuesta por López y Postigo (2014), ya que solo se trabajó con representaciones presentes en formatos estáticos, en sustratos como los libros de texto. Esta clasificación la podemos observar en la Tabla 1.

Tabla 1

Clasificación de las representaciones pictóricas más frecuentes en los libros de textos

Tipo de REP		Descripción
Ilustración	Ilustración favorecen la descripción o la comparación.	Reproducen todos los elementos externos del fenómeno representado. Su objetivo habitual es ilustrar un concepto. Ejemplo de estas son las fotografías, los dibujos y las imágenes técnicas. Su procesamiento permite básicamente describir, comparar.
	Imagen técnica: microfotografía, ecografía y radiografía.	Reproducen los elementos internos del fenómeno representado a través de diversos medios técnicos (microfotografía: imagen obtenida a través de microscopio óptico y/o electrónico de barrido; ecografía: imagen obtenida a través de ultrasonidos; radiografía: imagen obtenida por la transmisión de rayos X a través de isótopos radioactivos).
	Dibujo	Representaciones icónicas que muestran una correspondencia analógica respecto al fenómeno representado. Son selectivos: recogen algunos aspectos del objeto y su objetivo, en ocasiones, suelen ser ilustrativos o decorativos. Por ejemplo, un dibujo de frutas y verduras puede usarse para ilustrar una dieta saludable.
Diagramas visuales	Diagrama de Estructura	Presentan las características físicas de las partes del objeto representado y su disposición en el espacio. Por ejemplo, un diagrama de estructura del sistema digestivo con rótulos que señalan sus diversas partes. Al procesarlas es posible describir, comparar
	Diagrama de proceso	Presentan la evolución de un fenómeno, así como los cambios de las partes de este a través del tiempo. Suele ir acompañado de grafismos (flechas, secciones, cambios de color...) que apoyan la representación. Por ejemplo, un diagrama del proceso de digestión del alimento a través del sistema digestivo.
Diagramas verbales	Mapa conceptual	Organización espacial de información verbal representando interrelaciones entre distintos conceptos de formas explícitas y esquemáticas, con diversos elementos gráficos. Expresan relaciones jerárquicas entre conceptos en el espacio a través de palabras clave y líneas.
	Cuadro sinóptico, esquema, tablas	Representan las interrelaciones entre distintos contenidos conceptuales de formas explícitas y esquemáticas con diversos elementos gráficos. Expresan diversos tipos de relaciones a través de llaves, cuadros, flechas..., y también representan una sucesión o cadena de hechos o sucesos.
Representaciones cuantitativas Gráficos, tablas de datos.		Presentan la relación numérica o cuantitativa que existe entre dos o más variables a través de distintos elementos (líneas, barras, sectores, tablas...). Por ejemplo, las tablas de datos y gráficas numéricas. Permiten describir, comparar, establecer tendencias, establecer relaciones causa-efecto

Nota: Tomada de López y Postigo (2014, p. 554) con modificaciones.

En la **Tabla 1**, se puede notar que las ilustraciones presentan un mayor nivel de realismo, producto de que la relación REP/referente (representación/objeto) es análoga. A medida que descendemos en la tabla, las REP tienen un nivel más alto de abstracción, porque la relación REP/referente es arbitraria. No hay una relación de analogía con lo que representan, la relación es abstracta y requiere de instrucción para establecer la relación representado-representante. Es preciso destacar que el referente puede ser real, construido o imaginario (Lombardi, 2021; Pauwels, 2006). En cualquiera de los casos, es necesario que el lector sea guiado en el proceso de decodificación. Además de esta clasificación, se pueden encontrar diferentes niveles de representación en una REP de un concepto. En Biología estos niveles se vinculan perfectamente con los niveles de organización biológica que existen a lo largo de todos los reinos de seres vivos y que permiten comprender los diferentes fenómenos y procesos que subyacen en la naturaleza.

En la Tabla 2, se presenta un resumen realizado a partir de lo reportado por Tsui y Treagust (2013), en un trabajo sobre el uso de las múltiples representaciones en la Biología. La información que se resume permite traer a la discusión una de las características de las REP que se presentan con frecuencia en los tópicos científicos, y que si no se toma en cuenta durante la enseñanza podría obstaculizar la comprensión de la información.

Tabla 2

Niveles de representación encontrados en una REP, con énfasis en los ciclos biogeoquímicos

Niveles de organización de la vida	Niveles de representación encontrados en una REP (ejemplo Ciclos biogeoquímicos)
Ecosistemas; Comunidad; Organismos	Macroscópico: las estructuras biológicas son visibles a simple vista (nivel trófico): en los CBGQ, podemos ver este nivel en las montañas, nubes, seres vivos, entre otros.
Nivel de organismos Nivel celular	Microscópico: el celular o subcelular, en este nivel, las estructuras sólo son visibles bajo un microscopio óptico o un microscopio electrónico. Hay organismos unicelulares que sólo se pueden ver haciendo uso del microscopio.
Nivel molecular	Molecular o submicroscópico, algunos procesos de cambio, por ejemplo, cambios físicos como los cambios de estado del agua, cambios bioquímicos como la fotosíntesis o la respiración.
Nivel atómico/nivel molecular	Simbólico: explicativos de los fenómenos representados por símbolos. Los símbolos pueden representar: a) sustancias, a través de fórmulas; b) procesos de cambio, para lo cual se utilizan las ecuaciones químicas (pueden representar cambios físicos o químicos), Ej. $H_2O (s) = H_2O (l)$ es un cambio físico; c) flujo de energía.

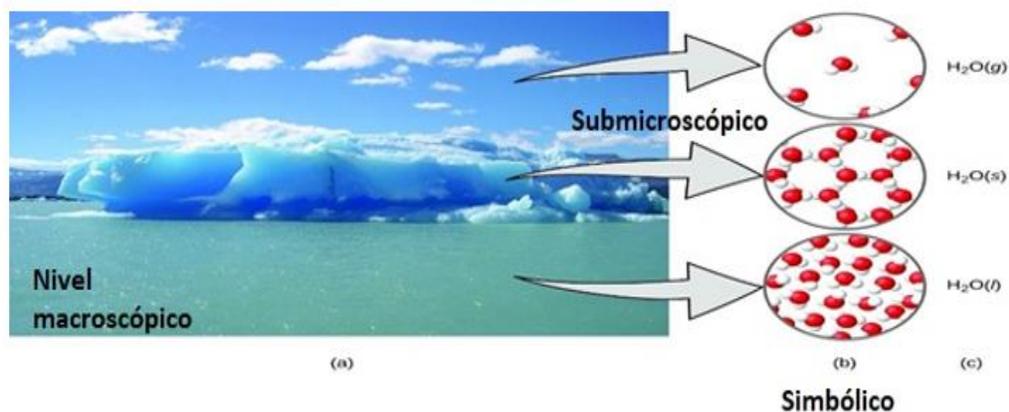
Nota: Realizado y modificado de acuerdo a la clasificación propuesta por Tsui y Treagust (2013)

En la Figura 1, se muestra un ejemplo de cómo se puede combinar varios tipos de REP y varios niveles de REP en un mismo espacio, algo típico en las Ciencias Naturales. La Figura 1 es una combinación de diferentes tipos de REP: una fotografía más un diagrama de estructura, de acuerdo con la clasificación reportada en la Tabla 2.

Como se puede observar, en esta figura se emplean varios niveles de representación. En la fotografía se muestra, en un *nivel macroscópico*, los estados del agua, (la neblina, el agua líquida del océano y los icebergs), información a la que se

puede acceder de manera directa, siempre que tengamos en la memoria experiencia de estos fenómenos. Igualmente incluye una *representación submicroscópica* de la estructura de las moléculas de agua con énfasis en: a) la composición de la molécula de agua (dos átomos de H combinados con un átomo de O: H₂O); b) el arreglo espacial de los átomos en la molécula de agua (átomo O central, formando un ángulo de 104° con los átomos de H); c) la distribución de las moléculas en los diferentes estados (mayor separación en las moléculas en estados gaseoso); y d) la misma estructura de la molécula de agua independientemente del estado en que se encuentra, lo que permite clasificar los cambios de estado como cambios químicos. También se presenta el nivel simbólico, que subyace a cualquiera de los otros niveles, ya que representa cada uno de los niveles anteriores. Dichos niveles de representación se combinan con la representación lingüística, que describe lo representado en cada uno de los niveles de representación.

Figura 1. La fotografía de los diferentes estados de agregación del agua.



Extraído de [Chemistry: atoms first](https://courses.lumenlearning.com/suny-chem-atoms-first/chapter/chemistry-in-context/), <https://courses.lumenlearning.com/suny-chem-atoms-first/chapter/chemistry-in-context/>

a) La humedad en el aire, los icebergs y el océano representan agua en el nivel **macroscópico**

(b) Cuando se piensa en el modelo molecular (nivel **submicroscópico**), se piensa en moléculas de gas que están muy separadas y desorganizadas, las moléculas de agua sólidas están juntas y organizadas, y las moléculas líquidas están juntas y desorganizadas. En el aire, aunque muchas veces no lo veas, también hay vapor de agua.

(c) a nivel **simbólico**, la fórmula H_2O simboliza el agua, y (g), (s) y (l) simbolizan sus fases. Tenga en cuenta que las nubes en realidad están compuestas por gotas de agua líquida muy pequeñas o cristales de agua sólidos.

Nota. La fotografía, muestra el agua en diferentes estados de agregación, nivel macroscópico, se complementa con la REP submicroscópica de la estructura de la molécula más la distribución espacial de estas en cada estado, se complementa con la representación simbólica de la molécula de agua.

Adicionalmente, esta leyenda unida al título de la representación constituye un recurso semiótico, que permite orientar al lector en la atribución de significados. Tsui y Treagust (2013), nos señalan que uno de los primeros desafíos que los estudiantes deben enfrentar cuando aprenden a partir de una REP, es el de decodificar los procesos que ocurren a diferentes escalas y que se indican utilizando una variedad de signos que se incorporan en una misma representación, signos cuya interpretación es fundamental para construir significados. Un ejemplo de ello se puede observar en la **Figura 1**.

Asimismo, a diferencia de la Química, en la Biología son escasos los estudios

que destacan la necesidad de explicitar los diferentes niveles que se manejan en el discurso de la Biología y las REP para presentar diversos aspectos de un mismo fenómeno. En el presente trabajo, se presentan evidencias que sustenten la necesidad de que el docente y los autores de los libros de textos generen elementos que ayuden a los estudiantes a manejar dichos niveles. A continuación, se describen las características del tipo de REP más utilizado para representar al ciclo del agua, objeto de estudio en la presente investigación.

2.3. Caracterización de las REP de los Ciclos Biogeoquímicos con Énfasis en el Ciclo del Agua.

El tema de los ciclos biogeoquímicos viene precedido, en la mayoría de la bibliografía consultada del curricular nacional del Ecuador, por el tema de flujos de energía en los Ecosistemas. Se puede observar en la Tabla 3, la destreza con criterio de desempeño que los estudiantes deben alcanzar según lo que expone el ministerio de educación en Ecuador. Esta destreza trata de acogerse a lo que exige el currículo de Ecuador conjuntamente con lo que la literatura científica espera que un estudiante domine sobre el ciclo del agua.

Es pertinente señalar que las representaciones de los ciclos Biogeoquímicos son medios por los cuales la comunidad científica busca modelar fenómenos naturales relativos al estudio del ecosistema como nivel de organización biológica, para facilitar

su descripción y explicación. Para construir este tipo de REP, se utilizan símbolos como flechas, líneas, colores. Así mismo en dichas REP, se presentan algunos símbolos químicos que aumentan la complejidad del proceso de decodificación, por lo que debe hacerse explícita la presentación de tales elementos.

Tabla 3

Currículo de educación general básica y bachillerato general unificado Fuente: Ministerio Educación Ecuador, 2016.

<p>Criterio de evaluación: CE.CN.4.13. Infiere la importancia de las interacciones de los ciclos biogeoquímicos en la biósfera (litósfera, hidrósfera y atmósfera), y los efectos del cambio climático producto del impacto de las actividades humanas en los ecosistemas y la sociedad.</p>	<p>Objetivo. O.CN.4.9. Comprender la conexión entre la ciencia y los problemas reales del mundo, como un proceso de alfabetización científica, para lograr, en los estudiantes, el interés hacia la ciencia, la tecnología y la sociedad</p>
<p>Destrezas con criterios de desempeño: CN.4.4.8. Explicar, con apoyo de modelos, la interacción de los ciclos biogeoquímicos en la biósfera (litósfera, la hidrósfera y la atmósfera), e inferir su importancia para el mantenimiento del equilibrio ecológico y los procesos vitales que tienen lugar en los seres vivos. CN.4.4.9. Indagar y destacar los impactos de las actividades humanas sobre los ciclos biogeoquímicos, y comunicar las alteraciones en el ciclo del agua debido al cambio climático</p>	<p>Indicadores de logro: I.CN.4.13.1. Determina, desde la observación de modelos e información de diversas fuentes, la interacción de los ciclos biogeoquímicos en un ecosistema y deduce los impactos que producirían las actividades humanas en estos espacios. I.CN.4.3.3. Formula hipótesis pertinentes sobre el impacto de la actividad humana en la dinámica de los ecosistemas.</p>

Nota. Elaboración propia a partir de la información extraída de Currículum nacional (2016).

Las representaciones de los CBGQ, de acuerdo a la clasificación proporcionada en la **Tabla 1**, pertenecen al grupo de *diagramas visuales de proceso*. En general los

diagramas son representaciones gráficas de contenidos conceptuales que se usan para hacer explícitas las interrelaciones entre los conceptos o para descomponer un proceso en sus pasos al mostrar las interrelaciones entre cada fase y el conjunto como un todo. Por lo general, estas representaciones de los CBGQ muestran un paisaje como fondo y sobre él íconos y símbolos representando diversos elementos y procesos. El propósito es representar tanto los depósitos como los procesos que permiten el flujo de energía y materia. En otras palabras, combinan elementos analógicos y simbólicos para presentar la información.

Las REP presentadas como **figura 2-A y 2-B** sintetizan información relativa a procesos biológicos, físicos y químicos que ocurren en el ciclo del agua. Sin embargo, son notorias las diferencias en el nivel de complejidad que representan. En la **Figura. 2-B**, se puede observar un modelo pedagógico presentado en un libro usado tradicionalmente que goza de gran aceptación en la comunidad de docentes de Biología en Ecuador Audesirk, *et al.* (2017).

Figura. 2-A
Representación pedagógica de un ciclo del agua. (artículo científico)

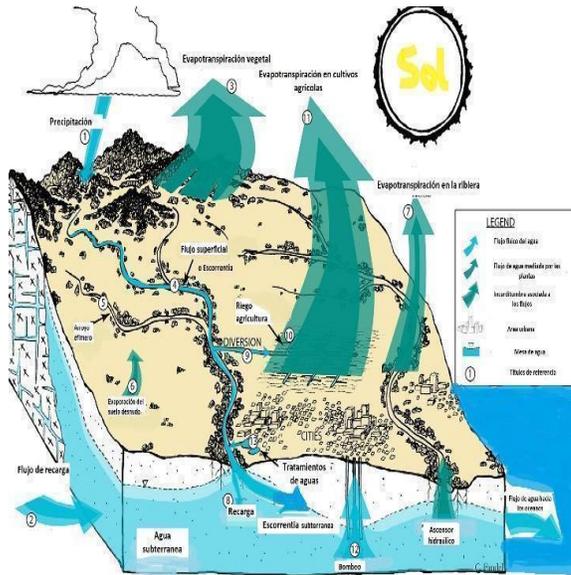
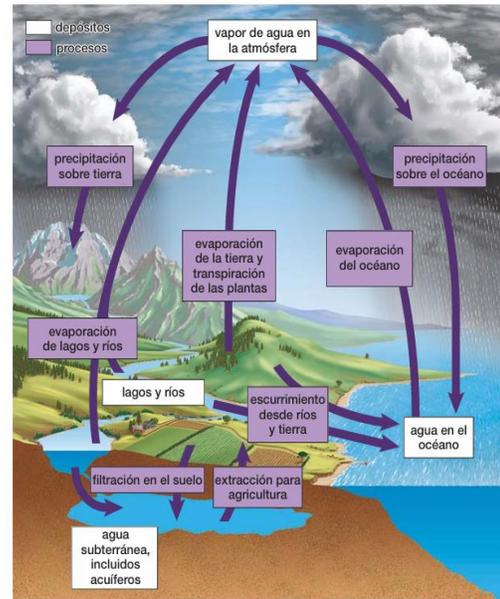


Figura. 2-B
Representación pedagógica del Ciclo del agua. (Libro de texto)



Nota. Representación pedagógica de un ciclo del agua. 2-A En: Fandel, et al. (2018, p. 10). Supuestos implícitos de diagramas conceptuales en ciencia ambiental y mejores prácticas para su ilustración. 2-B: En: Audesirk, et al. (2017). *Biología, La vida en la Tierra*. (p.: 540)

En la **Figura 2-B**, se puede observar el modelo pedagógico usado tradicionalmente. En este las flechas representan el movimiento del agua de un depósito a otro, sin considerar en qué magnitud ocurre (más bien da la idea que es de igual magnitud), la altura sobre el nivel del mar o la característica de la región (boscosa o desértica, entre otros). Tampoco representa al Sol como la fuente de energía origen de los cambios de estado del agua) ni el efecto de los humanos como agentes de cambio

en los ecosistemas. Y como si fuera poco, no se muestra el efecto de los seres humanos en la dinámica del ciclo.

En la **Figura 2-A**, se puede observar un modelo más completo del ciclo del agua, que se aproxima a una representación más científica. En esta figura se sintetiza el flujo de agua, mediante el uso de flechas que varían de acuerdo a la magnitud con la que ocurre el proceso, la cual podría estar asociada a su movimiento natural generado por el Sol y a la influencia del impacto humano en la dinámica del ciclo.

Con el objetivo de mostrar a los estudiantes una REP donde convergen la mayoría de los elementos que comprende un ciclo biogeoquímico del agua, se modificó intencionalmente una REP que, a juicio de la investigadora después de una revisión de la literatura consultada (Fandel, et al, (2018), y Ramírez et al, (2021), mostraba una cantidad significativa de procesos, depósitos y diversas formas en las que los seres humanos intervienen en el ciclo. Esta representación modificada tiene puntos de convergencia con la figura 2-A, por lo que se puede decir que se aproxima más al modelo científico que un estudiante debe comprender.

Al realizar el proceso para comprender, los estudiantes deben: a) establecer relaciones entre los signos y sus significados, b) vincular los procesos que ocurren en la naturaleza con los diferentes niveles en los que ocurren. Estos son:

- 1) el nivel *macroscópico*, nivel que hace referencia a los diferentes ecosistemas y procesos que son perceptibles, por ejemplo, las montañas, las nubes, la lluvia, entre otros;

- 2) el nivel *submicroscópico*, nivel en el que ocurren muchos de los procesos que posibilitan la vida y todo lo que la rodea y que es central en el ciclo del agua; se enfoca en como un conjunto de moléculas de agua (H_2O), por efecto de los cambios en la temperatura ambiente pueden disminuir o aumentar las fuerzas de interacción intermoleculares, causa-origen de los cambios de estado. Por ejemplo, el cambio de temperatura ambiente y el cambio de presión atmosférica (producto de la diferencia de altura sobre el nivel del mar) son algunos de los factores que influyen en el hecho que el agua, en estado de vapor acumulado en las nubes, puede cambiar al estado líquido. Por ejemplo, si la gran cantidad de moléculas acumuladas en las nubes se mueve a una región de menor temperatura ambiente y mayor presión atmosférica, disminuyen su energía cinética promedio. En consecuencia, se aumentan las fuerzas intermoleculares, dando origen a un cambio al estado líquido. Este fenómeno se hace visible debido a la gran cantidad de partículas que intervienen, y observamos su precipitación.
- 3) El nivel *simbólico*, nivel de representación que se refiere a todos los signos que se emplean para la presentación de los diversos conceptos que se engloban en la REP. En algunos ciclos podemos ver la molécula de agua, ya sea como gota o representada por su fórmula H_2O . En ocasiones se muestra su estructura (la gota en nivel macro, la fórmula en simbólico, la estructura en un nivel *submicroscópico*).

A continuación, se presenta un esquema del ciclo del agua (**Fig. 2-C**) que fue adaptada intencionalmente por la autora de esta investigación. El propósito de esta modificación fue combinar diversos elementos, que a partir de la literatura revisada se consideró podrían hacer que el aprendizaje sobre el ciclo del agua se enfocara de una manera más sistémica. El esquema se modificó a partir de la propuesta de The Water Cycle Spanish (2022). Este ciclo reúne la mayoría de los elementos que debe contener una REP ciclo del agua para promover su enculturación.

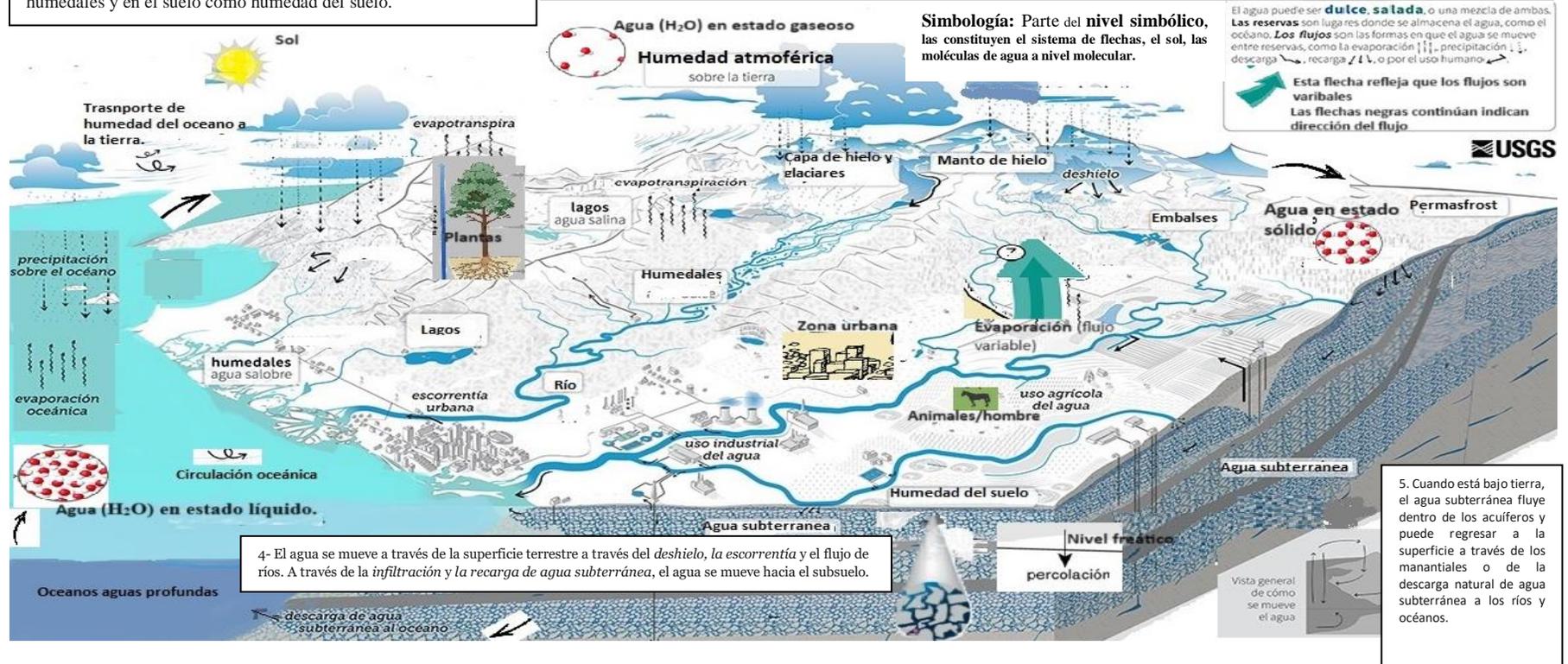
En esta figura **2-C**, se destacan elementos claves que hacen referencia a los niveles y se usan signos de manera de incluir los diferentes conceptos y procesos que subyacen al ciclo del agua. Señalamos, a continuación, los aspectos destacados. 1) Se insertaron elementos como una flecha de tamaño variable para explicarles a los estudiantes que los flujos son variables ya que no ocurren con la misma intensidad y dependen del lugar en que se esté estudiando dicho ciclo. 2) Se insertaron elementos que representan procesos que ocurren a nivel molecular, por ejemplo, la organización de las moléculas en estado líquido, gaseoso y sólido (*nivel submicroscópico*). 3) Se hace un zoom de la porosidad del suelo, lo cual representa el *nivel microscópico*. 4) Se colocó una REP específica de cada estado de agregación del agua (*nivel submicroscópico*), donde esta se encontraba en estado sólido, líquido y gaseoso para así mostrarles a los estudiantes la manera cómo estas moléculas interaccionan producto de un aumento o disminución de la temperatura, y que esto determina cómo el agua se encuentra en la naturaleza (sólido, líquido o gaseoso).

Figura 2.C Propuesta de modelo científico del ciclo del agua.

1-Las formas en que el agua se mueve entre las reservas se conocen como los **flujos o procesos**, también se les conoce como estados dinámicos. El agua se mueve entre la atmósfera y la superficie de la tierra a través de la **evaporación**, la **evapotranspiración** y la **precipitación**. El agua se mueve a través de la superficie terrestre a través del **deshielo**, la **escorrentía** y el **flujo de ríos**. A través de la **infiltración** y la recarga de agua subterránea y gracias a la **percolación**, el agua se mueve hacia el subsuelo.

2-La atmósfera, el océano la tierra son lugares de almacenamiento, y llaman reservas o depósitos. En la tierra, agua salada se almacena en lagos salinos, mientras que el agua dulce se almacena en forma líquida en lagos de agua dulce, embalses artificiales, ríos, humedales y en el suelo como humedad del suelo.

3-Más profundo bajo tierra, el agua líquida se almacena en acuíferos subterráneos, dentro de las grietas y poros de la roca. La forma sólida y congelada del agua se almacena en capas de hielo, glaciares y mantos de nieve en elevaciones altas o cerca de los polos de la Tierra. El agua congelada también se encuentra en el suelo como permafrost. El vapor de agua, la forma gaseosa del agua, se almacena como humedad atmosférica sobre el océano y la tierra.



Nota. Modificado de **The Water Cycle, Spanish (PNG)**. Publicado en <https://www.usgs.gov/media/images/el-ciclo-del-agua-water-cycle-spanish-png>. A medida que se mueve por sus diferentes depósitos, el agua se puede transformar en un líquido, un sólido o un gas (cambios de estado a nivel submicroscópico, porque se refiere al estado de agregación de las moléculas de agua). A nivel macroscópico, se puede incluir todos los elementos que se pueden percibir de manera directa en la naturaleza.

Estudiar el nivel molecular (nivel submicroscópico) del ciclo del agua es fundamental para comprender las transformaciones y en consecuencia el movimiento que estas moléculas experimentan a lo largo del ciclo. Estudios como el de Docarmo (2021) indican que los estudiantes saben que el agua experimenta cambios de estado, y lo dicen, pero no poseen una comprensión profunda de las interacciones moleculares que permiten tales cambios. Comprender estas interacciones es clave para explicar científicamente como un aumento o disminución de temperatura afecta los estados de agregación del agua, aún a nivel de bachillerato. Dentro del esquema presentado en la Figura 2-C, se muestra la organización de las moléculas para introducir el tema de las interacciones moleculares y cómo estas sirven de base para una explicación profunda de las diferencias entre cada estado.

En otro orden de ideas, en la figura 2-C también se resaltan algunas de las formas en las que los humanos intervienen en el ciclo del agua. La mayoría de las REP encontradas en los libros de texto no toman en cuenta la presencia de los seres humanos en el ciclo del agua, hecho que dificulta la comprensión del ciclo y sobre todo el manejo sustentable de este vital recurso (Pozo-Muñoz et al, 2021).

En general, se puede afirmar que los estudiantes a nivel de secundaria se enfrentan a un modelo teórico complejo cuando tratan de realizar el análisis científico del CBGQ del agua. Para comprenderlo, deben establecer diferentes relaciones entre componentes conceptuales que implican un conocimiento del contenido de conceptos subyacentes, y componentes visuales que implican procesos de decodificación,

codificación e interpretación para poder atribuir y construir sus significados. Necesitan desarrollar competencias representacionales que les permitan leer de manera fluida una REP utilizada por una comunidad de discurso como la de los ecólogos o hidrólogos. Es decir, competencias para aprovechar todos los recursos semióticos para atribuir significado.

Este proceso de comprensión se hace más complejo en el caso de los CBGQ porque en ellos se combinan elementos que representan niveles diferentes (macroscópico, mesoscópico, microscópicos, submicroscópico, y simbólico), con el propósito de representar los procesos que posibilitan el movimiento de agua a través de la atmósfera, el suelo y los océanos. Como hemos señalado anteriormente, el agua experimenta cambios físicos (líquido, sólido, gaseoso) a través de procesos como la evaporación, la condensación, la precipitación y la infiltración entre otros, procesos que son afectados por el cambio climático, ya que el movimiento en conjunto de las moléculas de agua depende de la temperatura. De allí que en unas regiones hay una fuerte escasez de agua porque no llueve y en otras regiones ocurren fuertes inundaciones, y en cualquiera de los casos la humanidad y la vida en general se ve afectada.

2.3.1 Modelos teóricos que sustentan el aprendizaje a partir de las REP en la Psicología de la instrucción.

La presente investigación se desarrolla en el campo de la Psicología de la Instrucción. En ella se persigue generar herramientas que mejoren el proceso de

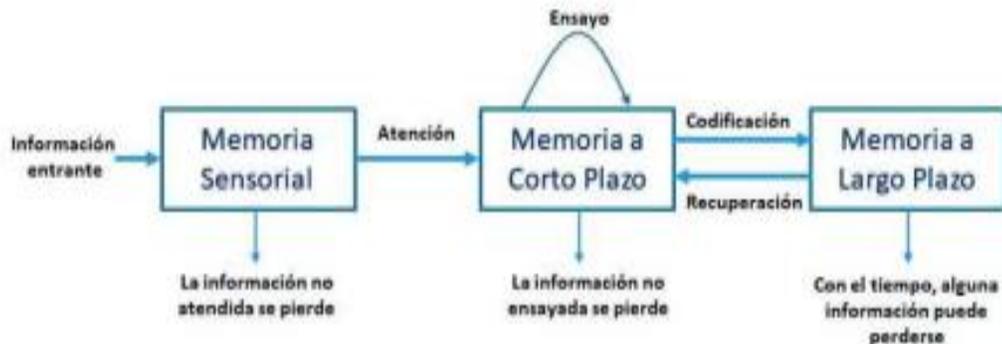
lectura de un tipo particular de REP: los CBGQ. De allí la importancia de sustentar dicho proceso con teorías que permitan comprender la naturaleza del aprendizaje multimedia. Para ello, los docentes y todos aquellos que generan recursos y estrategias para el aprendizaje deben tomar en cuenta lo que las ciencias cognitivas proponen. En esta investigación, se recurrió de manera general a la Teoría Cognitiva del Aprendizaje Multimedia, TCAMM (Mayer, 2005). Sin embargo, se habla de manera general del modelo Multialmacén de memoria, utilizado en el marco de la Teoría Procesamiento de Información, ya que algunos de sus supuestos se asumen en la TCAMM.

2.3.1.1 Modelo Multialmacén de Memoria

Este modelo es sumamente importante ya que hace referencia al funcionamiento de la memoria y porque uno de los procesos que les permite a los estudiantes responder a las diferentes situaciones a las que se enfrenta, ya sea a nivel académico o en su vida cotidiana, es su capacidad para procesar información que implica realizar diferentes procesos como recordar y establecer relaciones. Atkinson y Shiffrin en 1968 fueron los pioneros al tratar de explicar cómo funciona el procesamiento basándose en un sistema de memorias, o almacenes de información, cada uno con propiedades diferentes. Estos almacenes permiten gestionar y almacenar toda la información que llega a nosotros. Son: la memoria sensorial, la memoria de corto plazo y la memoria de largo plazo (Figura 3).

Figura 3

Modelo Multialmacén de Memoria. por Atkinson y Schiffrin (1968).



Nota. Extraído de Memoria humana (i) estructuras y procesos: el modelo Multialmacén. p. 1.

La memoria sensorial (MS) representa un almacén temporal de datos, donde llega toda la información que se percibe a través de los sentidos. Esta información, si no es atendida, puede durar muy poco tiempo (0.25-0,5 segundos). La información que sí es atendida pasa a la *memoria de corto plazo (MCP)*. En este caso, la información debe ser procesada y manipulada (por ejemplo, sintetizada o ensayada) para que pueda pasar a la siguiente unidad de almacenamiento. Es importante hacer notar que la MCP tiene capacidad muy limitada (7 ± 2 elementos), y que puede saturarse si el sujeto debe operar al mismo tiempo sobre múltiples ítems de información. De allí la importancia de que el docente oriente al estudiante no solo proporcionando materiales instruccionales bien contruidos que combinen el sistema de REP y REL eficientemente, sino que también guían la lectura y utilización de aquellos aspectos que son realmente importantes para el objetivo planteado.

Por su parte, la memoria de largo plazo (MLP) representa ese lugar donde se almacena todo lo que ha sido trabajado en la MCP y que es significativo para la persona. Tiene capacidad ilimitada, aunque su información se modifique constantemente producto de los procesos de aprendizaje.

Dentro de la MLP, la información se integra en forma de esquemas que se organizan jerárquicamente y se componen a su vez por unidades más pequeñas de información que se conocen como chunks (Jáuregui y Razumiejczyk (2011). De allí la importancia que a través del docente y el uso de recursos como el texto se planteen tareas orientadas a la construcción y organización de las nuevas unidades de información y la integración con los esquemas.

2.3.1.2 Teoría cognitiva de aprendizaje multimedia (TCAMM).

Existen diversas evidencias que sustentan las ventajas de utilizar sistemas de representación híbridos para la presentación de los contenidos, en particular el uso de REP construidas de manera adecuada facilitan el aprendizaje (Lombardi, 2009; Evagoro, Erduran y Matyla, 2015; Rau, 2017). En este sentido, emplear el tipo de representación adecuada a la demanda de tarea es clave para el aprendizaje. Del mismo modo, Seufert (2003), señala que las representaciones múltiples pueden complementarse entre sí con respecto a su contenido, proporcionando a los alumnos la construcción de representaciones más incluyentes, ya que cada una muestra un aspecto diferente del dominio específico que se está abordando.

La teoría de Mayer (2005) incorpora algunos de los elementos clásicos de la

teoría de doble codificación de Paivio (1986), así como también algunos elementos de la teoría del procesamiento de información. Mayer sostiene que las personas aprenden mejor cuando se exponen a formatos híbridos, que combinan REL y REP, es decir, cuando se enfrentan a materiales multimedia¹. Pero para que esto ocurra deben cumplirse algunos principios instruccionales, que se desarrollan más adelante. Es preciso señalar que el estudio de las REP se vincula a la utilización de representaciones que pertenecen a la misma modalidad sensorial (esto se conoce como multicodalidad), que en este caso es el canal visual, pero utilizan formatos diferentes. Posteriormente estas se integrarán para realizar el proceso de comprensión (Saux *et al*, 2015).

“La presentación de material verbal y pictórico; en donde el material verbal se refiere a la palabra, como texto impreso o texto hablado y el material pictórico que abarca imágenes estáticas (ilustraciones, gráficas, diagramas, mapas, fotografías) y también imágenes ...” (Mayer, 2005, p. 2)

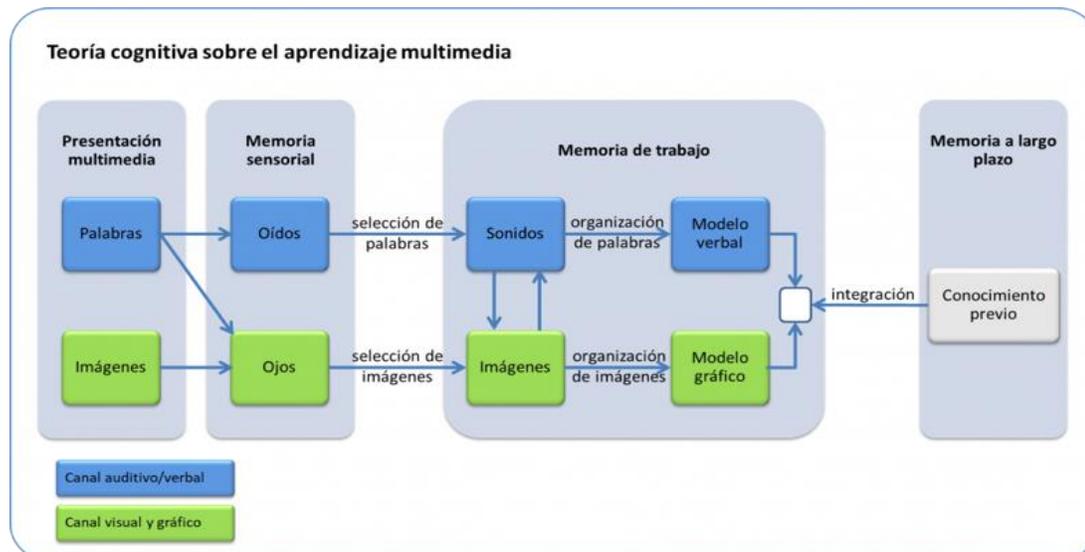
2.3.1.3 Supuestos del Modelo. La teoría de Mayer (2005) se focaliza en los siguientes fundamentos. Existen dos canales por donde llega y se procesa la información, uno verbal (REL) y uno visual (REP), y un conjunto de procesos cognitivos (selección de palabras, selección de imágenes, organización de palabras, organización de imágenes e integración) que involucran a los dos canales y no siempre ocurren de manera lineal. Además, como se alinea con los modelos teóricos expuestos anteriormente, toma en cuenta la existencia de tres tipos de almacén de memoria con capacidades diferentes: la memoria sensorial (con capacidad grande y duración efímera), la memoria de trabajo (con capacidad limitada e inestable) y la memoria de largo plazo (con capacidad ilimitada, que cambia constantemente, donde se almacena información).

Esta teoría proporciona sugerencias acerca de cómo presentar la información utilizada en la construcción del discurso de los CBGQ, sobre todo porque habla de la limitada capacidad de la MCP y la importancia de no sobrecargarla. Si el estudiante es consciente de todo lo que engloba una REP de los CBGQ, como, por ejemplo, los niveles de representación que subyacen a la naturaleza de los conceptos presentados, así como también los signos utilizados, la limitada capacidad de la memoria de corto plazo (7 ± 2) puede ser utilizada para interpretar el significado y no para decodificar, si la decodificación está automatizada. En la **Figura 4**, se muestra un modelo de los almacenes postulados por la teoría. Se asume que la información verbal y la información gráfica se procesan en diferentes subsistemas cognitivos y que los resultados del procesamiento son producto de la construcción en paralelo de dos tipos

de modelos mentales. Entonces, si los estudiantes se enfrentan a materiales que les permitan utilizar varios canales de procesamiento al mismo tiempo y además se evita la sobrecarga cognitiva, ellos podrán utilizar de manera más eficiente la información presentada e integrar la nueva información para lograr un reajuste de los esquemas que se tenían en la MLP.

Figura 4

Modelo Cognitivo de Aprendizaje Multimedia.



Nota: Tomado de Mayer (2005). *Multimedia Learning*. P. 72

Lo anterior nos permite inferir que las REP construidas de acuerdo a los principios de aprendizaje multimedia deben contribuir a automatizar los procesos de decodificación de los signos, por lo que deben facilitar el uso de la limitada capacidad de la MCP para interpretar el contenido de la REP, y así favorecer el proceso de apropiación del aprendizaje de los procesos que ocurren en el ciclo del agua.

2.3.3.3 Principios de aprendizaje multimedia propuestos por Mayer 2005.

A continuación, en la tabla 4, se presentan algunos de los principios más importantes descritos por Mayer en su Teoría de Aprendizaje Multimedia (TAMM) y que fueron usados en el diseño de instrucción (cuadernillo). Esos supuestos contribuyen a la instrucción, porque permiten mejorar la presentación de las REP.

Tabla: 4

Interpretación de los principales principios instruccionales propuesto por Mayer (2005)

Principios (1)	Interpretación Principio (2)	Aplicación del Principio en el cuadernillo (3)
Contigüidad	Cuando un estudiante se expone a un recurso instruccional, que combina texto con una imagen apropiada, éstas deben estar integradas físicamente, y así disminuir el trabajo de lectura a realizar.	En el cuadernillo toda REP que se utilice estará asociada espacialmente al texto o tarea que se presenta.
Segmentación	Presentar la información multimedia por segmentos, más que hacerlo en una unidad continua; es fundamental en la propuesta de la teoría multimedia de Mayer.	Las tareas para desarrollar competencias están segmentadas de tal manera disminuir la carga cognitiva a cognitiva extra.
Entrenamiento previo	Hace alusión a que cuando los aprendices conocen los nombres y las características de los conceptos centrales, tendrán mayor facilidad para comprender lo que se trata de mostrar.	Las clases dadas antes de introducir a los estudiantes a este tópico, así como la utilización del cuadernillo forman parte del proceso de entrenamiento previo.
Señalamiento	Proporcionar etiquetas y/o algún tipo de recurso que le permita reconocer la información esencial, por ejemplo, flechas, tamaños de letras diferentes, etc.	Cuando corresponda en casa REP se colocarán etiquetas y leyendas e instrucciones expresas que faciliten su lectura. Disminuye la carga cognitiva

Nota. modificado a partir de Mayer, (2005)

En esta **Tabla 4**, la columna 1 contiene el nombre del principio, la columna 2 la interpretación del principio, y la columna 3 la descripción de cómo se usa dentro de

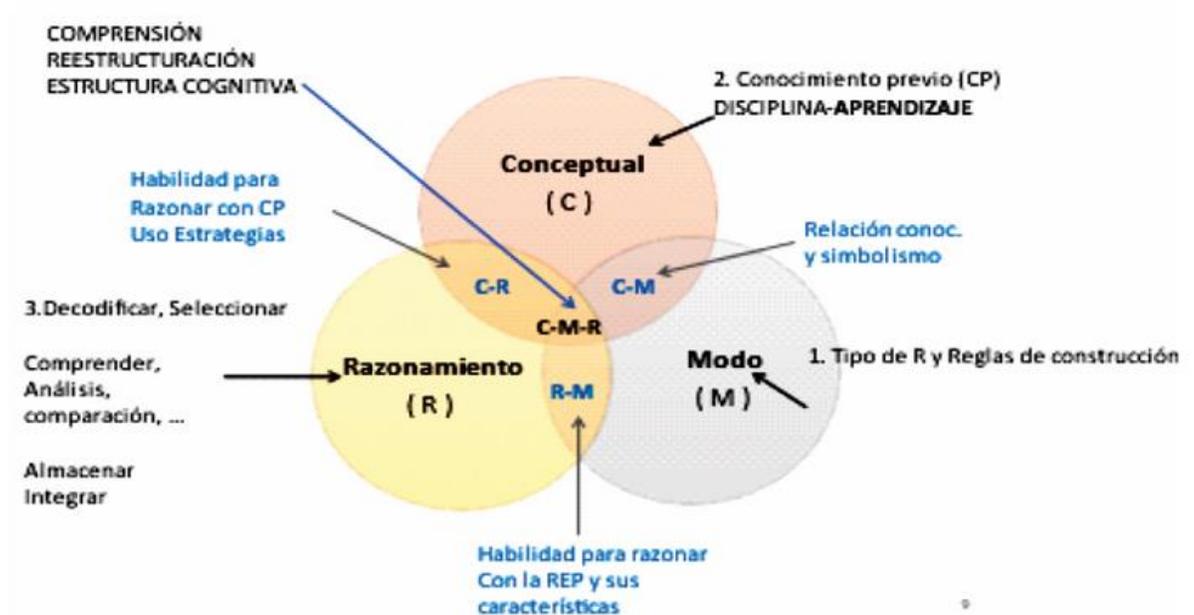
la presente investigación. Es importante resaltar que estos son solo algunos de los principios propuestos por Mayer. Solo se muestran aquellos que, según el enfoque de esta investigación, ayudan a automatizar el proceso de decodificación de los diferentes signos con los que se construye el CBGQ del agua.

2.3.1.3 El modelo de los 7 elementos de Schönborn y Anderson (2010):

implicaciones para la enseñanza y aprendizaje del ciclo del agua.

El acto aparentemente simple de interpretar una representación determinada depende de diversos factores, que incluyen el conocimiento profundo que tiene el individuo sobre la idea o concepto representado, la capacidad de decodificar información visual, y la naturaleza de la representación misma. Además, todo este proceso es dependiente de la comunidad de discurso en donde está ocurriendo.

Figura 5 *Modelo de 7 factores de Schönborn y Anderson (2010).*



Nota. Extraído de Lombardi (2023 p. 63). Esquema construido a partir de la información propuesta por Schönborn y Anderson (2010) en este gráfico lo importante es ver las intersecciones, ya que es allí donde ocurre la construcción de conocimientos.

Este modelo consta de siete elementos (**ver Fig. 5**). Propone que el conocimiento conceptual (C), la naturaleza de la REP (M) y las habilidades de razonamiento (R) son fundamentales para poder comprender a partir de una REP. **Siendo R-M**, la capacidad del lector para decodificar el simbolismo de la REP, **R-C**, representa su capacidad para poder interpretar la RP y **C-M** se refiere al conocimiento que encierra la REP.

Estos autores plantean que para que pueda ocurrir la comprensión se deben interceptar los tres elementos de manera simultánea (C-M-R). Considerar esta condición tiene importantes repercusiones para los docentes cuando enfrentan la tarea de construir experiencias de aprendizaje que impliquen el uso de las REP. Lo que necesita tomar en cuenta incluye:

- La necesidad de determinar las conductas de entrada o conocimientos previos de los estudiantes (C), para saber si tiene aquellos que son requisitos para comprender y aprender de la REP (C-M) particular
- Puesto que aprender a partir de una REP depende en gran medida de la naturaleza y la calidad de los elementos que la componen (M), es importante evaluar la calidad de la REP y la pertinencia del simbolismo que la compone para aprender un conocimiento específico, con el fin de hacerla inteligible, lo que puede lograrse **al construir y una REP adecuada.**

- Del modelo se desprenden aspectos importantes que permiten diseñar actividades que promuevan habilidades de razonamiento y visualización. La labor del docente es ir desarrollando actividades en las que el conocimiento previo del estudiante interactúe con cada uno de los elementos del modelo. Esta interacción depende de la disciplina (C), la calidad de la REP, el conocimiento específico de las reglas utilizadas para diseñar la REP (R) y todo el conjunto de habilidades que debe desarrollar el estudiante para utilizar de manera óptima la REP (M). Cuando todo esto converge, el estudiante es capaz de construir conocimiento a partir de una REP.

2.4 Competencias representacionales que un estudiante debe alcanzar para construir conocimiento a partir de una REP en los CBGQ.

Una competencia representacional puede definirse como la capacidad de utilizar y/ o generar múltiples representaciones de un tema específico, de manera efectiva e interconectada (Scheid et al. 2019). En la presente investigación, el objetivo principal fue la promoción, en estudiantes de 1er año de bachillerato, de competencias representacionales específicas sobre el ciclo del agua.

En esta investigación se establece la competencia representacional a partir de la construcción de una representación del ciclo del agua, ya que, como dicen Scheid et al. (2019), una competencia representacional puede ser equivalente a la capacidad de construir una REP. Autores como Camacho et al. (2017) señalan que el diseño de REP puede ser un buen indicador para medir el nivel de comprensión del sujeto que

aprende, porque las representaciones son “como herramientas cognitivas que permiten a los sujetos organizar y explicitar sus ideas y modelos respecto a una fenomenología particular” (p 153).

De allí que se parte de la premisa que la construcción de la REP del ciclo del agua, genera evidencias necesarias para dar cuenta de los conocimientos del estudiante al inicio durante, y al cierre de la intervención. Dentro del enfoque de esta investigación, un estudiante competente en el tópico del ciclo del agua debe ser capaz crear una REP que utiliza y combina los distintos niveles, para así demostrar que ha comprendido los conceptos, y que puede pasar de un nivel de representación a otro y/o combinar los diferentes niveles para explicar un proceso. XXX

Otro indicador que se usó para medir el nivel de competencia es la capacidad de usar una REP para construir otra REP y usarlas para resolver un problema. Acá se mide también la capacidad de interpretación. La Real Academia Española (2024) define *interpretar* como -explicar o declarar el sentido de algo-. Además, indica que el término puede ser sinónimo de entender, analizar, deducir, entre otros. Esto se trae a colación, porque definitivamente la separación que puede haber entre estos términos es muy fina, lo que se tomó en cuenta en el análisis de los resultados de esta investigación.

Capítulo 3: Metodología

En este apartado se realiza una descripción del procedimiento que se siguió para llevar a cabo la recopilación de la información necesaria para responder a la pregunta de investigación. Así mismo se describe la población de estudio y los sujetos que conformaron la muestra.

3.1 Tipo de investigación

La investigación que se llevó a cabo es de naturaleza mixta. Hernández et al. (2018), señalan que este tipo de investigación implica la recolección empírica y sistemática tanto de datos cualitativos como cuantitativos, e implica el análisis conjunto de los datos. Se realiza un análisis de datos numéricos y no-numéricos que permite tener una visión más completa del problema tratado. Entre los elementos del corte cuantitativo se empleó un cuestionario (pretest y posttest) que permitió identificar y comparar el grado de significancia de los datos luego de la intervención didáctica. En respecto a los datos cualitativos, el análisis de contenido fue la principal herramienta para identificar el nivel de competencia representacional antes y después de la enseñanza explícita de las reglas de construcción del ciclo biogeoquímico del agua.

3.2. Diseño de investigación

Este estudio se fundamenta en la investigación basada en diseño (IBD). Esta metodología se está convirtiendo en una herramienta importante para dar respuesta a problemas relacionados con la enseñanza de las ciencias (Guisasola, 2021).

Concretamente, en esta investigación, el problema se relaciona con la dificultad que tienen los estudiantes para leer las REP del ciclo del agua, lo que dificulta su interpretación. Decodificar los signos con los que se construye la REP del CBGQ del agua (lo que exige reconocer su naturaleza y los niveles de representación, así como las reglas que se siguen para su construcción) es un prerrequisito para interpretar el contenido que la REP presenta, ya que esta decodificación facilita la comprensión y permite compartir el significado de la representación o criticarla.

La investigación basada en diseño (IBD) busca comprender cómo ocurre el aprendizaje en el contexto real del aula. Esto permite generar una intervención didáctica que se centre en dar directrices que orienten al estudiante en la resolución de un problema a nivel local y potencialmente hacer inferencias en la resolución de dicho problema en un contexto global. Esta potencialidad surge porque la secuencia didáctica nace desde la indagación e implementación en un contexto educativo real.

La presente investigación tenía como meta describir cómo cambia un evento a lo largo del tiempo. Básicamente se buscó dar cuenta de cómo se modifica la habilidad de los estudiantes para utilizar la información que presentan las REPs del ciclo del agua, a través del desarrollo de diversas tareas explícitas que contemplen su utilización. Esto coincide con lo que Hurtado (2012) llama un diseño de campo (fuente de los datos). Asimismo, según la temporalidad y secuencialidad de las mediciones, se relaciona con el diseño evolutivo contemporáneo longitudinal, ya que la descripción del proceso se hace en varios momentos a fin de describir cómo cambia

el nivel de competencia a medida del desarrollo de tareas que promueven el uso explícito de las REP utilizadas. El contexto donde se llevó a cabo la investigación fue el ambiente real de trabajo de los estudiantes en la actualidad. Se aplicaron varias técnicas de recolección de datos a lo largo de cuatro semanas.

En la siguiente sección, se resume el diseño que se siguió para dar respuesta a la pregunta de investigación (ver **Tabla 5**).

Tabla 5

Método utilizado para llevar a cabo la investigación.

1. Fase de diseño		
Determinación de los Objetivos de enseñanza		Creación de las estrategias de enseñanza.
Definición de los objetivos de aprendizaje.	Determinación de las dificultades y demandas de aprendizaje.	
<p>El análisis de los objetivos se realizó de acuerdo a</p> <ol style="list-style-type: none"> Lo que dice el currículo que deberían aprender los estudiantes Lo que dice la teoría científica que deberían aprender los estudiantes sobre el modelo teórico del ciclo del agua. 	<p>Diagnóstico de conductas de entrada y de las dificultades conceptuales que los estudiantes tienen sobre el ciclo del agua. Esto se realizó de acuerdo a lo que la literatura indica sobre las dificultades que los estudiantes poseen sobre el ciclo del agua, ya partir de diferentes ejercicios realizados con cohortes anteriores.</p> <p>El cuestionario inicial contenía dos partes, A y B, y se usó para identificar el conocimiento específico de la comunidad de discurso, que en este caso es la biología, y el nivel de competencia representacional del estudiante.</p>	<p>Las estrategias de enseñanza estaban orientadas por:</p> <ol style="list-style-type: none"> Investigaciones científicas específicas de la comunidad de discurso para guiar el aprendizaje del modelo pedagógico-científico sobre el ciclo biogeoquímico. Supuestos para organizar la secuencia de aprendizaje en el cuadernillo de trabajo (Mayer, 2005).
<p>Diseño de tareas específicas para alcanzar los objetivos planteados: Se creó una secuencia de actividades que se materializó en la construcción de un cuadernillo de trabajo, producto de la revisión teórica realizada. Se sustentó esta secuencia en lo que señalan los 7 factores que Schönborn y Anderson (2010), y en la TAMM (2005)</p>		
2. Fase de implementación, evaluación y rediseño:		

<p>Recolección de los resultados de los estudiantes</p> <p>Análisis y evaluación de los resultados en relación con el diseño de la secuencia de aprendizaje.</p> <p>Evaluación por expertos.</p> <p>.</p>	<p>Creación de instrumentos para medir el aprendizaje alcanzado: pre- y post-test.</p> <p>Parte A: habilidades representacionales</p> <p>Parte B: conocimiento declarativo</p> <p>1. Análisis del pretest y post test y actividades planteadas en el cuadernillo de trabajo.</p> <p>2. Actividades del cuadernillo.</p>	<p>Redefinición de actividades, secuencias:</p> <p>Planteamientos de sugerencias para el rediseño de las tareas, utilizando nuevos términos de instrucción, representaciones.</p>
---	---	---

Nota. Propuesta metodológica modificada a partir de Guisasola (2021, p.9). Investigación basada en el diseño de Secuencias de Enseñanza-Aprendizaje: una línea de investigación emergente en Enseñanza de las Ciencias. Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias

3.3 Descripción de los Participantes

Los estudiantes que forman parte del estudio residen en la ciudad de Guayaquil-Ecuador. Estudian en una unidad educativa particular² (colegio privado) perteneciente al régimen costa, cuyo periodo de estudio es de 10 meses entre abril-febrero, divididos en tres períodos (con dos bloques cada uno). La edad de los sujetos de estudio es 15 (± 1) años. Presentan características similares, y el 90% han compartido aulas desde la primaria en la misma institución. Proviene de una clase social media-alta. Son 22 sujetos que estudiaban en un mismo salón de primer año (toda la población de ese salón). Al iniciar la intervención, los estudiantes ya habían cursado el tema referente a ecosistemas- flujo de energía en los ecosistemas- información que representa un requisito previo (conducta de entrada) para enseñar y aprender el tema de los CBGQ. También cursaron el tema de las propiedades físicas y químicas del agua (en este caso se realizó posterior a la aplicación del pretest). Para

² Se ha informado, tanto a la unidad educativa como a los estudiantes participantes de la realización de este proyecto de manera de contar con el respectivo consentimiento, la unidad educativa aprueba la intervención didáctica, al igual que los estudiantes dan su consentimiento informado)

disminuir los sesgos, se asignaron a los estudiantes a trabajar en pares ordenados alfabéticamente (duplas).

3.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos

De manera específica se empleó un cuestionario en forma de prueba de conocimiento para la recolección de la información, información que se concreta en forma de respuestas escritas a mano. Antes de su aplicación, este instrumento fue resuelto por tres docentes especialistas en la asignatura para así garantizar la validez interna de dicho instrumento (Hernández-Sampieri y Mendoza Torrez, 2018). Se utilizó el mismo cuestionario antes de la instrucción explícita y luego de la instrucción. El medio que se empleó para ordenar las actividades a realizar en clase consistió en material expresamente diseñado para esta investigación, que llamamos “**cuadernillo de trabajo**” (Anexo C). De este material tomamos experiencias específicas para analizar el progreso del aprendizaje conceptual y el desarrollo de competencias representacionales por parte de los estudiantes,

Para la construcción del cuadernillo, se utilizaron los libros de Biología de Audesirk et al. (2017) e investigaciones como la de Fandel et al. (2018) como base para desarrollar las tareas, pues consideramos que se ajustaban a las exigencias planteadas a los estudiantes de este curso. Las actividades propuestas fueron revisadas por una docente especializada en el área de ecología y además docente en ejercicio de secundaria. Paralelamente el cuadernillo de trabajo fue revisado por una especialista en diseño instruccional que avaló su organización.

3.5 Procedimientos aplicados

De manera específica la recolección de información siguió la siguiente secuencia.

Se diseñó una prueba para ser aplicada antes y después de la instrucción. Con esta prueba se buscaba determinar los conocimientos declarativos de los estudiantes y evaluar las habilidades para utilizar la información que poseían antes de la instrucción explícita en el ciclo del agua y posterior a ella. (ver **Tabla 6**). Los pasos seguidos los describimos a continuación:

a) Resolución de un cuestionario (**ver anexo B**), dividido en dos partes. La **Parte A** presentó preguntas de desarrollo: primero se entregaron las preguntas 1 y 2 para que se respondieran. Luego se entregaron las preguntas 3-6 y, una vez que los estudiantes entregaron sus respuestas, se inició la **Parte B** del test.

En la **Parte B** de la prueba se presentaron 11 preguntas de selección simple que estaban relacionadas con el conocimiento declarativo que los estudiantes poseían sobre el ciclo del agua. Las respuestas a este cuestionario permitieron tener un mapa de lo que podemos llamar el momento inicial del proyecto. A partir de este momento se inició el trabajo con el “cuadernillo”. En este material las actividades estaban organizadas en sesiones de trabajo y se presentaba la información combinando representaciones lingüísticas (**REL**) y representaciones pictóricas (**REP**).

Estas actividades siguieron la misma secuencia de tareas planteada en el test de competencias. Las tareas cognitivas tenían el propósito de que el estudiante

conociera los signos y las reglas de representación, lo que le permitiría utilizarlas para decodificar la representación. Buscamos que el estudiante pudiera: a) identificar los elementos espaciales y dinámicos del ciclo del agua, b) identificar los niveles en los que se presentan esos elementos, c) transferir vertical y horizontalmente los niveles de la representación. Así podría dar sentido de manera fluida al contenido de dicha representación.

La presentación explícita de la naturaleza de la REP del ciclo del agua, combinada con tareas que permitieron la lectura y utilización de este CBGQ, tenía el propósito de mejorar la capacidad del estudiante para construir una representación interna de dicho ciclo que estuviera acorde al modelo teórico que plantean en el campo de la ecología.

Las tareas diseñadas se pueden apreciar en la **tabla 6**.

Tabla 6

Tareas propuestas a realizar cuando se enfrenten a una REP de los CBGQ y que fueron evaluadas en la parte 1 del test o en cualquier tema relacionado con el ciclo del agua.

Indicadores de que el sujeto está desarrollando competencias.	Habilidades cognitivas	En el formato de instrucción (cuadernillo)	Tarea para realizar dentro del test
	Activación de conocimientos previos	Tareas para recordar elementos del ecosistema, ciclaje de nutrientes (A,B,C)	
Decodificar el lenguaje simbólico que compone a la REP + Explicitar reglas de Representación.	Identificar, describir	Identificar la simbología asociada a una REP del ciclo desde el punto de vista macroscópico. (D)	
Decodificar el lenguaje con el que se construye la REP + Explicitar reglas de Representación.	Memorizar/ identificar	Reconocer los signos, por ejemplo, las flechas, de manera de atribuir significado e identificas los procesos que ocurren en el ciclo (Actividad E)	Pregunta 2 Dentro de un REP del ciclo del agua: Pregunta 3; Indica que representan las flechas mostradas en la figura. ¿Explica por qué varía el tamaño de las flechas?
Traducir verticalmente a través de múltiples REP de un concepto. Traducir horizontalmente una representación en otra.	Transferir/ Aplicar	Lecturas vinculadas a los estados del agua. Conocen, identifican y describen el nivel submicroscópico del agua. Reconocen que el nivel celular. Transferir de un nivel a otro (movimiento vertical y horizontal de una REP a otra). (Actividades: F-H-I).	Pregunta 4: Con base en el esquema simplificado del ciclo del agua de la figura siguiente: a. Interpreta qué motiva las fases ascendente y descendente del ciclo del agua 4.b. Dibuja, donde corresponda, los cambios de estado del ciclo del agua. 4.A. indica nombre a nivel macroscópico del proceso señalado 5 b. Dibuja lo que ocurre a nivel celular y molecular dentro del siguiente círculo...
Interpretar y usar una REP para resolver un problema.	Inferir, Analizar, sintetizar	Utilizar información de una REP para resolver un problema planteado. (Actividad J, K)	5.2. Usando como base la Figura B, dibuja los elementos necesarios que te permitan disminuir y/o aumentar los procesos de flujo y evapotranspiración respectivamente (señalados con flechas de la Figura A)
Construir una REP para representar o explicar un concepto o resolver un problema	Sintetizar, integrar, Contruir.	Construir una REP adecuadamente implica saber conceptual y procedimental (Actividad M)	Pregunta 2: Dibuja un esquema del ciclo del agua, indicando los componentes espaciales y dinámicos que ocurren a nivel macroscópico, submicroscópico, y simbólico (utiliza colores para indicar lo que ocurre en cada nivel. Cuando termines de dibujar y rotular, explica lo que has realizado.
Evaluar las fortalezas y las limitaciones de una REP.	Pensamiento sistémico: analizar, sintetizar, integrar.	Podría alcanzarse presentando algunas opciones de REP y deben revisar si están bien planteadas. o elegir cual es la mejor opción entre una serie. (Actividad L)	6. A continuación, se muestran una serie de representaciones del ciclo del agua. De acuerdo con tus conocimientos sobre el ciclo del agua, qué figura es la más idónea para representar tal ciclo en la actualidad. Justifica su respuesta.

Nota. Elaboración propia a partir de información extraída Schönborn y Anderson (2010); Arneson y Offerdah (2018).

La información mostrada en la tabla se organizó dentro del cuadernillo y el test de acuerdo a lo propuesto por Schönborn y Anderson (2010); Arneson y Offerdah

(2018), y siguiendo los principios de instrucción de Mayer (2005). El objeto fue promover la alfabetización visual científica, que es otra manera de llamar a las competencias representacionales o habilidades de visualización.

Para analizar las respuestas a las tareas diseñadas para medir el nivel de competencia representacional, se utilizó la técnica de análisis de contenido de las respuestas que los estudiantes escribieron a mano. Según Hurtado (2010), el análisis de contenido se refiere al análisis objetivo, sistemático y cuantitativo del contenido presente en un mensaje. El mensaje puede analizarse a partir de un texto o a partir de una imagen, y en este caso particular se usó un dibujo a mano (que está dentro de pre y post test).

Para efectuar el análisis, se realizó la categorización de las unidades, se codificaron y se determinó la frecuencia. De esa manera se determinó el nivel de competencia representacional (ver detalles en la **Tabla 7**). A partir de la información que se presenta en esta tabla, se realizó el análisis de las respuestas a la pregunta 2: **Dibuja un esquema del ciclo del agua, indicando los componentes espaciales y dinámicos que ocurren a nivel macroscópico, submicroscópico, y simbólico. Utiliza colores para indicar lo que ocurre en cada nivel. Cuando termines de dibujar y rotular, explica lo que has realizado.** Este análisis se realizó tanto en el pretest como en el postest y de esa manera se cumplió con lo planteado en los objetivos 1 y 3 de esta investigación.

A continuación, se describen los criterios utilizados para incluir cada uno de

los componentes presentados en el Test.

La información contenida en la *Parte A* de la prueba muestra los componentes más destacados que conforman al ciclo del agua. Su inclusión es producto de una revisión de la literatura especializada, donde destacan los trabajos de Márquez y Bach (2007); González-García y Fernández-Ferrer (2010); Abbott et al. (2019); Santana-Armas, et al.(2015). Es importante señalar que estos componentes están representados en los niveles más apropiados de acuerdo a lo que se quiere presentar, estos son: macro, micro, submicro y elementos antrópicos que modelan el ciclo biogeoquímico del agua.

La *Parte B* se construyó haciendo uso de la información propuesta por Kozma y Russell (2005) en el área de Química, y se adecuó al tópico de los CBGQ del agua. Así mismo el trabajo de Ursavaş y Oğuzhan (2021) orientó esta adecuación. El Modelo del CBGQ del agua contempla todos los niveles de representación que utilizan Kozma y Russell para hacer su propuesta. También es importante señalar que el trabajo de Schönborn y Anderson (2010) en el modelo de los 7 factores hace énfasis en lo que cada estudiante debe realizar para poder construir conocimientos a partir de una REP o cuando la tarea sea construir un REP.

A continuación, se ofrece un ejemplo de cómo se usó la información contenida en la **Tabla 7** para determinar el nivel de competencia representacional de un estudiante. Primero se revisó el dibujo producido por el estudiante, luego se contaron los elementos del dibujo que aparecían en la lista de cotejo. En este caso fue entre 1-

7. Este nivel de competencia representacional se categoriza como nivel 1. Para que el nivel de competencia sea máximo, el dibujo debe contener todos o casi todos los elementos necesarios para una representación científica del ciclo biogeoquímico.

Tabla 7

Lista de cotejo con Elementos que deberían reconocer y relacionar los estudiantes al construir o analizar el ciclo del agua. (parte A) + Rúbrica para medir el nivel de competencia representacional (parte B)

<i>Parte A: Componentes e indicadores que debe contener el ciclo del agua.</i>	<i>Parte B: Rúbrica para determinar el nivel de competencia representacional</i>
	Nivel 0: No representa el ciclo
	Nivel 1 (Inapropiado): La representación omite la mayoría de los elementos constitutivos de la REP. No superan ni la quinta parte (1-7) de los componentes globales. Se observan sólo elementos del nivel macroscópico.
	Nivel 2 (insuficiente): Combina 8-14 elementos de los diferentes componentes. El nivel molecular y celular son escasamente considerados, la intervención humana no está presente.
	Nivel 3 (suficiente): Combina 15-21 elementos, hay cierta presencia de elementos de los componentes submicroscópico y celular, la intervención humana es casi nula.
	Nivel 4 (Buena): Combina 22-28 elementos de los diferentes componentes y niveles (macroscópico, submicro o simbólico cuando corresponde), aún la intervención humana no se considera pertinente.

Componentes e indicadores a testear			Cod	
Componentes	Sub-Component	Indicadores		
Símbolos especiales	Flechas	Dirección del proceso.	1	
		Magnitud de los procesos	2	
	Impulsor del Agua	Sentido de ciclo global	3	
		Sol	4	
Nivel submicroscópico	Representar a nivel molecular	H ₂ O/gota/módulo	5	
		Agua en estado gaseoso	6	
		Agua en estado líquido	7	
Nivel Microscópico: procesos que el estudiante no ve a simple vista.		Agua en estado sólido	8	
		Estomas en las plantas /Poros	9	
		Porosidad del suelo	10	
		Aguas subterráneas	Acuíferos	11
			percolación	12
Componentes espaciales del agua (diferentes depósitos en las que se encuentran el agua en la naturaleza):	La atmósfera:	Vapor de agua: neblina /	13	
		Agua en las nubes	14	
	Hidrosfera:	Aguas superficiales	Glaciares/nieve	15
			Lagos /ríos	16
		Mares / océanos		17
	Litosfera	Rocas/ montañas/suelo		18
		Plantas/algas		19
		Animales/hombre/ otro		20
	Componentes dinámicos (Procesos que permiten el flujo de agua en la naturaleza)	Procesos que generan cambios de un depósito a otro.	Evaporación	21
			Transpiración/evapotran.	22
Condensación			23	
Precipitación			24	
Sublimación			25	
Deshielo - Fusión			26	
Circulación Sup en general			27	
Infiltración			28	
Intervención del hombre	Consumo humano del agua	Escorrentia	29	
		uso domestico/pozos	30	
		Uso agrícola /industrial	31	
		Contaminaci aguas residuales	32	
Fenómeno natural /consumo humano: Cambio climático		Deforestación	33	
		Sumatoria de indicadores	34	

Nivel 5 (Excelente): Combina 29 o + elementos de cada componente y utiliza los diferentes niveles (macroscópico, submicro o simbólico cuando corresponde); la intervención humana en la mayoría de sus formas es considerada. En este nivel el estudiante es capaz de realizar transformaciones de un nivel a otro tanto en el plano horizontal como vertical.

Elaboración propia.

Nota: parte A (lista de cotejo) Márquez y Bach (2007); González-García y Fernández- Ferrer (2010); Abbott et al. (2019); y Parte B Rúbrica para medir el nivel de competencia representacional modificado de Kozma y Russell, (2005. p.11); Ursavas y Oğuzhan, (2021. p.244).

Operacionalmente asumimos que un estudiante ha interpretado una representación del CBGQ del agua cuando en el dibujo se aprecie que ha codificado *los elementos* que componen la REP del ciclo del agua, ha representado *los niveles* en los que se representan algunos conceptos asociados al ciclo y además se ha incluido

el efecto de las personas como agentes modeladores del ciclo. En función de esto se utilizaron algunas tareas incluidas dentro del pre y post test para ver el nivel de logro.

3.6 Temporalidad de la recolección de los datos

El tratamiento se desarrolló en aproximadamente seis semanas de trabajo, lo cual equivale a 14 horas académicas (45 min/h), tiempo suficiente considerado por la docente para llevar a cabo la intervención relacionada con los procesos de enseñanza y aprendizaje del tema referido al CBGQ del agua. Para caracterizar el nivel de competencia, se analizó si los estudiantes pudieron identificar los elementos claves que le permitieran deducir información relevante para resolver las tareas planteadas y construir REP a partir de la información suministrada. En **la Tabla 8**, se puede observar la temporalidad de las sesiones.

Tabla 8

Secuencias de actividades a realizar durante las sesiones de enseñanza y aprendizaje.

Temporalidad	Descripción de las actividades:	Evidencia del trabajo.
Sesión 1 y 2 dos sesiones, equivalentes a dos horas de trabajo de 45 min de trabajo cada una	Se aplica pre test, dividido en la primera Parte A y en la segunda Parte B. Las preguntas fueron entregadas en momentos diferentes, de manera de no influir en las respuestas que debían dar en ciertas preguntas.	Resuelven un pre-test con preguntas de selección múltiple y preguntas abiertas que buscan recabar el nivel de conocimientos conceptuales y competencias representacionales. (Ver anexo B)
Pausa: tres semanas de clases. (seis horas de clase)	<ul style="list-style-type: none"> ● Se realizan ajustes al cuadernillo de trabajo de acuerdo a los resultados del pretest. ● El cuadernillo se había elaborado previamente, de acuerdo a lo que la literatura informa sobre el ciclo biogeoquímico del agua aplicado previamente para comprobar comprensión como ejercicio con otros cursos) ● Se dictaron clases sobre las propiedades fisicoquímicas del agua. 	

Sesión 3-4	<ul style="list-style-type: none"> ● Se presentan resultados del test a los estudiantes. ● Se construye un mesocosmos para toda la clase. ● Se indica que se iniciará un trabajo dirigido a desarrollar habilidades de representación específicas del ciclo del agua. Se explica el sistema de trabajo. 	Construcción de un mesocosmos para ir observando y discutiendo en la clase como ocurre el ciclo del agua.
Sesión 5-6	<ul style="list-style-type: none"> ● Master class sobre el ciclo del agua. ● Identifican elementos de un ecosistema, repasan términos de flujo de energía. 	Inicia actividades con el cuadernillo del trabajo. (Anexo C)
Sesión 7-8: Intervención pedagógica.	Explicitar reglas de Representación (sentido de ciclo) Decodificar el lenguaje simbólico que compone a la REP, Los signos	Resuelven ejercicios guiados sobre el ciclo del agua. para reconocer los signos utilizados.
Sesión 9-10-11-12	<ul style="list-style-type: none"> ● Moverse de una representación a otra. ● Interpretar; evaluar y construir una REP. ● Dibujan nuevamente el Ciclo del agua. ● Reflexión del trabajo realizado y la importancia de utilizar todos los recursos que proporciona un texto. 	Realizan rutina de pensamiento
Sesión 13 – 14	Resuelven nuevamente el test. Evaluación de los resultados de la intervención.	Postest: Parte A y Parte B

Nota. Elaboración propia.

Capítulo 4: resultados y discusión

4.1 Contexto

En este apartado se presentan los resultados de la investigación. Fueron levantados a partir de la información aportada por los estudiantes en los cuestionarios aplicados antes y después de la intervención y en el cuadernillo de trabajo (**ver anexos B y C** respectivamente). Dicha información se presenta en tablas y/o gráficos dependiendo del caso y de acuerdo a los objetivos planteados.

Ser competente desde el punto de vista representacional para comprender el ciclo del agua implica conocer los símbolos que se utilizan para representar los diferentes componentes espaciales y dinámicos del ciclo del agua, así como los niveles en los que esos componentes se combinan. Además la persona debe ser consciente de cómo las actividades humanas pueden afectar dicho ciclo.

En el caso particular de esta investigación, el diseño de una REP del ciclo del agua de acuerdo a lo que el modelo científico indica es una herramienta poderosa para medir el nivel de competencia representacional de los estudiantes. A continuación, se presentan los resultados encontrados en la investigación realizada (con énfasis en los que a juicio de la investigadora resultan más ilustrativos para mostrar los hallazgos encontrados). Se incluyen también las descripciones e interpretaciones realizadas combinadas con la revisión de la literatura. La manera de presentar los resultados está en consonancia con los objetivos específicos planteados. Se intentó hacer un análisis

cualitativo y cuantitativo de los resultados.

4.2 Identificar el nivel de competencia representacional de los estudiantes de 1er año de bachillerato ante una REP del CBGQ del agua.

En la siguiente **Tabla 9**, se muestran los resultados encontrados en la aplicación del pretest y postest **Parte B**. El tipo de preguntas planteadas recoge conocimientos declarativos relacionados con los componentes espaciales y dinámicos del CBGQ del agua y aspectos subyacentes al mismo. Es importante dejar claro que se muestran, en primer lugar, los datos cuantitativos porque estos permitieron tener una panorámica inicial de los conocimientos que traían los estudiantes con respecto al tópico estudiado.

Es preciso informar que todos los dibujos utilizados para identificar el nivel de competencia representacional de los estudiantes (duplas) se encuentran en el **Anexo A**.

4.2.1. Resultados vinculados a la parte B del test: Conocimientos declarativos

En la **Tabla 9** y en la Figura 6, se muestra un resumen de los resultados obtenidos en la aplicación del pre y postest.

En el pretest, los estudiantes tuvieron un resultado promedio de **4,5**, valor que está muy por debajo de la nota aprobatoria que en Ecuador es **7**. En el post test hubo una nota promedio **8.95** (la máxima nota para aprobar es de 10).

Tabla 9

*Resultados cuantitativos de la aplicación del test antes y después de la intervención:
Pre test y Posttest.*

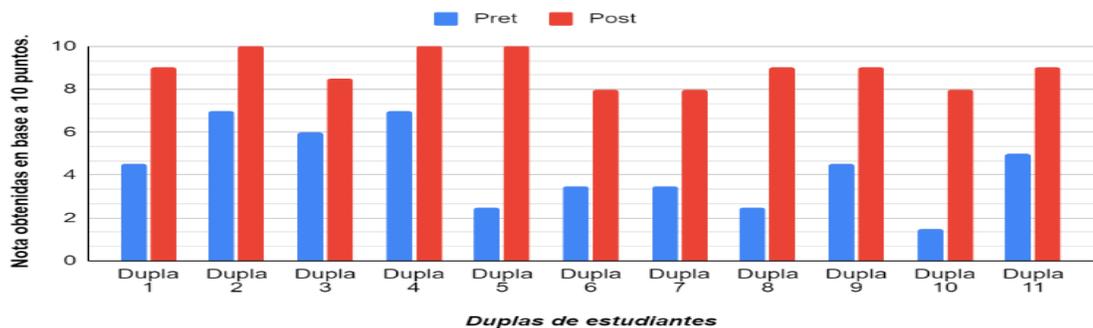
sujetos de estudio	1- ¿Identifica la fuerza motriz que posibilita el desarrollo del ciclo del agua?		2- Se utiliza un terrario para modelar el ciclo del agua. Antes de tapar el frasco, el estudiante riega las plantas y coloca el terrario en una ventana soleada ¿Qué parte del ciclo del agua ocurre dentro del terrario solo después de que se han producido las plantas?		3- Las letras A-D en la siguiente sección del ciclo del agua representan cuatro de los procesos que forman parte de los elementos dinámicos del ciclo del agua ¿Cuáles son?		4- Observa la figura de la derecha. ¿Cuáles son los dos procesos del ciclo del agua que no están representados por flechas en la sección que se muestra y que permiten el flujo en la superficie y a través del suelo?		5- En la ciudad de Guayaquil, el nivel freático suele subir cuando hay:		6- ¿Por qué la deforestación puede causar un aumento de la escorrentía?		7- Las flechas representan algunos procesos del ciclo del agua. La letra A indica		8- ¿A qué factores se debe el movimiento de las aguas subterráneas?		9- Según el principio de conservación de la masa, esta ni se destruye, solo se transforma. Entonces, ¿por qué decimos que tenemos que cuidar el agua?		10- ¿En dónde se almacena la mayoría del agua fresca en la tierra hoy en día?		11- ¿Cuál de los siguientes fenómenos puede ser consecuencia del cambio climático en la naturaleza?				
	Pret	Post	Pret	Post	Pret	Post	Pret	Post	Pret	Post	Pret	Post	Pret	Post	Pret	Post	Pret	Post	Pret	Post	Pret	Post			
Dupla 1	4,5	9	0	0,5	1	0	1	1	1	0	1	0	1	0	1	1	1	0	1	0	1	0,5	0,5		
Dupla 2	7	10	0,5	0,5	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	0,5	0,5		
Dupla 3	6	6,5	0,5	0,5	1	1	0	1	0	1	1	1	0	1	0	1	1	0	1	1	1	0,5	0		
Dupla 4	7	10	0,5	0,5	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	1	1	1	1	1	0	1	0,5	0,5	
Dupla 5	2,5	10	0,5	0,5	1	1	1	1	0	1	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	0,5		
Dupla 6	3,5	8	0,5	0,5	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	0	1	1	1	0	1	0,5	
Dupla 7	3,5	8	0,5	0,5	1	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	0	1	0	0	1	1	1	1	0,5	
Dupla 8	2,5	9	0,5	0,5	1	1	0	1	1	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	0	0	0,5	
Dupla 9	4,5	9	0,5	0,5	1	1	1	1	0	1	0	1	0	1	1	0	0	1	1	1	1	0	1	0,5	
Dupla 10	1,5	8	0,5	0,5	0	1	0	1	0	1	1	1	1	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0,5		
Dupla 11	5	9	0,5	0,5	0	1	1	1	1	1	0	1	1	1	0	1	0	0	1	1	1	0	1	0,5	0,5
Promedio	4,318	8,966	5	5,5	8	10	5	11	5	11	3	11	3	11	2	8	4	8	5	10	3	8	4,5	5	

Nota: Significados de los números: 0 no respondió correctamente, 1 respondió correctamente, hay dos preguntas que tienen un valor de 0,5, lo que significa que, si tiene 0,5, es que la respondió correctamente.

En la **Figura 6**, se muestra un gráfico que permite observar más fácilmente los resultados y cómo estos indican mayor dominio de los conocimientos declarativos en el posttest respecto al pretest. De todas las duplas solo dos parejas alcanzaron en el pretest notas aprobatorias de acuerdo a lo estipulado por el Ministerio de Educación del Ecuador.

Figura 6**Gráfico de columnas con resultados de la parte B del test**

Número de aciertos en el Pret y Postest sobre el ciclo del agua.



Nota: Las columnas azules representan las notas del Pretest y las rojas las notas del postest.

A continuación, discutimos los resultados más significativos a juicio de la investigadora en base sus lecturas sobre el tema.

- **Pregunta 1.** En general, algo positivo identificado en esta fase antes de la intervención, es que casi todos los estudiantes (90.90 %) identificaron al Sol como la fuerza motriz que impulsa el movimiento del agua.
- **Pregunta 2.** En esta pregunta 8/11 (72.72 %) respondieron acertadamente que la transpiración es el proceso que ocurre cuando se introducen las plantas en el terrario.
- **Pregunta 3.** Solamente respondieron de manera adecuada 5/11 parejas (45 %), a pesar de que la respuesta correcta se refería a procesos que se perciben de manera directa en la vida cotidiana: condensación, precipitación, evaporación y transpiración. Menos de la mitad de los estudiantes respondió acertadamente,

lo que puede indicar conocimiento del fenómeno, pero desconocimiento de las reglas de representación.

- **Pregunta 4.** En las respuestas dadas por los estudiantes se deduce que la escorrentía y la infiltración son procesos que al parecer son ajenos a los conocimientos que poseen los estudiantes, pues solo 5/11(45%) acertaron correctamente, posiblemente porque son procesos que generalmente no se observan directamente.
- **Pregunta 5.** A esta pregunta solamente 4/11(36%) respondieron correctamente. Los estudiantes no conocen qué es el nivel freático y menos que este está relacionado con las inundaciones en la ciudad donde residen (en el caso de nuestro estudio, Guayaquil). En épocas de lluvia la ciudad de Guayaquil experimenta constantemente inundaciones.
- **Pregunta 6.** Ante la pregunta ¿por qué la deforestación puede causar un aumento en la escorrentía?, solamente 3/11(27%) responden de manera correcta. Los demás respondieron de manera errada. La explicación posible es porque no establecen relación entre los diferentes componentes del ecosistema, por ejemplo, que los árboles absorben parte del agua de lluvia y así mismo permiten que los procesos de transpiración ocurran. También interceptan el agua proveniente de la lluvia.
- **Pregunta 7.** Con respecto a esta pregunta, solamente una dupla 1/11(9 %) respondió correctamente. Esta pregunta se vincula con las preguntas número 4

y no de alguna manera, sólo que acá tenían que identificar en el esquema del ciclo del agua el proceso que se está mostrando (escorrentía) y rotular el nombre. Si desconocen el concepto no podrán identificar el proceso en el CBGQ, pues no activan ese conocimiento previo.

- **Pregunta 8.** Ante la pregunta ¿A qué factores se debe el movimiento de las aguas subterráneas?, solo cuatro duplas 4/11 (36 %) respondieron que se debía a la porosidad, permeabilidad y filtración. El resto respondió de manera incorrecta.
- **Pregunta 9.** Esta pregunta fue: Según el principio de conservación de la masa, esta ni se crea ni se destruye, solo se transforma. Entonces, ¿por qué decimos que tenemos que cuidar el agua? Sólo 5/11 (45 %) se dieron cuenta que la respuesta no estaba dentro de las opciones.
- **Pregunta 10.** ¿En dónde se almacena la mayoría del agua fresca en la tierra hoy en día? Ante esta pregunta solo tres duplas 3/11 (27 %) respondieron que la mayoría del agua dulce se almacena en los casquetes.
- **Pregunta 11.** ¿Cuál de los siguientes fenómenos puede ser consecuencia del cambio climático en la naturaleza? En lo que respecta a esta pregunta más de la mitad de los estudiantes la respondieron correctamente 7/11 (64%), lo cual puede explicarse por el hecho de que las causas y consecuencias del cambio climático son tópicos que se discuten constantemente en todos los niveles de colegiatura.

En síntesis, los estudiantes recordaban muy pocos aspectos vinculados a los procesos y depósitos que permiten que el ciclo del agua ocurra. Estos resultados coinciden con lo que Ben-Zvi- Assraf y Orion (2005) reportaron: que los estudiantes sólo recuerdan procesos y elementos asociados al movimiento atmosférico del agua. Es decir, hacen referencia al paso del agua almacenado en la superficie de la tierra o los océanos al estado gaseoso y a la condensación, donde una vez que el vapor de agua se encuentra en un ambiente donde disminuye la temperatura, éste se condensa para formar las nubes en la atmósfera y desde allí precipita en forma de lluvia. Esto pone en evidencia la necesidad de generar estrategias instruccionales que permitan que los estudiantes superen la creencia que el movimiento del agua (ciclo del agua) en el ecosistema solo ocurre a nivel atmosférico o “del suelo para arriba”. Por el contrario, el ciclo del agua conecta una serie de procesos que involucran a la atmósfera, hidrósfera, litosfera y biosfera.

Otra de las respuestas que llamó nuestra atención es que los estudiantes no tengan certeza de que el agua se transforma de un estado a otro por un proceso de cambio. Los cambios de estado dependen, entre otras variables, de la temperatura ambiente y la presión atmosférica. Tampoco sabían que el agua que circula en el ecosistema se deposita mayoritariamente como agua dulce o fresca en los polos. Esto se pudo evidenciar en las respuestas dadas a las preguntas 9 y 10. En las respuestas a estas preguntas 8/11 (73%) no se ajustaban a los conceptos asumidos por la ciencia.

Al hacer análisis de los resultados del Posttest, se puede notar que hay un cambio importante en los resultados. Mejoraron casi en 100 %, lo cual se puede explicarse porque en las actividades realizadas, estos contenidos formaban parte del desarrollo teórico y actividades de aplicación incluidas en el cuadernillo de trabajo. Las exposiciones teóricas y experiencias prácticas demostrativas se complementaron con las actividades planteadas dentro del cuadernillo, lo cual permitía recoger el trabajo realizado por los estudiantes y establecer la evolución de sus marcos conceptuales. (Ver figura 6 para contrastar los resultados). A pesar de los resultados satisfactorios, es importante tener en cuenta que los *test tipo selección simple sin explicaciones o argumentaciones* corren el riesgo de dar una visión sobrevalorada del nivel de comprensión de los estudiantes. Es por ello que apoyado en lo que expresan Camacho et al. (2017) se previó diseñar un instrumento de evaluación que dé cuenta de la comprensión de los conceptos y su utilización en diferentes contextos naturales.

De allí que es fundamental el diseño de pruebas con preguntas que permitan que los estudiantes puedan representar todos los componentes dinámicos, espaciales y niveles de representación que subyacen al tópico estudiado, que en este caso es el CBGQ del agua. Dichas pruebas permiten evaluar el nivel de competencia representacional que poseen sobre este importante tema, sobre todo en momentos como los que se vive en Venezuela, Ecuador y en otras latitudes del mundo donde muchas comunidades viven escasez de este vital líquido.

4.2.2 Competencias representacionales determinadas a partir de un dibujo hecho a mano y sin material de ayuda (Parte A del pretest).

Esta parte del instrumento tuvo el propósito de determinar las competencias representacionales de los participantes, concretamente respecto al CBGQ del agua, en diferentes momentos de la realización de este trabajo: previo al inicio del proyecto, durante su transcurso y al finalizar el proyecto. Permitted seguir la evolución de estas competencias. El desarrollo de estas competencias representacionales resulta clave para facilitar el proceso de comprensión, porque el lenguaje de las ciencias se construye con un sistema en el que se combinan REL y REP.

Autores como Offerdahl et al.(2017) indican que las representaciones pictóricas, o cualquier representación externa en general, son medios que enlazan fenómenos observables o no observables con las teorías científicas para proponer una descripción o explicación de los mismos. Promover la lectura, con el propósito de aprender, de estas REP favorece el aprendizaje. En consecuencia, es importante generar competencias representacionales. Muchos llama el desarrollo de estas competencias la alfabetización visual, la que de manera muy general es la capacidad para leer las REP, interpretarlas o construirlas.

De acuerdo a Sheid et al. (2019) una competencia representacional puede ser equivalente a la construcción de REP. De allí que en la **Tabla 9**, se muestra una lista de cotejo y una rúbrica con los niveles de competencia representacional específica para el ciclo del agua. Dichos recursos de medición contienen elementos que, de

acuerdo a diversas referencias bibliográficas (González-García y Fernández-Ferrer, (2010); Santana-Armas; Cabrera y Pérez-Torrado, (2015); Abbot, et al. (2019); Ursavaş y Oğuzhan (2021)), deben encontrarse en una REP del ciclo del agua. Sumado a ello se debe tomar en cuenta que el CBGQ del agua es un tópico que tiene una naturaleza multimodal, es decir, de manera específica permite representar un modelo teórico donde convergen una gama de procesos que ocurren a diferentes niveles. Modelo que un estudiante novato debe conocer y dominar para poder integrar y construir una visión completa del fenómeno o concepto del tópico que se está representado (Kozma y Russell, 2005; Schönborn y Anderson, 2010; Lombardi, 2021).

Tabla 10

Descripción del nivel de competencia antes de la intervención.

Objetivo 1			Cod	D 1	D 2	D 3	D 4	D 5	D 6	D 7	D 8	D 9	D 10	D 11	
Componentes	Sub-Component	Indicadores		REPi											
Símbolos	Flechas	Dirección del proceso.	1	1	1	1	0	1	1	0	1	1	1	1	
		Magnitud de los procesos	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
		Sentido de ciclo global	3	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	1	
	Impulsor del Agua	Sol	4	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	0	
		H2O/gota modelo	5	0	0	0	1	1	0	1	1	0	1	1	
Nivel submicroscópico	Representar a nivel molecular	Agua en estado gaseoso	6	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	
		Agua en estado líquido	7	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	
		Agua en estado sólido	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Nivel Microscópico: procesos que el estudiante no ve a simple vista.		Estomas en las plantas /Poros	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
		Porosidad del suelo	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
		Aguas subterráneas	Acuíferos	11	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0
			percolación	12	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
		Infiltración	13	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1	0	1
Componentes espaciales del agua (diferentes depósitos en las que se encuentran el agua en la naturaleza):	La atmósfera:	Vapor de agua: neblina /	14	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	
		Agua en las nubes	15	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	0	
	Hidrosfera:	Aguas superficiales	16	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	
		Glaciares/nieve	17	1	1	1	0	0	0	1	1	1	0	0	
	Litosfera	Mares / océanos	18	1	1	0	0	1	0	0	1	1	1	0	
		Rocas/ montañas/suelo	19	0	0	0	0	1	1	0	1	0	1	1	
		Plantas/algas	20	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	
		Animales/hombre/ otro	21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Componentes dinámicos (Procesos que permiten el flujo de agua en la naturaleza)	Procesos que generan cambios de un depósito a otro.	Evaporación	22	1	1	1	0	1	1	0	1	1	0	1	
		Transpiración/evapotran.	23	1	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	
		Condensación	24	1	1	1	0	1	0	0	1	1	1	1	
		Precipitación	25	1	1	0	0	1	1	0	1	1	1	1	
		Sublimación	26	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
		Deshielo - Fusión	27	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
		Circulación Sup en general	28	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
		Escorrentia	29	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0
Intervención del hombre	Consumo humano del agua	uso doméstico/pozos	30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
		Uso agrícola /industrial	31	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
		Contaminaci aguas residuales	32	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
		Deforestación	33	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Fenómeno natural /consumo humano: Cambio climático			34	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
Sumatoria de indicadores				9	9	7	2	13	6	7	14	14	10	8	
Nivel de competencia				2	2	1	2	2	1	1	2	2	2	2	
				D 1	D 2	D 3	D 4	D 5	D 6	D 7	D 8	D 9	D 10	D 11	

Nota: REPi (significa Representación pictórica inicial), D (dupla), el número 1, indica que en el dibujo se encuentra el elemento, 0 significa ausencia. La sumatoria de indicadores, toma en cuenta el número de elementos presentes dentro de cada dibujo.

En la **Tabla 10** se muestran los resultados globales de las 11 duplas con respecto al nivel inicial de competencia representacional establecida a partir de un

dibujo a mano alzada que fue analizada con la lista de componentes e indicadores diseñada de acuerdo a la literatura especializada y catalogada con la rúbrica mostrada en la **tabla 7** descrita en el marco metodológico. Es importante recordar que, para la clasificación del nivel de competencia, se combinó la información de la lista de componentes y la rúbrica adaptada de Kozma y Russell, (2005).

A partir de los resultados presentados en la tabla 10, se puede decir:

- 1) **Nivel 0.** Ninguna dupla se ubicó en el **Nivel 0**, es decir, ninguna dupla (**0%**) se quedó sin dibujar algo que evoque al ciclo del agua.
- 2) **Nivel 1 (Inapropiado).** Este nivel indica que la representación omite la mayoría de los elementos constitutivos de la REP. Es decir de los 34 componentes globales que debería contener un ciclo del agua a nivel de secundaria los dibujos solo incluyen entre 1-7. Solo 3 duplas, es decir, el **27.27%** de los grupos (3/11) se encuentra en este nivel, lo que significa que la representación que realizaron apenas contiene elementos como el sol, pocas flechas, la evaporación, la precipitación y el océano. La mayoría de los elementos dibujados no tienen etiquetas para indicar los nombres de los procesos y/o componentes. Ejemplos de los dibujos construidos por los estudiantes ubicados en el nivel de competencia representacional inapropiado (nivel 1) se pueden apreciar en los casos de las duplas 3 y 6, que se muestran a continuación en la figura 7.A y 7.B

Figura 7.A

Dibujo clasificado con nivel de competencia 1: inapropiado (dupla 3)

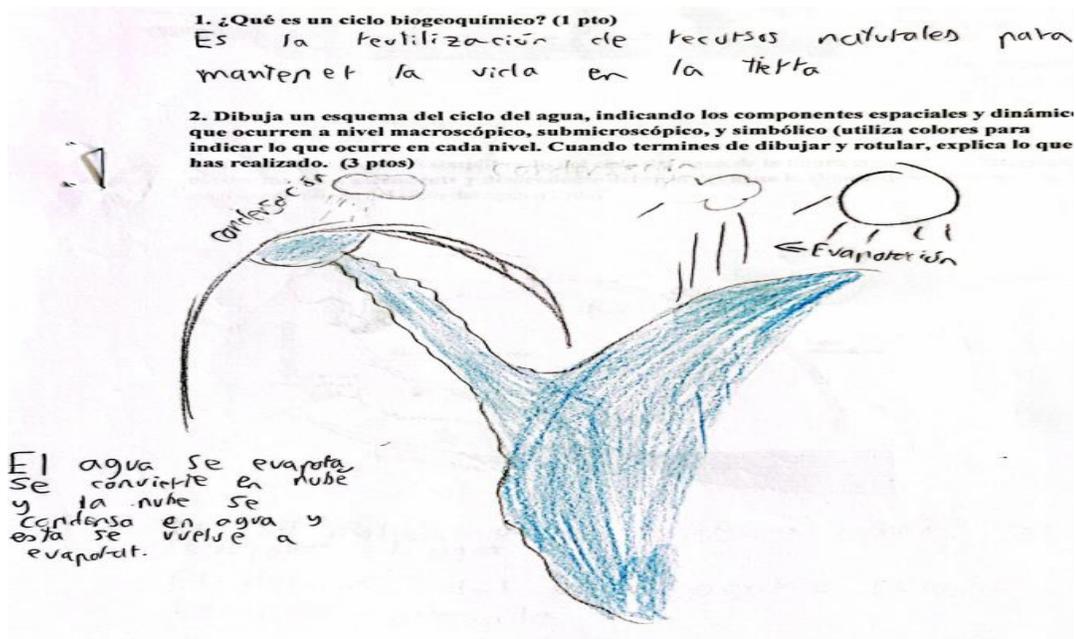
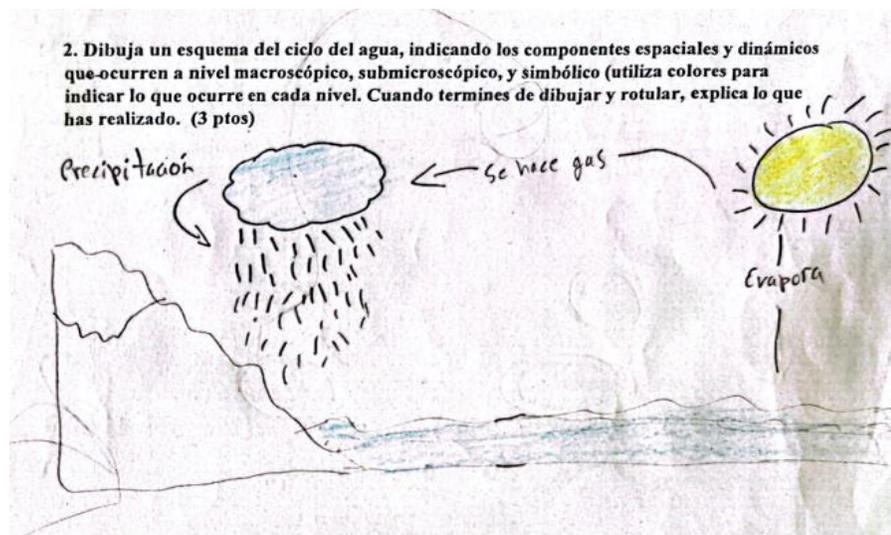


Figura 7. B

Dibujo clasificado con nivel de competencia 1: inapropiado (dupla 6)

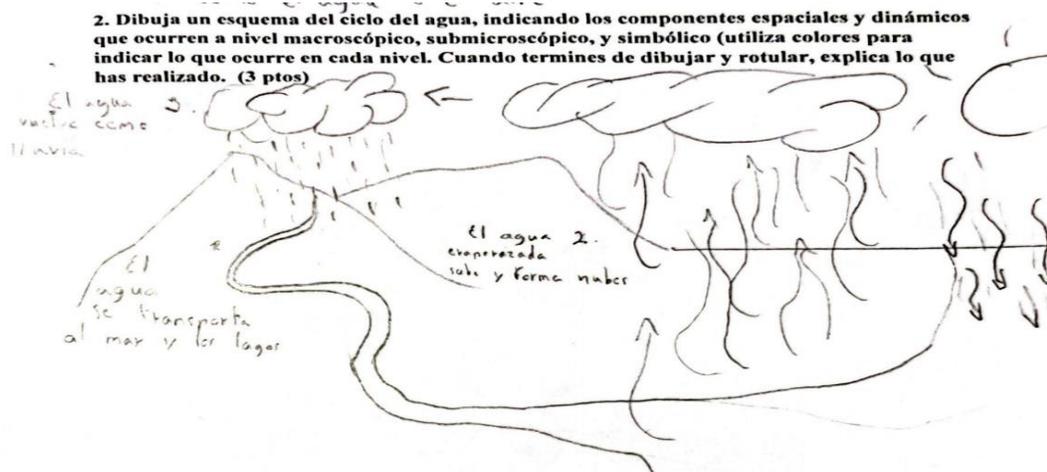


Como se puede apreciar, en estos tipos de dibujos, las REP se construyen con pocos elementos básicos de los categorizados en la tabla 10. Se observa el sol, lo cual es una evidencia que concuerda con lo encontrado en la **Parte B** del pretest, donde la mayoría de los estudiantes reconocen al sol como fuerza motriz del ciclo del agua. Se aprecia un cuerpo de agua, lo cual es evidente, porque se está hablando del ciclo del agua. Se dibuja de cierta manera el proceso de la evaporación del agua almacenada en el cuerpo de agua y pareciera que el movimiento del agua proviene del sol, por la ubicación de la flecha, la cual además indica que el vapor de agua se almacena en las nubes, y se dibuja la precipitación. Y se coloca una montaña. (Es importante recordarles a los estudiantes que las nubes también pueden contener gotas de agua o pequeños cristales de hielo)

Nivel 2. Se puede contabilizar que 8/11 (**72,27%**) de las duplas dibujaron una representación clasificada en el **Nivel 2**, nivel catalogado como insuficiente. *Este nivel combina de 8-14 elementos de los diferentes componentes. En este caso el nivel molecular y celular son escasamente considerados, y la intervención humana no está presente.* A continuación, se muestran ejemplos del **Nivel 2. Figuras 8 y 9**

Figura 8

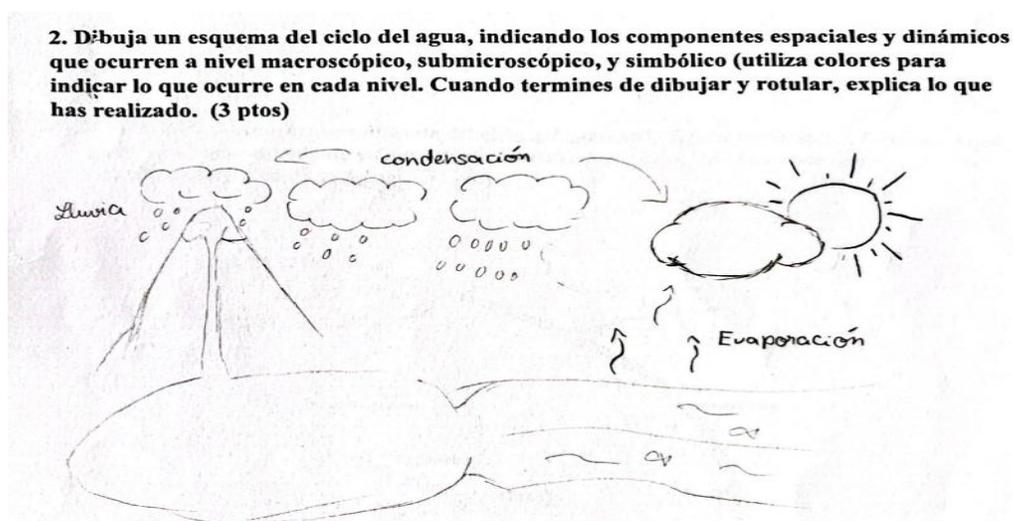
Dibujo clasificado con nivel de competencia 2: insuficiente (dupla 1)



El **nivel 2** (insuficiente), combina de 8-14 elementos de los diferentes componentes. En este caso el nivel molecular y celular son escasamente considerados, y la intervención humana no está presente.

Figura 9

Dibujo clasificado con nivel de competencia 2: insuficiente (dupla 2)

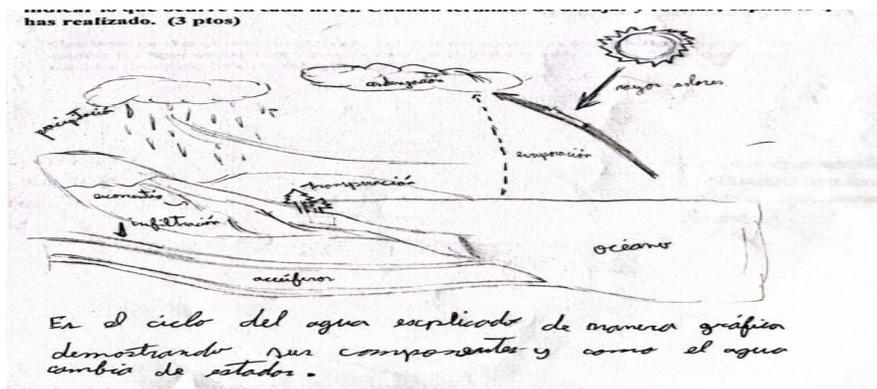


Al analizar ambos dibujos procedentes se puede apreciar que hay muchos rasgos en común, de allí que se ubiquen dentro del mismo nivel. En ambos casos, se aprecia el Sol como agente motriz del ciclo del agua. Se aprecian algunos elementos representados en el nivel macroscópico, como la precipitación o la evaporación (aunque no los está representando en función de la separación entre las partículas y las gotas de agua caen al nivel macroscópico). Se observan montañas y cuerpos de agua y dentro de un cuerpo de agua, dibujos que hacen referencia a peces (en el caso de la fig. 9). Incluyen algunas flechas que indican el movimiento de las masas de agua. Además, ambos dibujos denotan más orden que de manera indirecta dan sentido de ciclo al dibujo realizado.

Dentro de los dibujos clasificados con nivel de competencia de 2, hay unos que están muy cerca del **Nivel 3**, pero no presentan el mínimo necesario para clasificarlos a este nivel. Sin embargo, es pertinente señalar dichos casos (duplas 5,8 y 9), y, a continuación, se muestra un ejemplo de ello.

Figura 10

Dibujo clasificado con nivel de competencia 2: insuficiente (dupla 9)



Si se observa nuevamente la tabla 10 y la figura 10, este contempla 14 componentes constitutivos del ciclo. Se observan procesos como la evaporación, la condensación, la precipitación, se presentan muy pocas flechas y gotas de agua para representar la precipitación, y se dibuja una planta para hacer referencia a la transpiración. Presenta un cuerpo de agua rotulado como océano. Dibuja procesos como la escorrentía, la infiltración, que son procesos poco comunes en los dibujos presentados. Es un dibujo que a grandes rasgos coincide con los dibujos típicos de la literatura escolar.

La información presentada hasta ahora muestra el nivel inicial de competencias representacionales que poseían los estudiantes antes de realizar la instrucción.

Estos resultados coinciden con lo reportado por Santana- Armas et al. (2015); Abbot, et al. (2019); Ursavaş y Oğuzhan (2021). En estos trabajos se reporta que los dibujos que realizan los estudiantes (independiente de si son estudiantes de primaria o secundaria) para representar el ciclo del agua se centran en componentes que pueden percibir de manera directa, es decir, en lo que es posible percibir a través de los sentidos (nivel macroscópico). No consideran, para construir la representación, que durante todo el ciclo del agua ocurren diversos procesos, algunos de los cuales no se perciben directamente a través de la vista. Es decir, hay procesos que ocurren en los niveles: microscópico y submicroscópico (molecular), y además el ciclo del agua es moldeado por la influencia humana.

En resumen, en esta parte de la investigación se encontró que:

- Ninguna de las REP dibujadas muestran flechas que indiquen magnitud de los procesos o sentido de ciclo, solo dirección. Al respecto, se puede ver que las flechas dibujadas se emplean para designar nombres de procesos o para mostrar la dirección del cambio o movimiento del agua. Esto nos indica que los estudiantes tienen cierta noción de que las flechas son elementos constitutivos del modelo usado para representar al ciclo, aunque no usen las reglas para indicar dirección o magnitud. Márquez y Bach (2007) afirman que las flechas son un símbolo muy empleado que se utiliza para representar los cambios de estado y los nombres de los procesos, y también pueden representar la magnitud de dichos procesos, ya que estos procesos pueden ocurrir en diferentes proporciones dependiendo del ambiente donde se llevan a cabo. Estos resultados revelan la importancia de enseñar los diferentes sistemas de símbolos utilizados para representar el ciclo del agua, porque como se explicó anteriormente, las flechas son símbolos y su uso en el caso del ciclo del agua sigue reglas particulares. Estas reglas de representación deben ser utilizadas para construir la REP del ciclo del agua y conocerlas favorece la comprensión y el aprendizaje a partir de la lectura. Como indica Mayer (2005) en el principio de entrenamiento previo, reconocer el signo favorece poder atribuir un significado de manera automática, facilita utilizar la limitada capacidad de la memoria de corto plazo no en decodificar el signo sino en construir el

significado, es decir, en la interpretación de lo que la REP contiene.

- En este mismo orden de ideas, sólo dos de los dibujos realizados por los estudiantes (duplas 8 y 9) reflejan algunos elementos que dan cuenta de los depósitos subterráneos o de la dinámica asociada al movimiento subterráneo del agua. Los trabajos de Márquez y Bach (2007) y Santa-Arma et al. (2015) revelan que los estudiantes de primaria y secundaria respectivamente no presentan en sus dibujos dichos elementos e incluso algunos indican que no saben cómo el agua se deposita en los acuíferos. Esto, entre otras cosas, es producto de que muchos modelos pedagógicos asumidos en los libros de texto no describen este proceso.
- Sólo en uno de los dibujos presentados (dupla 5), se puede apreciar la presencia de elementos que hacen alusión a los cambios de estado que el agua experimenta en su tránsito por la naturaleza, es decir, los cambios que se producen producto de las distancias intermoleculares entre las moléculas en los diferentes estados, cambios que se producen a consecuencia de un aumento o disminución de la temperatura ambiente y de la presión atmosférica. Es decir, intentar explicar el fenómeno a partir de la representación submicroscópica de la distancia entre las moléculas del agua. Esto nos indica que la configuración (entre moléculas) en estado sólido, líquido y gaseoso antes de la instrucción está prácticamente ausente.
- Los procesos que ocurren a nivel celular como la transpiración o la percolación

que, aunque de manera estricta no ocurren a nivel celular, sin embargo, ocurren en un nivel que un estudiante no puede observar directamente. Al respecto, Márquez y Bach (2007), señalan que, para poder observar estos procesos, se requeriría de un instrumento para visualizarlos. En general los estudiantes no representan estos procesos en estos dibujos iniciales. No hay referencia a las plantas (hojas) o algún signo que muestre las estomas, y tampoco se aprecia alguna zona del dibujo que haga referencia a la porosidad del suelo. A pesar de que no era la primera vez que el grupo que sirvió como muestra estudiaba el ciclo del agua, aunque, de acuerdo a la malla curricular almacenada en el área de ciencias naturales, vieron los ciclos biogeoquímicos en 7^{mo} grado (es decir, cuatro años antes de entrar a primer año), en general los estudiantes no recordaron estos procesos. González-García y Fernández-Ferrer (2010) reportan que uno de los grandes problemas para comprender los procesos subterráneos se vincula a que, de manera directa en los libros de textos y en general en las representaciones del CBGQ del agua, estos procesos no son tratados de manera directa cómo se tratan los cambios de estados. Esto concuerda con lo que señalan Santa-Arma et al. (2015) sobre el desconocimiento de cómo el agua se filtra en el suelo y como fluye internamente para que los humanos podamos tener agua disponible para el consumo humano.

- Otro aspecto relevante de los resultados encontrados se relaciona con el hecho

de que los estudiantes prácticamente no representaron a la actividad humana de manera directa o indirecta (a partir de las acciones que realizan las personas), y no se encontró nada que permita aseverar que los estudiantes se reconozcan como agentes modeladores del ciclo. Tampoco representaron otros seres vivos diferentes de las plantas en sus dibujos. Solo una dupla, el número 2, dibujó sin rotular peces en el cuerpo de agua presentado en su REP inicial.

- En síntesis, los resultados mostrados hasta ahora sirven de evidencia para sustentar la tesis de que los dibujos son una poderosa herramienta para revelar lo que un estudiante conoce sobre un tema determinado. La construcción de una representación externa permite establecer una relación dialéctica con las representaciones internas del que la construye. En esa interacción el autor representa su conocimiento (Martí, 2017). De allí que se concluye que el dibujo realizado por un estudiante (sin ningún tipo de material de ayuda) sirve como un medio para identificar el nivel de comprensión que posee sobre dicho tópico. Posteriormente se retomará la discusión de los resultados encontrados en este apartado para contrastarlos con los encontrados en el dibujo medio y el dibujo final.

4.2.3 Otras competencias representacionales evaluadas en la Parte A del test.

Dentro del test (pre y post) se evaluaron diferentes habilidades contempladas en la **Tabla 6** del marco metodológico (p. 60). Estas habilidades se determinaron a partir

de algunas tareas propuestas en la **Parte A** del test, las cuales se refieren a acciones que deben realizar los estudiantes cuando se enfrenten a lectura de una REP de los CBGQ.

Una de las premisas con las que se inició esta investigación es el carácter híbrido de la construcción del lenguaje de la ciencia. La naturaleza representacional del lenguaje científico (REP más REL) exige que tanto los docentes como los estudiantes desarrollen competencias para decodificar los diferentes sistemas de signos utilizados para construir el lenguaje. Si estas competencias no se desarrollan, se dificulta acceder a la información conceptual que la representación presenta. Autores como Schönborn y Anderson (2010) y Arneson y Offerdahl (2018) señalan que un docente debe promover el desarrollo de habilidades representacionales necesarias en la alfabetización visual. Es decir, debe realizar actividades que favorezcan el desarrollo de competencias representacionales que se puedan utilizar para leer, construir u operar con una REP con el propósito de aprender, argumentar, explicar o enseñar.

En la **Tabla 11**, se muestran los resultados de algunas de estas habilidades representacionales inherentes al CBGQ del agua. Para comprender esta tabla, es necesario describir la **columna de competencias representacionales o habilidades de visualización**. Fue construida a partir de lo que, a juicio de Schönborn y Anderson (2010), un estudiante novel debería manejar para aproximarse a la manera cómo trabajan los científicos. Es decir, los estudiantes deberían desarrollar habilidades como

las que se muestran en dicha tabla. Es importante aclarar que lo que se concreta en la tabla representa una síntesis realizada a partir de un proceso de reflexión efectuada por la autora de esta investigación. La columna, **Test Parte A (tarea a realizar)**, refiere a las preguntas que se encuentran dentro del test y que los estudiantes resolvieron antes y después de la instrucción. Decodificar, codificar, moverse horizontalmente de una REP a otra para presentar de diferentes maneras un mismo proceso, y moverse verticalmente para representar un proceso de un nivel a otro. Estas son sólo algunas de las habilidades que un estudiante debe desarrollar para aproximarse al trabajo que realiza un científico cuando construye o comunica sus conocimientos.

El análisis de estos resultados se basa en conocer la frecuencia de cada habilidad obtenida antes y después de realizar la intervención pedagógica dirigida a desarrollar competencias inherentes al ciclo del agua.

Tabla 11

Resumen de los resultados encontrados en las habilidades representacionales dispuestas en la Parte A del test.

Competencias representacionales	Test parte A (Tarea a realizar)	Dupla 1		Dupla 2		Dupla 3		Dupla 4		Dupla 5		Dupla 6		Dupla 7		Dupla 8		Dupla 9		Dupla 10		Dupla 11		Frecuencia	
		Pre	Post	Pre	Post	Pre	Post	Pre	Post																
Decodificar el lenguaje simbólico que compone a la REP + Explicitar reglas de Representación.	· Indica correctamente que representan las flechas mostradas en la figura.	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	0	0	1	1	1	0	1	1	1	0	1	6	9
	¿Explica por qué varía el tamaño de las flechas?	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	1	0	1	1	1	0	1	1	1	1	0	6	10
Interpreta la información de una REP	4.a. Interpreta qué motiva las fases ascendente del ciclo	1	1	1	1	0	1	1	1	0	1	0	1	0	1	1	0	0	1	1	1	0	1	5	9
	4.a. Interpreta qué motiva las fases descendentes	0	1	1	1	0	1	0	1	0	1	0	0	1	1	1	1	0	0	1	1	0	0	4	8
Traducir verticalmente a través de múltiples REP de un concepto.	4.b. Dibuja, donde corresponda, los cambios de estado del ciclo del agua.	0	1	0	1	0	1	1	1	0	0	0	1	0	1	0	1	0	0	0	1	0	1	1	9
Traducir horizontalmente una representación en otra.	5 b. Dibuja lo que ocurre a nivel celular...	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	6
	5 b. Dibuja lo que ocurre a nivel molecular dentro del...	0	1	0	1	1	1	0	1	0	1	0	1	1	1	0	1	1	0	0	1	0	1	3	10
Evaluar las fortalezas y las limitaciones de una REP.	6. De acuerdo con tus conocimientos sobre el ciclo del agua, qué figura es la más idónea para representar tal ciclo en la actualidad. Justifica su respuesta	1	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	1	0	1	1	0	0	1	1	0	1	2	7	
Alcanza (1) o no alcanza (0)/ sumatoria por dupla		4	8	4	8	3	8	4	7	0	6	0	5	2	8	4	6	1	3	5	7	1	5		

Nota: En todos los casos los estudiantes incrementaron sus habilidades representacionales, de la misma manera la frecuencia de habilidades evaluadas mediante el Postest.

Como se observa en la **Tabla 11**, antes de la intervención:

- **6/11 (55%)** conocían que las flechas dentro del ciclo del agua se utilizan para representar los flujos y que el tamaño de las mismas se relaciona con la magnitud. Esta habilidad se vincula con el conocimiento de las **reglas de representación**. Al menos de manera intuitiva, los estudiantes conocían parte de la simbología utilizada para representar el movimiento del agua. Este número se incrementó a **9/11 (82 %)** luego de la intervención (ver **Figura 11**). Es importante hacer notar que, aunque los estudiantes conocen que las flechas son símbolos que se utilizan para representar el flujo de agua, sin embargo, en ninguna de las tareas realizadas las emplearon para establecer la magnitud. Esto permite inferir que este es uno de los retos a superar en esta línea de investigación. El reto es tratar de plantear más actividades que permitan comprender que los procesos que tienen lugar en el ciclo del agua ocurren en diferentes escalas de tiempo y magnitudes. En este nivel el lector podría preguntarse -Si antes de la instrucción el 55 % de los estudiantes conocía que las flechas y la variación de tamaño representan magnitudes, ¿por qué en el dibujo a mano alzada inicial o final no se muestra este aspecto? La posible respuesta radica en que la REP utilizada en esta actividad presenta pistas que le permiten deducirlo o utilizar la información.

Figura 11

Habilidades a desarrollar: *Descodificar el lenguaje simbólico / Traducir verticalmente a través de múltiples REP un concepto.*

- Nota. Cada color se refiere a la habilidad que están desarrollando al realizar la tarea.

3. A partir de la información presentada en la figura mostrada a continuación (1pto)



A) Indica que representan las flechas mostradas en la figura.
Indican flujos:
- físico del agua
- Agua mediada por las plantas
- Incertidumbre asociada a los flujos

B) ¿Explica por qué varía el tamaño de las flechas?
Por el nivel de intensidad del flujo y evaporación por acción del agua.

3. A partir de la información presentada en la figura mostrada a continuación (1pto)

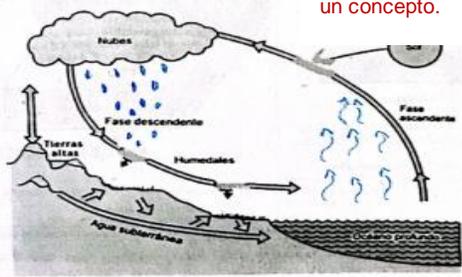


A) Indica que representan las flechas mostradas en la figura.
Representan los flujos del agua y procesos que la mueven a través de la atmósfera, superficie terrestre y subsuelo.

B) ¿Explica por qué varía el tamaño de las flechas?
El tamaño de las flechas varía por la magnitud de los procesos que son impulsados por la energía solar, intervención humana y la gravedad.

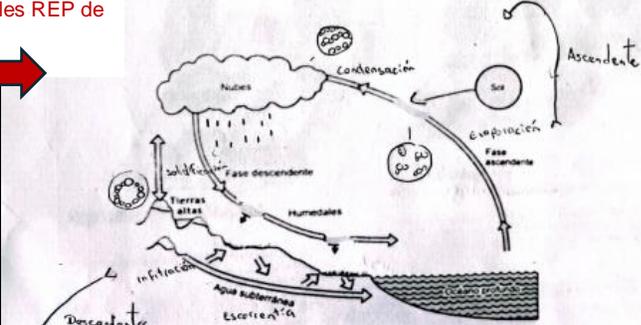
Decodificar el lenguaje simbólico que compone a la REP + Explicitar reglas de Representación.

4. Con base en el esquema simplificado del ciclo del agua de la figura siguiente: a. Interpreta qué motiva las fases ascendente y descendente del ciclo del agua b. Dibuja, donde corresponda, los cambios de estado del ciclo del agua. (1 pto)



a. El calor del sol que evapora el agua (fase ascendente) y la fase descendente se produce por la condensación del agua (formación de nubes) que resulta en la lluvia.

4. Con base en el esquema simplificado del ciclo del agua de la figura siguiente: a. Interpreta qué motiva las fases ascendente y descendente del ciclo del agua b. Dibuja, donde corresponda, los cambios de estado del ciclo del agua. (1 pto) La energía solar...



Traducir verticalmente a través de múltiples REP de un concepto.

En la **Figura 11**, se observa que el ítem vinculado a dibujar los cambios de estado del agua dentro una REP que enfatiza los movimientos ascendentes y descendentes del ciclo del agua, sólo **1/11 (9 %)** de los estudiantes respondió correctamente en la tarea señalada. Esta habilidad mejoró luego de la instrucción, ya que **9/11 (82%)** duplas al final del proceso respondieron correctamente la pregunta. Este ítem buscaba medir la capacidad de los estudiantes de pasar de una representación a otra, es decir, acá los estudiantes necesitaban moverse verticalmente de un nivel de representación a otro, del nivel macro al nivel molecular o submicroscópico.

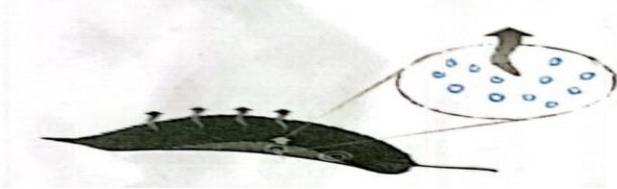
En el ítem referido a dibujar el proceso que allí ocurre en la sección ampliada de una hoja (**ver Figura 12**), sólo **1/11 (9 %)** de los estudiantes respondió acertadamente en el pre test, lo cual podría indicar que no tenían noción que las plantas transpiran al igual que los mamíferos. Aunque ven un tema referido a tejidos vegetales en educación básica, los estudiantes no asocian este hecho con el importante papel que juegan las plantas en el equilibrio dinámico del agua en la naturaleza.

En esta tarea la habilidad de moverse horizontalmente/verticalmente de una REP macroscópica a una REP microscópica (nivel celular) mejoró en el Postest, ya que **9/11 (82%)** pares de individuos respondieron acertadamente. Este hecho se puede atribuir a que se trabajó con tareas parecidas a las presentadas en el cuadernillo y, además, el facilitar un dibujo de la hoja como un elemento estructural de las plantas activó el conocimiento previo sobre este tópico, lo cual sirvió de andamiaje. Este tipo de dibujo no se le suministró a la hora de hacer el dibujo final. Este tipo de ayuda presentado en

la actividad cumple con el principio de segmentación de la teoría de aprendizaje multimedia de Mayer (2005). También cumple con el principio de señalamiento y preentrenamiento, dado que la tarea planteada se divide en partes y se ofrecen pistas para guiar su ejecución.

Figura 12

Traducir vertical/horizontalmente una REPen otra, pasar de un nivel a otro (Dupla 2)

<p>Pre test</p>	<p>5. Observa la siguiente imagen:</p> <p>a. Coloca el nombre a nivel macroscópico del proceso señalado : Evapotranspiración de las plantas</p> <p>b. Dibuja lo que ocurre a nivel celular y molecular dentro del siguiente círculo (1pto)</p>  <p>Traducir horizontal y verticalmente a través de múltiples REP de un concepto</p>
<p>Postest</p>	<p>5. Observa la siguiente imagen:</p> <p>a. Coloca el nombre a nivel macroscópico del proceso señalado Transpiración</p> <p>b. Dibuja lo que ocurre a nivel celular y molecular dentro del siguiente círculo (1pto)</p> 
<p>Nota: Se muestra el pretest y postest de la misma dupla. El progreso de esta dupla de estudiantes es evidente, dibujan las estomas (proceso que ocurre a nivel celular), la liberación de O₂ y H₂O, así como la entrada del CO₂. Este tipo de actividades donde se le dan pistas (Principio de señalamiento) a los estudiantes, promueven más efectivamente la construcción de habilidades representacionales.</p>	

En la tarea que les pedía a los estudiantes *evaluar* cuál REP sobre el CBGQ del agua era mejor para representar dicho ciclo (**ver Fig. 13**), está implícita la habilidad de

pensamiento crítico, pensamiento sistémico. En el pre test 2/11 (18 %) respondieron correctamente, mientras que, en el Postest, 7/11 (64%) acertaron y justificaron su respuesta. Esto habla de que el trabajo guiado a partir del cuadernillo mejoró dicha habilidad. Sin embargo, este tipo de tarea, pedir que evalúen la calidad de una REP, tiene un valor elevado de trabajo cognitivo y debe trabajarse con mayor profundidad.

Figura 13

Evaluar la eficacia de una representación. (Dupla 2).

<p>Respuesta:</p> <p>a) Ciclo hidrológico</p> <p>b) Ciclo hidrológico</p> <p>c) Ciclo hidrológico</p> <p>d) Ciclo hidrológico</p>	<p>Respuesta:</p> <p>a) Ciclo hidrológico</p> <p>b) Ciclo hidrológico</p> <p>c) Ciclo hidrológico</p> <p>d) Ciclo hidrológico</p> <p>Porque muestra como los diferentes procesos del agua son afectados y tienen intervención humana y natural, como sucede en la actualidad. Asimismo, los procesos del agua son: precipitación, evaporación, flujo, escorrentía, evaporotranspiración, condensación, distribución, resaca, descarga, uso industrial, doméstico y municipal.</p>
<p>Nota. La tarea se refiere a evaluar qué figura es la más idónea para representar tal ciclo en la actualidad. Pre test (Lado Izquierdo, eligen la opción incorrecta y no justifican) Post test (lado derecho) eligen la opción correcta y justifican porque es la mejor opción, basados en la diversidad de procesos y depósitos involucrados y que además toma en cuenta la intervención humana de diversas maneras.</p>	

De acuerdo a lo planteado por Arneson y Offerdahl (2018), este tipo de tareas

implica un nivel de análisis alto, sobre todo porque al juzgar una REP los estudiantes deben dar argumentos del por qué su selección es más eficaz para aprender un concepto, en este caso particular, la diversidad de procesos que subyacen al CBGQ del agua.

Realizar este tipo de actividades que van desde memorizar o identificar hasta inferir o analizar, permite hacer un andamiaje representacional para llevar a cabo cualquier tipo de actividad donde se busque que los estudiantes aprendan un tópico de carácter multirepresentacional. No es una actividad natural que un estudiante opere de manera aproximada a un experto en tópicos científicos como el concerniente al ciclo del agua. Para lograrlo se requiere un andamiaje explícito que permita hacer consciente todas estas habilidades que se acaban de discutir.

Para lograr que los estudiantes alcancen el dominio esperado, es necesario que los docentes discernan qué tipo de actividad es el que mejor se adapta al objetivo de aprendizaje y al nivel de dominio (conocimiento previo) que posee el estudiante. Esto requiere una práctica deliberada y explícita y asignarle un valor dentro de las evaluaciones sumativas debe considerarse.

En resumen, estos resultados permiten decir que las habilidades representacionales se deben trabajar progresivamente, tal cual como lo establece la taxonomía de Bloom utilizada en el trabajo de Arneson y Offerdahl (2018), y dependiendo de la tarea pueden combinarse varias habilidades, hecho que en la realidad del quehacer científico ocurre cotidianamente.

A continuación, se presenta una de las tareas evaluadas en esta misma parte del

test, cuya resolución requería el trabajo conjunto de diferentes habilidades representacionales como las descritas anteriormente.

La tarea que se describe a continuación se dejó especialmente para el final del análisis, porque permite evaluar el desarrollo de otra habilidad de visualización de orden superior, conocida como implementación/aplicación. Esta habilidad es importante porque los estudiantes deben *comprender conceptualmente* cómo las actividades humanas pueden alterar procesos fundamentales del CBGQ del agua como la transpiración y la escorrentía, y al mismo tiempo deben *implementar* la contraparte, que sería la reforestación para restaurar las condiciones naturales del ciclo. Es decir, acá deben **modificar una REP** para **responder una situación problemática**. Para lograrlo, no sólo tienen que **predecir** lo que puede suceder al ciclo al modificar una variable, sino que también deben **traducir una información en un tipo de REP** a una REL (representación lingüística) y al mismo tiempo usarla para explicar un evento. En la siguiente **tabla (12)** se muestran los resultados que se obtuvieron en dicha habilidad.

La información presentada en dicha tabla se construyó haciendo uso de la publicación de Arneson y Offerdahl (2018). Los indicadores utilizados en cada caso tratan de recoger los elementos requeridos para conocer si efectivamente los estudiantes fueron competentes en esas habilidades.

Tabla 12

Habilidad: aplicación/implementación, implica comprender conceptualmente un proceso, y modificar una REP

Competencias representacionales	Test parte A (Tareas a realizar)	Dupla 1		Dupla 2		Dupla 3		Dupla 4		Dupla 5		Dupla 6		Dupla 7		Dupla 8		Dupla 9		Dupla 10		Dupla 11		Frecuencia	
		Pre	Post	Pre	Post	Pre	Post	Pre	Post																
Modificar correctamente una REP para responder una situación problemática	Dibuja arboles de manera correcta a los largo del ecosistema	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	0	0	1	1	1	0	9
	Nombre la evapotranspiración	0	1	1	1	0	1	0	1	0	0	0	1	0	1	0	1	0	0	0	1	1	1	1	8
	Dibujas las flechas en la proporción correcta	0	1	0	1	0	1	0	1	0	0	0	1	0	1	0	1	0	1	0	0	0	1	0	8
	Nombra los procesos de las flechas	0	1	0	1	0	1	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	7
Interpreta la información presente en la REP modifica para explicar el objetivo de reforestación.	Utiliza los terminos Escorrentia/ flujo superficial	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	0	0	0	1	1	10	
	Coloca un título vinculado a lo que se busca representar.	0	1	0	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	
	Explica que un aumento de la evapotranspiración y un incremento de la infiltración / o disminución de la escorrentia puede disminuir las inundaciones	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	5
Alcanza (1) o no alcanza (0) sumatoria por dupla		0	7	1	6	0	7	0	6	0	3	0	5	0	5	0	6	0	3	0	3	2	4	3	47

Nota: Categorías construidas a partir de información extraída de Arneson y Offerdahl (2018, p. 3)

Las REPs (**Fig. 14 a y Fig. 14.b**) muestran el trabajo realizado por la **dupla 2**, para ejemplificar lo recogido en la **tabla 12**.

Figura 14 A - B

Habilidad representacional: implementación de un diseño para la mejora de la infiltración y evapotranspiración. (**Pretest (A)** y **Postest (B)** dupla 2)

5. En el esquema que se muestra a continuación, la Figura A representa el impacto de la urbanización en algunos procesos asociados al ciclo del agua. (2 pts)

Pretest

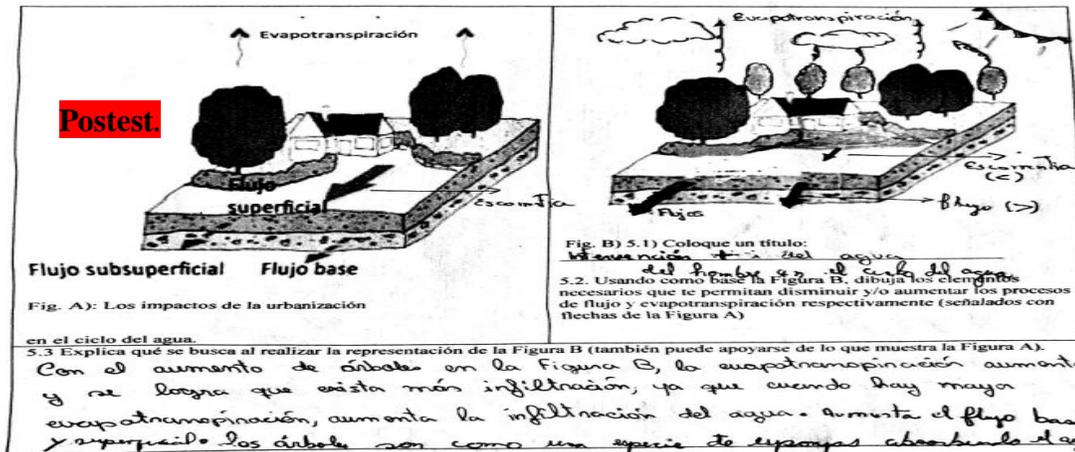
Fig. A): Los impactos de la urbanización en el ciclo del agua.

Fig. B) 5.1) Coloque un título: Ciclo del agua en la zona urbana

5.2. Usando como base la Figura B, dibuja los elementos necesarios que te permitan disminuir y/o aumentar los procesos de flujo y evapotranspiración respectivamente (señalados con flechas de la Figura A)

5.3 Explica qué se busca al realizar la representación de la Figura B (también puede apoyarse de lo que muestra la Figura A).

El papel de las urbes y del ser humano en la intervención del proceso del agua.



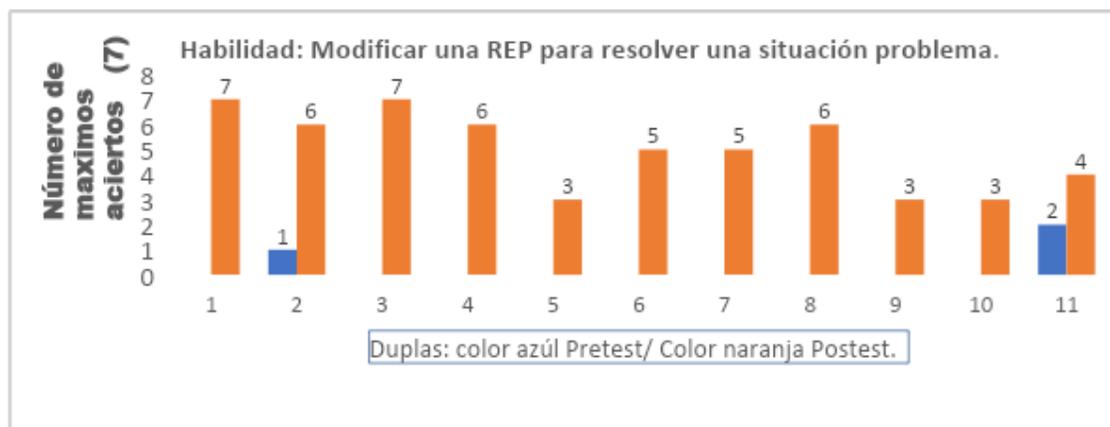
Como se observa en estas figuras, **antes** de la intervención pedagógica el porcentaje de indicadores (0/7) fue aproximadamente **0%**. Esto significa que los estudiantes no pudieron realizar ninguna de las tareas planteadas. Luego del trabajo explícito con el cuadernillo, todas las duplas registraron mejoras en el número de indicadores realizados correctamente. Pasaron de (0/7) indicadores (**0%**) a (6/7) o (**86%**) de efectividad en el postest.

En la **Figura 14**, realizada por la dupla 2, se puede observar una mejora sustancial en la habilidad que implica comprender y aplicar conceptos. En este caso, los estudiantes debían modificar una REP y explicar la razón de la modificación. En esta tarea, tenían que ver la Fig. A (lado izquierdo), y en la fig. B (lado derecho) hacer lo necesario para que la evapotranspiración incremente, la escorrentía disminuya y la infiltración aumente. Sin embargo, no todos los estudiantes lograron hacerlo.

En el gráfico de la **figura 15**, se presentan los resultados en el Pre y Postest.

Figura 15

Habilidad representacional: implementación de un diseño para la mejora de la infiltración y evapotranspiración.



Las columnas azules muestran el número de respuestas acertadas en el pretest, donde prácticamente todos los estudiantes obtuvieron 0 aciertos en los indicadores evaluados, mientras que las columnas naranjas registran los datos obtenidos en el Postest. La tabla indica que en cualquiera de los casos hay mejoras notables, aunque no todos alcanzaron niveles elevados.

Estos resultados no permiten generalizar, pues la muestra es pequeña, además de que los estudiantes responden de manera diferente al desarrollo de las clases explícitas para mejorar sus habilidades representacionales. Sin embargo, es alentador encontrar resultados como estos, ya que dan pistas del trabajo que debe realizarse para promover el uso eficiente de las REP en la construcción del conocimiento.

En el siguiente ejemplo se muestra un caso donde una de las duplas pasó de cero (0) indicadores (ver el lado derecho de la Figura 16.A, donde no hay ninguno de los

indicadores solicitados), a tres (3) indicadores reflejados en figura 16. B. Es decir, en la Figura 16.A no dibuja árboles, no representa flechas con diferentes dimensiones del flujo y tampoco flechas que indiquen la evapotranspiración, y tampoco explica la REP. En la figura 16.b, si se aprecia, en el lado derecho de la figura, el dibujo de árboles, flechas que indican la evapotranspiración. Sin embargo, la explicación es superficial, como son las flechas que indican cómo se modifica el flujo de agua.

Esta actividad engloba varios elementos que aparentemente son sencillos. Sin embargo, recoge información valiosa para describir el nivel de progresión que tienen los estudiantes con respecto a su nivel inicial detectado en cada una de las tareas diseñadas. Así mismo, es importante que se realicen ciertas comparaciones entre estudiantes de tal manera de poder mostrar por qué algunos obtienen ciertos niveles diferentes.

Figura 16

Habilidad, interpretación de un diseño para la mejora de la infiltración y evapotranspiración en una zona urbana (dupla 10). Pretest-A y posttest-B

Fig. 16. A

5. En el esquema que se muestra a continuación, la Figura A representa el impacto de la urbanización en algunos procesos asociados al ciclo del agua. (2 pts)



Flujo subsuperficial Flujo base

Fig. A): Los impactos de la urbanización en el ciclo del agua.

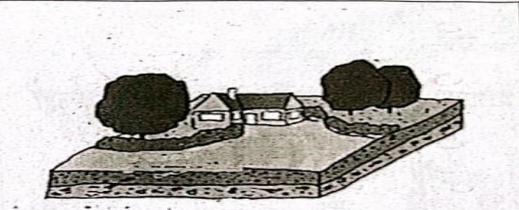
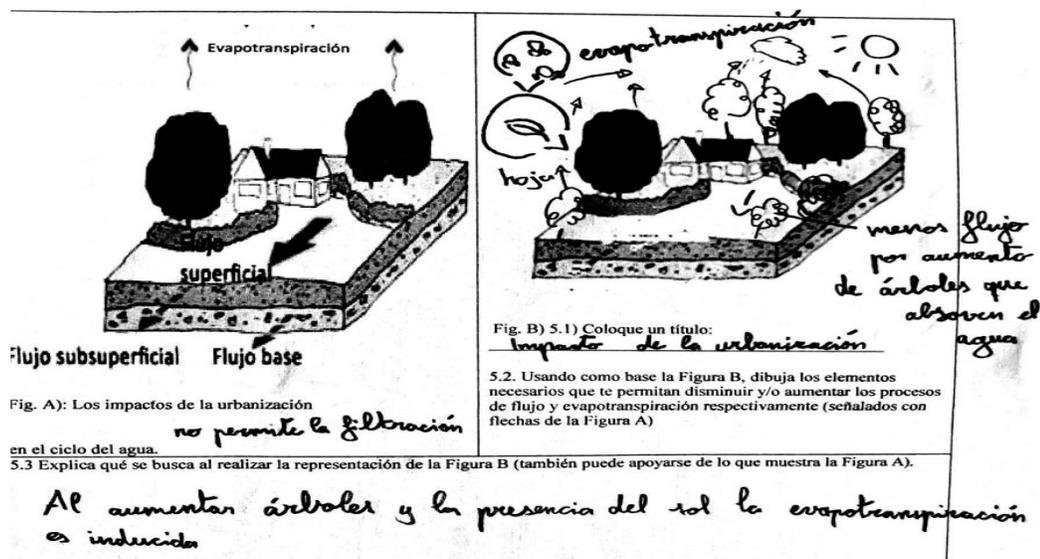


Fig. B) 5.1) Coloque un título:

5.2. Usando como base la Figura B, dibuja los elementos necesarios que te permitan disminuir y/o aumentar los procesos de flujo y evapotranspiración respectivamente (señalados con flechas de la Figura A)

5.3 Explica qué se busca al realizar la representación de la Figura B (también puede apoyarse de lo que muestra la Figura A).

Fig. 16. B



Por ejemplo, entre la dupla 2 y la dupla 10, se puede apreciar que la dupla 2 tiene ciertos indicadores claros y los proyecta en su REP, por ejemplo, dibuja árboles, dibuja flechas con diferentes dimensiones para representar cómo cambió la escorrentía y el flujo basal, y la explicación es más completa porque engloba los elementos y el objetivo de hacer esos cambios. En comparación, la dupla 10 omite indicadores como las flechas que señalan el flujo superficial (escorrentía) o el flujo subterráneo. Los estudiantes de la dupla 10 demuestran conocer que, al reforestar, lo que se busca es que las plantas regulen el flujo superficial del agua. Sin embargo, en su explicación, no se observa por qué el tener un área con una vegetación arbórea mayor puede favorecer la infiltración y al mismo tiempo la evapotranspiración en zonas urbanizadas.

Hasta ahora el trabajo realizado por los estudiantes permitió explicar que la interpretación es un proceso en el cual el sujeto relaciona el texto material (signos) con

el mundo en el cual se encuentra inmerso (el referente). En cualquiera de los casos, la interpretación implica dar sentido al integrar el continente (la REP) con el contenido (la información que contiene) desde el contexto donde se enmarca el proceso, es decir desde la comunidad.

4.3 Objetivo tres (3): Describir el nivel de progresión de las competencias representacionales alcanzadas luego de la instrucción explícita.

En las **Tabla 13 y 14** se muestran los resultados relacionados con el nivel de competencia descrito a partir del dibujo a mano, antes, durante y después de la intervención.

Tabla 13

Resumen del nivel de progresión del CBGQ del agua.

<i>Progresión competencia</i>			
<i>Sujetos de estudio</i>	<i>Pretest (REPi)</i>	<i>Cuadernillo (REPm)</i>	<i>Postest (REPf)</i>
<i>Dupla 1</i>	2	4	5
<i>Dupla 2</i>	2	3	4
<i>Dupla 3</i>	1	3	4
<i>Dupla 4</i>	2	4	4
<i>Dupla 5</i>	2	4	4
<i>Dupla 6</i>	1	3	3
<i>Dupla 7</i>	1	3	3
<i>Dupla 8</i>	2	4	4
<i>Dupla 9</i>	2	3	3
<i>Dupla 10</i>	2	3	4
<i>Dupla 11</i>	2	4	3
<i>Mediana</i>	2	3	4
<i>Moda</i>	2	3	4
<i>Media (≈)</i>	2 (1,70)	3 (3,45)	4 (3,73)
<i>Desviación</i>	0,427	0,522	0,647

Nota: los números 2,3,4 o 5, corresponden al nivel de competencia alcanzado por cada una de las duplas. REPi (significa Representación pictórica inicial), REPm (significa Representación pictórica media), REPf (significa Representación pictórica final).

Los valores calculados de tendencia central, como la mediana, la media y el promedio, son estadísticos sencillos que nos permiten observar el comportamiento de los datos, sobre todo en poblaciones pequeñas como la que se está trabajando (Cobo y Díaz, 2003). Los valores de desviación estándar se calculan para tener una idea de si los valores promedios presentan diferencias entre sí.

Tabla. 14

Respuestas globales de competencias representaciones (REPi; REPm; REPf)

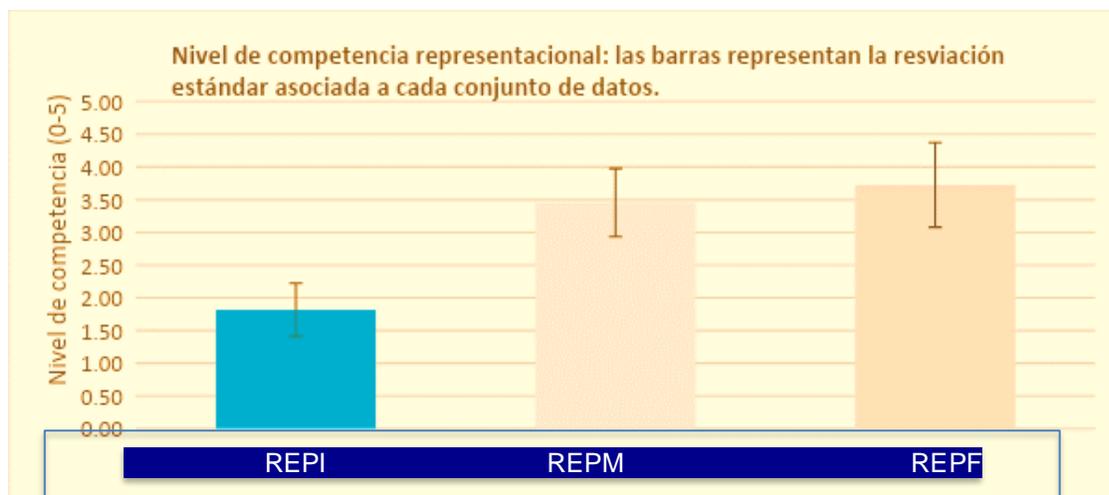
Componentes e indicadores a testear			Cod	Dupla 1			Dupla 2			Dupla 3			Dupla 4			Dupla 5			Dupla 6			Dupla 7			Dupla 8			Dupla 9			Dupla 10			Dupla 11			
Componentes	Sub-Componentes	Indicadores		REPi	REPm	REPf	REPi	REPm	REPf																												
Símbolos	Flechas	Dirección del proceso.	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1				
		Magnitud de los procesos	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0				
		Sentido de ciclo global	3	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
	Impulsor del Agua	Sol	4	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1				
		H2O/gota/módulo	5	0	1	1	0	1	1	0	1	0	1	1	0	1	0	1	0	1	1	1	1	0	1	1	1	0	0	1	1	0	1	1			
Nivel submicroscópico	Representar a nivel molecular	Agua en estado gaseoso	6	0	1	1	0	1	1	0	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	0	1	0	0	1	0	1	0			
		Agua en estado líquido	7	0	1	1	0	1	1	0	0	1	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	0	1	1	0	0	0	0	1	0	1	0	
		Agua en estado sólido	8	0	0	1	0	1	1	0	1	1	0	1	1	0	1	1	0	1	0	0	1	1	0	1	1	0	1	0	0	0	0	1	0	1	0
Nivel Microscópico: Depósitos y estructuras que el estudiante no ve a simple vista.		Estomas en las plantas /Poros	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
		Porosidad del suelo	10	0	1	1	0	0	0	0	0	1	0	1	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	
		Aguas subterráneas	11	0	1	1	0	1	0	0	1	1	0	1	1	1	1	1	1	0	1	1	0	1	1	0	1	1	0	1	1	0	1	0	1	1	
		percolación	12	0	1	1	0	1	1	0	0	1	0	1	1	0	1	1	0	1	1	0	0	0	0	1	0	1	1	0	0	0	0	1	1	1	
		Infiltración	13	0	1	1	0	1	1	1	1	1	0	1	1	0	1	1	0	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		
Componentes espaciales del agua (diferentes depósitos en las que se encuentran el agua en la naturaleza):	La atmósfera:	Vapor de agua: neblina /	14	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	1	1	1	1	0	1	1		
		Agua en las nubes	15	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
	Hidrosfera:	Aguas superficiales	16	0	1	1	0	0	1	0	1	1	1	1	1	0	1	1	0	1	0	0	1	1	0	1	1	0	1	0	0	0	1	0	1	1	
		Glaciares/nieve Lagos /rios	17	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	1	1	0	1	1	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	1	
		Mares / océanos	18	1	1	1	1	0	1	0	1	0	0	1	1	1	1	0	0	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	
	Litosfera	Rocas / montañas/suelo	19	0	1	1	0	1	1	0	1	1	0	1	1	1	1	1	1	0	1	0	0	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	
Plantas/algas		20	0	1	1	0	1	1	0	0	1	0	0	1	0	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	0	1	1		
Animales hombre/ otro		21	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Componentes dinámicos (Procesos que permiten el flujo de agua en la naturaleza)	Procesos que generan cambios de un depósito a otro.	Evaporación	22	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		
		Transpiración/evapotran.	23	1	1	1	1	1	1	0	1	1	0	1	1	1	1	1	1	0	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
		Condensación	24	1	1	1	1	0	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	0	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
		Precipitación	25	1	1	1	1	1	1	0	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
		Sublimación	26	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	1	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		Deshielo - Fusión	27	0	1	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		Circulación Sup en general	28	0	0	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
		Escorrentía	29	0	1	1	0	1	1	0	1	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Intervención del hombre	Consumo humano del agua	uso domestico pozos	30	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
		Uso agrícola /industrial	31	0	1	1	0	0	1	0	0	1	0	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		Contaminación /aguas residuales	32	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		Deforestación	33	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Fenómeno natural /consumo humano: Cambio climático			34	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Sumatoria de indicadores				9	23	30	9	19	27	7	18	23	2	23	23	13	27	28	8	15	17	7	20	20	14	24	22	14	16	20	10	14	22	8	22	17	

Nota: REPi: Representación inicial; REPm: Representación media; REPf: Representación final.

En las **Tablas 13 y 14**, se muestra el nivel de progresión del nivel de competencias alcanzado por los estudiantes, antes, durante y después de la intervención. Como es posible apreciar el valor más común (moda) antes de la intervención es el 2, en la intervención es el 3 y al finalizar la intervención es 4. De la misma manera el promedio es aproximadamente el mismo valor. Estos resultados de frecuencia indican una mejora del nivel de competencia desarrollado por los estudiantes con el trabajo explícito de las reglas de representación y el conocimiento subyacente al ciclo del agua.

Figura 17

Gráfico resumen del nivel de competencia representacional desarrollado por los estudiantes antes, durante y al final de la intervención pedagógica.



Nota. REP: Representación inicial; REPM: Representación intermedia; REPF: Representación final.

En el gráfico (**Figura 17**), se puede apreciar que hay diferencias en el nivel de logro entre el momento inicial (**REPi**) y el momento medio (**REPm**), de la misma manera que entre el momento inicial y el momento final (**REPf**). Si analizamos las barras de error de cada conjunto de datos, se puede apreciar tal hecho y se corrobora lo presentado en las **Tablas 13 y 16**, lo cual indica que el nivel de competencia entre el momento medio (justo al final del trabajo con el cuadernillo) y dos semanas después cuando se realizó el Postest, (**REPf**) no presentan diferencias significativas entre sí. Las desviaciones registradas **REPi (3+/- 0,522)** y **REPf (4+/- 0,647)** en cada conjunto de datos, muestran que se superponen los resultados de ambos grupos.

Estos resultados nos indican que la población se comportó como normal. De allí se puede aplicar una prueba T para establecer si estadísticamente las diferencias encontradas entre el **REPi** y el **REPf** son significativas. Para aplicar esta prueba se debe tener certeza que la muestra se comporta como normal y que se utiliza para una serie de datos menores a 30, premisas que se cumplen con esta investigación (Rivas-Ruiz et al. 2013). Para ello se utilizó un valor de $p: 0,05$ (típico de estudios en ciencias) y se plantearon las siguientes hipótesis de prueba: revisar **Tabla 15**. El tipo de prueba T elegido se refiere a muestras emparejadas, ya que se comparan las medias de un mismo grupo antes y después de un tratamiento. Como se puede observar (**Tabla 18**), el valor **p de dos colas (3,5905-07)** es menor que el valor establecido de significancia (**0,05**), de allí que se rechace la hipótesis nula y se acepte la hipótesis alternativa. Este

análisis confirma lo que cualitativamente y desde el punto de vista del análisis de valores de tendencia central se obtuvo, que hay diferencias entre los resultados del Pretest y el Postest. La enseñanza explícita de las reglas de representación del ciclo del agua mejora el nivel de competencias representacionales y el conocimiento general sobre el CBGQ del agua.

Tabla 15

t-Test: Pareado para medias

	<i>Pre est</i>	<i>Postest</i>
Media	1,818181818	3,72727273
Varianza	0,163636364	0,41818182
Observaciones	11	11
Pearson Correlación	0,556038437	
Diferencia hipotética	0	
Grados de l	10	
t Stat	-11,73935688	
P(T<=t) one-tail	1,79528E-07	
t Critical one-tail	1,812461123	
P(T<=t) two-tail	3,59056E-07	
t Critical two-tail	2,228138852	

Nota: Hipótesis de Prueba: Ho: no hay diferencias entre las medias de los resultados del pretest y Postest y **HI:** si hay diferencias entre las medias de los resultados del pretest y el Postest

Estos resultados eran de esperar, sobre todo porque el *principio de entrenamiento previo* de la Teoría Aprendizaje Multimedia afirma que se aprende más profundamente un tópico cuando se conocen los nombres y las características de los principales conceptos. Y esto fue lo que se buscó a lo largo del trabajo realizado con el cuadernillo de trabajo: que los estudiantes conocieran los símbolos específicos de la comunidad de discurso, las reglas con las que se combinan dichos signos y los niveles en los que se pueden representar los conceptos estudiados.

A continuación, en las figuras se presentan algunos ejemplos del progreso registrado por los estudiantes. Para ello se utilizarán los datos generados por las *duplas I, 7 y II*, quienes registran valores muy diferentes entre sí. En el primer caso, los estudiantes obtuvieron 2-4-5, en el caso de la dupla 7, los estudiantes obtuvieron 2-4-3 y en el caso 11, los estudiantes registran 1-3-3. Todos estos dibujos se pueden apreciar en tamaño original en el anexo A.

Para facilitar el proceso de lectura del análisis que se presenta a continuación, se traerá a la siguiente hoja, la **Tabla 10**, la cual se encuentra también dentro de la metodología, a fin de facilitar la comparación y el contraste.

Tabla 7. (*)

Parte A, Elementos (lista de cotejo) que deberían reconocer y relacionar los estudiantes al construir o analizar un ciclo del agua. + parte b Rúbrica para medir el nivel de competencia representacional

Componentes e indicadores a testear				Cod	
Componentes	Sub-Component	Indicadores			
Símbolos especiales	Flechas	Dirección del proceso.		1	
		Magnitud de los procesos		2	
		Sentido de ciclo global		3	
	Impulsor del Agua	Sol		4	
Nivel submicroscópico	Representar a nivel molecular	H ₂ O/gota/modelo		5	
		Agua en estado gaseoso		6	
		Agua en estado líquido		7	
Nivel Microscópico: procesos que el estudiante no ve a simple vista.	Agua	Agua en estado sólido		8	
		Estomas en las plantas /Poros		9	
		Porosidad del suelo		10	
		Aguas subterráneas	Acuíferos percolación	11	
Componentes espaciales del agua(diferentes depósitos en las que se encuentran el agua en la naturaleza):	La atmósfera:	Vapor de agua: neblina / Agua en las nubes		13	
				14	
	Hidrosfera:	Aguas superficiales	Glaciares/nieve	15	
		Lagos /rios		16	
		Mares / océanos		17	
	Litosfera	Rocas/ montañas/suelo		18	
		Plantas/algas		19	
		Animales/hombre/ otro		20	
	Componentes dinámicos (Procesos que permiten el flujo de agua en la naturaleza)	Procesos que generan cambios de un depósito a otro.	Evaporación		21
			Transpiración/evapotran.		22
Condensación			23		
Precipitación			24		
Sublimación			25		
Deshielo - Fusión			26		
Circulación Sup en general			27		
Infiltración			28		
Intervención del hombre	Consumo humano del agua	Escorrentia		29	
		uso domestico/pozos		30	
		Uso agrícola /industrial		31	
		Contaminaci aguas residuales		32	
		Deforestación		33	
Fenómeno natural /consumo humano: Cambio climático				34	
Sumatoria de indicadores					

Parte A: Componentes e indicadores que debe contener el ciclo del agua. (lista de cotejo)

Parte B: Rúbrica para medir el nivel de competencia representacional

Nivel 0: No representa el ciclo

Nivel 1(Inapropiado): La representación omite la mayoría de los elementos constitutivos de la REP. No superan ni la quinta parte (1-7) de los componentes globales. Se observan sólo elementos del nivel macroscópico.

Nivel 2 (insuficiente): Nivel 2 (insuficiente): Combina 8-14 elementos de los diferentes componentes. El nivel molecular y celular son escasamente considerados, la intervención humana no está presente.

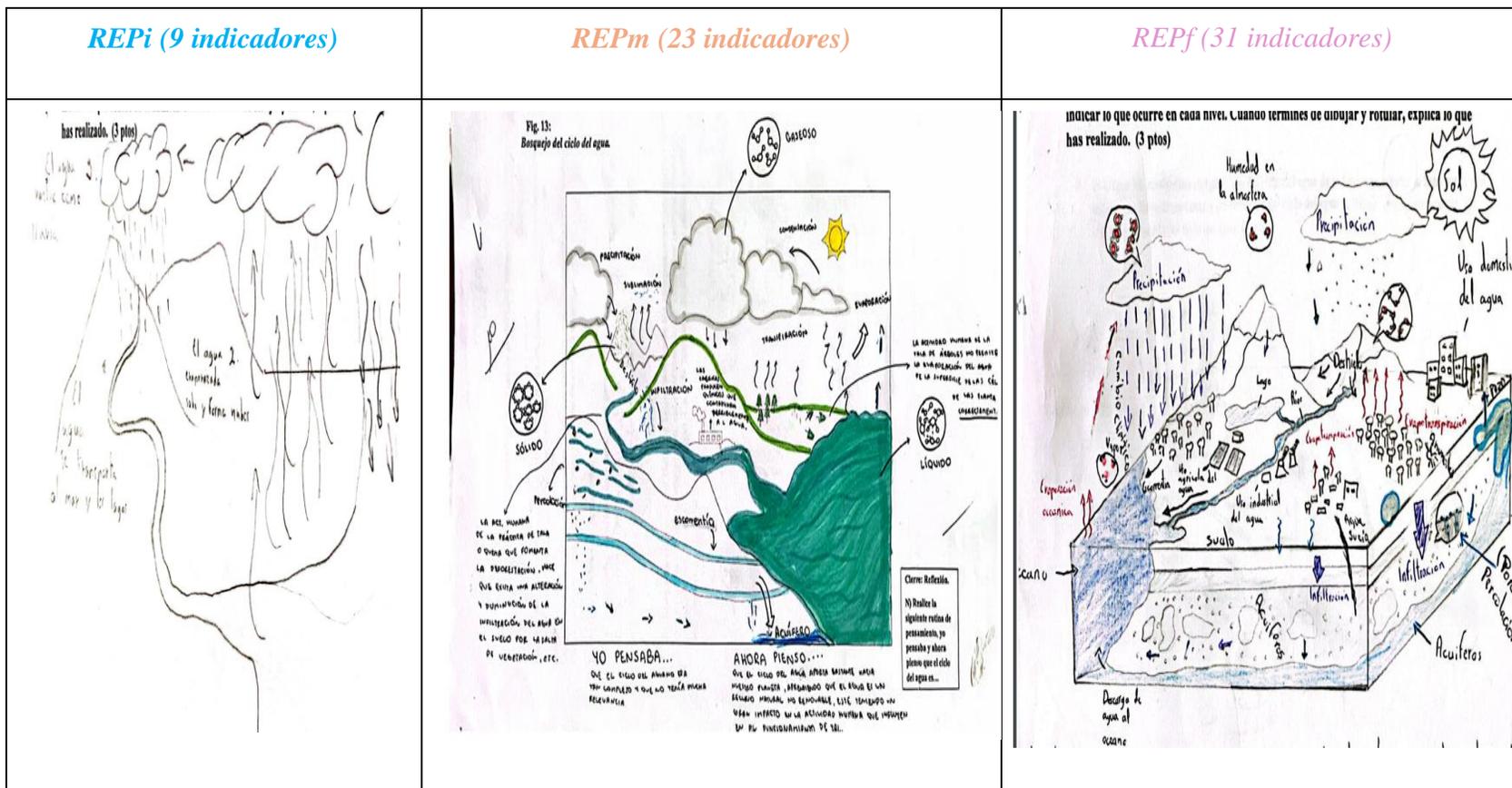
Nivel 3 (suficiente): Combina 15-21 elementos, hay cierta presencia de elementos de los componentes submicroscópico y celular, la intervención humana casi nula.

Nivel 4 (Buena): Combina 22-28 elementos de los diferentes componentes y niveles (macroscópico, submicro o simbólico cuando corresponde), aún la intervención humana no se considera pertinente.

Nivel 5 (Excelente): Combina 29 o + elementos de cada componente y utiliza los diferentes niveles (macroscópico, submicro o simbólico cuando corresponde); la intervención humana en la mayoría de sus formas es considerada. En este nivel el estudiante es capaz de realizar transformaciones de un nivel a otro tanto en el plano horizontal como vertical.

Figura 18

Dibujos para ilustrar el nivel de progresión de las competencias representacionales (Dupla 1)



Nota: Para facilitar la descripción de los dibujos de las duplas, luego de los dibujos se coloca una descripción en el mismo orden.

Descripción del Nivel de progresión de las competencias representacionales (Dupla 1)

REPi: Nivel 2 (insuficiente)

Se ubica en este nivel porque la cantidad de elementos estructurales del ciclo del agua, son muy escasos.

No hay flechas que indique sentido de ciclo, que indiquen magnitud

Se observan elementos macroscópicos, como montañas, nubes, un cuerpo de agua dentro del nivel macro los procesos o componentes dinámicos se observan, la evaporación, la condensación y precipitación.

A nivel microscópico no se representa ningún proceso.

A nivel molecular o submicroscópico, tampoco.

No hay registro del efecto humano dentro del ciclo.

REPm: Nivel 4 (buena)

Como se ven en la **tabla 17** de resultados globales, en el dibujo intermedio, en casi todas las duplas presenta resultados similares. Lo cual se justifica porque todos utilizan un dibujo preestablecido.

En este dibujo, se colorean **símbolos**, como el sol, se dibuja la molécula de agua.

Hay flechas para indicar la dirección de los procesos, pero no varían en tamaño para representar la magnitud de los procesos. No se dibuja la circulación

A nivel **submicro** o molecular, se representan las moléculas en estado líquido sólido y gaseoso.

A nivel **microscópico**, se dibuja la porosidad del suelo, la percolación y los acuíferos. A nivel celular no se dibuja la transpiración en las plantas.

A nivel macro, se registran diversos elementos espaciales **macroscópicos**, referentes a la hidrosfera (cuerpos de agua; una especie de río: elementos de la litosfera (montañas, suelo, plantas). Con respecto a los procesos o componentes dinámicos, dibujan, la evaporación, precipitación, deshielo, condensación, escorrentía; transpiración, deshielo.

REPf: Nivel 5 (Excelente)

Acá se nombran los elementos adicionales a los representados en el dibujo intermedio para justificar porque se encuentra en el nivel 5, este dibujo tiene 31 indicadores distribuidos en todos los componentes espaciales, dinámicos que se producen a nivel macro, micro, y submicroscópico y celular.

Además de todos los elementos nombrados en la REPm, se puede apreciar que el efecto humano se representa de diferentes maneras (uso industrial, uso doméstico, se dibuja el flujo interno del agua, se indica el cambio climático.

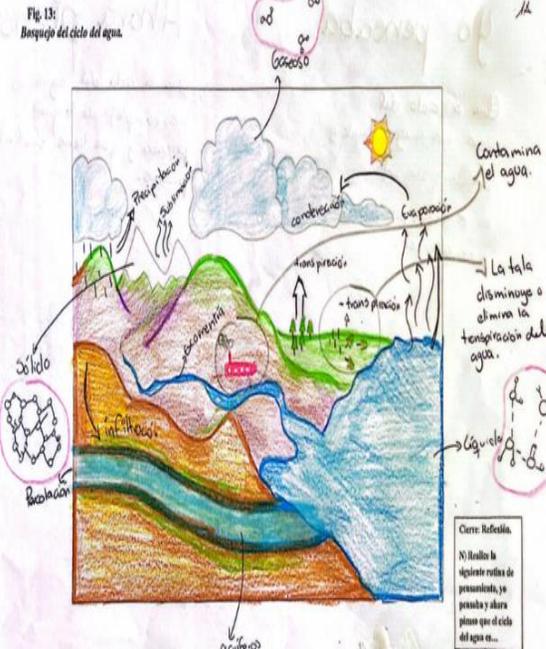
Se dibuja la humedad atmosférica y el vapor como un elemento diferente al agua almacenada en las nubes. Se ven esfuerzos por ir de un nivel a otro de representación, ya que dibuja procesos a nivel macro y molecular.

Se dibuja el sentido de ciclo, este no se observa en ninguno de los otros dibujos realizados.

Además, dibuja acciones representativas del efecto humano sobre el ciclo del agua. Dibuja los cambios de estado a nivel molecular. E incluso hace alusión al cambio climático. Es un dibujo muy completo.

Figura 19

Dibujo para ilustrar el nivel de progresión de las competencias representacionales (Dupla 7)

REPi: Nivel 2 (7)	REPM: Nivel 3 (20 indicadores)	REPF: Nivel 3 (20 indicadores)
<p>indicar lo que ocurre en cada nivel. Cuando termines de dibujar y rotular, explica lo que has realizado. (3 pts)</p> 	<p>Fig. 13: Bosquejo del ciclo del agua.</p> 	<p>indicar lo que ocurre en cada nivel. Cuando termines de dibujar y rotular, explica lo que has realizado. (3 pts)</p> 

Descripción del Nivel de progresión de las competencias representacionales (Dupla 7)

REPi: Nivel 2 (inapropiado)

En este caso, aunque utiliza colores clásicos del ciclo y las fichas dan cierta impresión de ciclo, sólo se observan escasos indicadores del nivel macroscópico y se esbozan moléculas de agua para representarla en estado gaseoso. Se observan elementos macroscópicos, como montañas, nubes, un cuerpo de agua y algunas flechas que indican la evaporación, la condensación y precipitación. Aunque no se rotulan. A nivel simbólico, además de los elementos clásicos que dibuja a nivel macroscópico, dibuja un conjunto de puntos que hacen alusión a moléculas de agua.

REPm: Nivel 3 (Apropiado)

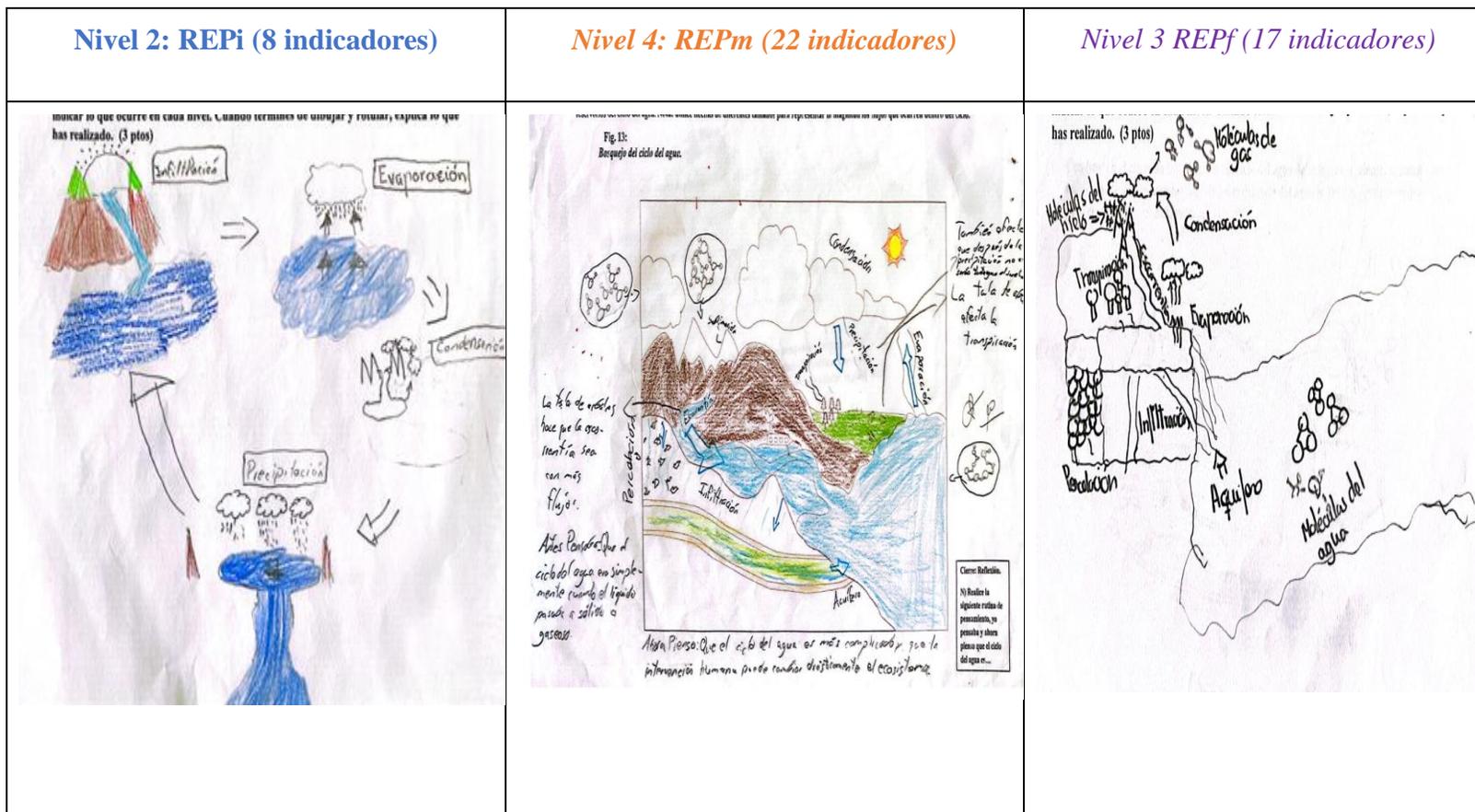
Se observan cambios significativos, de este dibujo con respecto al REPi, utiliza colores universalmente establecidos para representar diferentes elementos. Simbólicamente utiliza adecuadamente la representación molecular del agua. Se dibujan elementos alusivos al nivel molecular (submicroscópico) para representar el estado de agregación del agua. Se observan elementos del nivel macroscópico, montañas, cuerpos de agua. Se colorean árboles, montañas, nieve, el movimiento superficial del agua. A nivel microscópico, se dibuja la infiltración, los acuíferos. No se dibujan procesos como la transpiración a nivel celular. No se observan indicadores del efecto que puede tener un ciudadano dentro del ciclo, más allá de lo preestablecido. Si se compara este dibujo con el de la dupla 11 (fig. 20), este se clasifica en el nivel 3, porque no dibuja la porosidad del suelo, para relacionarla con la percolación. Y porque de manera explícita indica que la intervención humana puede afectar drásticamente al ecosistema. Sin embargo, como se pudo apreciar en el gráfico 17 (figura 17) no hay diferencias significativas entre los dibujos medios y los finales.

REPf: Nivel 3 (apropiado)

Este dibujo mantiene el mismo nivel de competencia que el dibujo anterior (REPm). El dibujo preestablecido del cuadernillo de trabajo ayudó a organizar los diversos componentes del ciclo del agua. Sin embargo, al no tener el soporte que guiará su dibujo sólo pudieron recordar e integrar algunos elementos de los diversos componentes. A nivel macro, se aprecian diversos depósitos como árboles, vegetación, montañas, nubes, un cuerpo de agua dulce, el mar. A nivel submicro representa los cambios de estado; también dibuja los procesos como la infiltración, la escorrentía, dibuja procesos como el derretimiento de los polos. A nivel micro, dibuja los acuíferos, es decir, es consciente que el agua se infiltra y percola formando cuerpos de agua subterráneos. Ignora el efecto humano como agente modelador del ciclo.

Figura 20

Dibujos para ilustrar el nivel de progresión de las competencias representacionales (Dupla 11)



Descripción de los dibujos utilizado para ilustrar el nivel de progresión de las competencias representacionales (Dupla

II)

Nivel 2 (inapropiado)

No se observa el sol en la representación. Dibujan tres momentos diferentes para hacer alusión, a la evaporación, la condensación-precipitación. El sentido de ciclo que trata de dar con las flechas es confuso. El momento donde quieren reflejar la evaporación, no dibuja el sol, tampoco en los otros momentos.

Dibuja la infiltración, que es un proceso macroscópico, no se dibujan elementos moleculares, no toma en cuenta el efecto de las personas en la dinámica del ciclo.

Utiliza ciertos colores como el azul para representar los cuerpos de agua, las montañas y el marrón para representar la litosfera.

Nivel 4 (Buena):

Es importante recordar que, en el nivel medio, todos los estudiantes tenían la misma figura como base para dibujar el ciclo, y la misma era una de las actividades finales del cuadernillo.

Las flechas no dan sentido de ciclo, no utiliza flechas con magnitudes variables. Dentro de los componentes espaciales **macroscópicos**, pintan un árbol, colorean las montañas, y un cuerpo de agua, que no etiqueta; nieve; nubes. A nivel microscópico, dibujan un acuífero.

Con respecto a los Componentes dinámicos (procesos) a **nivel macroscópico**, dibuja la evaporación, la condensación, la sublimación, la precipitación; dibuja la infiltración. Y a **nivel submicroscópico**, representa a nivel molecular el agua en estado líquido, sólido y gaseoso. A **nivel microscópico**, hace alusión a la porosidad del suelo y la percolación.

Como un efecto directo del efecto del hombre, describe que hace la deforestación y la tala en el ciclo. No menciona otros elementos de este componente.

A nivel simbólico, se observan utiliza símbolos típicos de los elementos macro, micro, molecular, utiliza elementos propios de cada componente.

Nivel 3 (suficiente)

Este dibujo con respecto al nivel inicial dibuja en un solo plano diferentes componentes constitutivos del ciclo. Reincide con el dibujo inicial en no representar al Sol. LO cual podría indicar que la dupla de estudiantes no es consciente del papel central que tiene este componente para que ocurra el Ciclo.

En este a diferencia del primero se observa, un intento por reconocer que a **nivel molecular** el agua en los diferentes estados tiene un estado de agregación diferente. A **nivel microscópico**, dibuja la porosidad del suelo, y etiqueta la percolación.

En este dibujo desaparece cualquier indicio de considerar las actividades humanas como agentes que modelan al ciclo del agua.

En este dibujo tampoco se aprecian flechas que den sentido de ciclo, y variabilidad de los procesos.

Al no tener el dibujo preestablecido los estudiantes no pueden mantener o superar el nivel de competencia alcanzado en el nivel catalogado como nivel medio. Por lo que se puede inferir que el dibujo preestablecido sirve de andamiaje para promover las competencias. Esto permite plantear la hipótesis que el no tener una base, a los estudiantes les cuesta representar e integrar conocimiento.

Aunque las competencias representacionales mejoraron notoriamente luego de la instrucción explícita de las reglas de representación específicas del ciclo biogeoquímico, hay aspectos que se deben seguir trabajando. De los resultados se pudo apreciar que sólo una (1/11) dupla alcanzó el nivel máximo de competencia propuesta en esta investigación. Así mismo se observa que no hay diferencias a nivel de grupo entre la representación (REPM) realizada en el momento considerado como medio y la la representación final (REPF).

Para poner en relieve los aspectos que se deben seguir trabajando en la nueva propuesta de cuadernillo, se presenta la siguiente tabla modificada con los elementos que no alcanzaron más del 50% de frecuencia dentro de las tareas propuestas.

Tabla 16 Componentes que no superan el 50 % de logro dentro los dibujos del ciclo del agua (Parte A del test)

Componentes e indicadores a testear			Cod	Frecuencia total			*	
Componentes	Sub-Componentes	Indicadores		REPi	REPM	REPF		
Simbólos	Flechas	Dirección del proceso.	1	9	11	11		
		Magnitud de los procesos	2	0	1	0	*	
		Sentido de ciclo global	3	3	1	6		
	Impulsor del ciclo	Sol	4	9	11	9		
		Agua	5	6	8	8		
Nivel submicroscópico	Representar a nivel molecular	Agua en estado gaseoso	6	2	10	9		
		Agua en estado líquido	7	1	8	8		
		Agua en estado sólido	8	0	9	7		
Nivel Microscópico: Depósitos y estructuras que el estudiante no ve a simple vista.		Estomas en las plantas /Poros piel	9	0	2	1	*	
		Porosidad del suelo	10	0	4	6		
		Aguas subterráneas	Acuíferos	11	2	11	9	
			percolación	12	1	8	7	
		Infiltración	13	4	11	11		
agua(diferentes depósitos en las que se encuentran el	Litosfera	Plantas/algas	20	3	8	11		
		Animales/hombre/ otro	21	0	0	5	*	
Intervención del hombre	Consumo humano del agua	uso domestico/pozos	30	0	1	3	*	
		Uso agrícola /industrial	31	0	3	5	*	
		Contaminación	32	0	5	3	*	
		Deforestación	33	0	3	2	*	
Fenómeno natural /consumo humano: Cambio climático			34	0	0	2	*	
Sumatoria de indicadores				99	222	249		
Nivel de competencia				2	3	4		

Nota: los asteriscos indican que elementos no superan el 50 % de frecuencia dentro de los dibujos

A partir de lo que se presenta en esta tabla (16) y en los dibujos de los estudiantes, se muestran a continuación los aspectos que no alcanzaron ni siquiera el 50 % en la frecuencia de todos los indicadores. Se analizarán desde la parte inferior de la tabla hacia arriba.

1. Con referencia al papel que juega la especie humana dentro de la dinámica del ciclo del agua, si nos fijamos en la parte inferior de la tabla, todos los indicadores utilizados para medir la presencia modeladora de los humanos en el ciclo del agua siguen siendo opacas, y esto se observa desde el dibujo inicial. A los estudiantes les cuesta verse como parte del ciclo. Esto denota que hacer cambios de estructuras mentales fijadas en los estudiantes exige realizar un trabajo más profundo. Esto coincide con lo que reportan diversos autores como Jaén et al. (2018) y Ramírez-Segado et al. (2021) con relación al hecho que, tradicionalmente, las actividades humanas no se consideran como agentes modeladoras del ciclo. Así mismo dichos autores reportan que esto es consecuencia de que en ,la mayoría de los libros en primaria y secundaria, esta variable no se representa en el ciclo.
2. Otro aspecto que se observa y que no fue mejorado a lo largo de la instrucción, es que, en los dibujos realizados, muy pocas duplas representan otros seres vivos diferentes de las plantas dentro de sus representaciones. Es decir, ignoran que los factores bioéticos forman parte vital de los ciclos biogeoquímicos.

3. Los eventos que ocurren a nivel celular, como la transpiración, no fueron dibujados en la REPF. Esto podría poner en evidencia que los estudiantes no tienen clara la noción de que todos los procesos metabólicos de los seres vivos se desarrollan en medios acuosos y el agua es un producto de desecho de la respiración celular (tema discutido en el curso anterior 10^{mo} año). Sin embargo, en una tarea del test que formaba parte de la sección A, donde se les pedía que dibujaran a nivel celular el proceso que estaba ocurriendo en las hojas, la respuesta pasó del **9 %** (pretest) al **82%** (postest), lo que pone en evidencia que cuando a los estudiantes se les asigna tareas donde se cumple el principio de señalamiento, el patrón de respuestas mejora. De la misma manera se cumple el principio de segmentación, ya que a lo largo del test (sección A) las tareas presentadas buscaban generar habilidades de representación asociadas al ciclo del agua, sólo que de manera gradual.
4. Luego de revisar los resultados de los dibujos finales, observamos que la proporción de flechas dibujadas para indicar la magnitud de los procesos no mejoró, a pesar de que se trabajó en clases. Al respecto, el estudio de Abbot (2019) señala que este factor, es decir, la falta de flechas con magnitud variable para representar la variabilidad e incertidumbre asociada a la dinámica del ciclo disminuye la capacidad de pensar de manera sistémica, dificulta la comprensión de los problemas hídricos que ocurren a nivel local y global.

Estos resultados parciales permiten concluir que los estudiantes han alcanzado un nivel de logro superior al registrado al inicio de la intervención. Sin embargo, hay mucho por hacer. Un estudiante en ciencias debe comprender que las ciencias naturales son un cuerpo de conocimientos que utiliza un discurso cargado de representaciones externas de tipo pictóricas, y para ser competente en el aprendizaje de cualquiera de sus tópicos, como por ejemplo el CBGQ del agua, debe manejar los signos con los que se construye la REP. Ser competente representacionalmente hablando implica manejar el sistema de representaciones (conocer la reglas de representación) utilizados para representar los procesos y depósitos, y conocerlos desde lo que indica la comunidad de discurso (en este caso la ecología), así como los niveles en los que ocurren dichos procesos. Además debe tomar en cuenta el papel de la especie humana en dicho ciclo. Autores como Márquez y Bach. (2007) hablan de la necesidad de enseñar el CBGQ del agua en clase como un modelo multimodal, ya que, como se dijo anteriormente, combina una diversidad de signos para representar un tópico científico. Contiene signos que obedecen a elementos cotidianos como una montaña o un río y que una persona común puede reconocer y asociar fácilmente y al mismo tiempo hace referencia a un modelo científico que utiliza símbolos para representar el movimiento de partículas del agua, lo que definitivamente aumenta la complejidad de enseñarlo y aprenderlo.

4.4 Discusión general de los resultados encontrados, de la praxis a la teoría.

Por la naturaleza de esta investigación, no se pueden realizar generalizaciones.

Sin embargo, es importante hacer notar que el instrumento aplicado para la identificación de competencias representacionales, a juicio del investigador fue clave para describir el nivel de habilidades que los estudiantes tenían al inicio y observar cómo estas fueron cambiando con el proceso de instrucción. Y las evidencias que ayudan a sustentar esta afirmación tienen que ver con lo siguiente:

El test fue diseñado basado en lo que diversos autores en el área de enseñanza de la ciencia y la psicología de la instrucción indican. Es evidente que cada investigación consultada se enfoca en alguna arista de esta investigación, como por ejemplo lo referido a los componentes espaciales o dinámicos del ciclo del agua (Márquez y Bach, 2007); o lo referido a la necesidad de tomar en cuenta el efecto de los ciudadanos en la dinámica del ciclo (Abbott et al. 2019). Trabajos como el de Lombardi, (2006) y Kozma y Russell (2005) mostraron la necesidad de contemplar los niveles en los que ocurren los fenómenos estudiados (macro, micro, submicro y simbólico) al estudiar tópicos multimodales como el CBGQ del agua. En lo que respecta a los trabajos que dirigieron la construcción del cuadernillo de trabajo y los cuestionarios de evaluación, destacan los trabajos realizados por Schönborn y Anderson (2010), Arneson y Offerdahl (2018), Lombardi (2021) y Mayer (2005). Ursavaş y Oğuzhan, (2021).

Estos mismos trabajos sumados a los de Flores y Flores (2017) y Arneson y Offerdahl (2018) dieron pistas para el diseño de la lista de cotejo y la construcción de la rúbrica para identificar el nivel de competencias representativas. A esta lista de investigaciones se le suma el trabajo realizado de Tytler et al.(2017), quienes apoyan

la tesis que una representación externa, que en este estudio fue un dibujo hecho a mano sin ayuda de ningún material, es un medio concreto que le sirve al estudiante para manifestar su aprendizaje sobre un modelo científico como el CBGQ del agua. Estos trabajos ayudan a dar parcial validez a los recursos utilizados para llevar a cabo esta investigación. Para garantizar la validez externa, se tendría que hacer algunos estudios estadísticos previos para validar la pertinencia de los instrumentos de recolección de datos entre otros ajustes metodológicos. Lo cual será objeto de otra investigación

En este mismo orden de ideas, la actividad de hacer los dibujos del nivel medio (REPM) no solamente procedió a un proceso de enculturación visual, sino que también usó una plantilla con ciertos elementos donde los estudiantes tenían que representar todos los componentes y niveles en los que se enseñaron los fenómenos estudiados. Es decir, acá se estaba viendo de manera indirecta el *principio de señalamiento* de la teoría de aprendizaje Multimedia de Mayer (2005), es decir, se les dió a los estudiantes no solamente ejercicios a manera de *pre entrenamiento*, sino que además se les facilitó el trabajo a través de pistas sobre cómo ir construyendo el aprendizaje. Por eso, no sorprende que no haya diferencias significativas entre el nivel de competencia representacional al finalizar el cuadernillo de trabajo y el nivel del Test final que se realizó dos semanas más tarde en el cual debían hacer totalmente el dibujo a mano. Tal como se indicó en la discusión de los resultados y en la metodología, en la Parte A del test, (**Tarea 1**) tenían que dibujar el CBGQ del agua. Allí debían demostrar una serie habilidades representacionales en una sola actividad. Sin embargo, dentro de las tareas

posteriores, todas esas habilidades se iban trabajando progresivamente y se pudo evidenciar que, gracias a al principio de segmentación, los resultados en muchas tareas fueron mejores que cuando se les pedía todo al mismo tiempo. Tal como señala Mayer (2005), los estudiantes aprenden de manera significativa si el docente es capaz de diseñar actividades que se presentan en partes o segmentos; esta estrategia produce mejores resultados que si se les pide ejecutar toda la tarea al mismo tiempo.

En otro orden de ideas, pero vinculado directamente con lo que se acaba de señalar sobre los principios instruccionales de Mayer (2005), se relacionaron estos principios con el modelo de los 7 factores de Schönborn y Anderson (2010). Es decir, dentro de las tareas del cuadernillo y el Test, se trabajó con el factor M, es decir, el tipo-formato, la calidad de REP y las reglas de representación utilizadas para representar el CBGQ del agua utilizada para presentar las tareas, sin descuidar el factor R (habilidades o estrategias promovidas para desarrollar la competencia representacional) que permite enfrentarse a la información o tarea que se le pide en la REP. Ambos factores se mantuvieron en sinergia con el factor C (conocimientos previos, pre-entrenamiento), de manera de promover la comprensión, la construcción y la utilización de diversas REP vinculadas al ciclo biogeoquímico del agua para producir conocimiento.

Este estudio se caracterizó por ser una investigación basada en diseño (IBD), de allí que luego de haber analizado los resultados, es momento de proponer mejoras en el diseño utilizado en esta fase de investigación. En las actividades propuestas en la **Tabla 9** (y el **Anexo C**), que ya fueron trabajadas, es necesario incorporar algunas actividades

prácticas y teóricas para promover que un mayor número de estudiantes alcance el nivel máximo de competencias.

- La primera actividad a desarrollar sería construir dos mesocosmos (terrario cerrado para ver en acción el ciclo del agua), uno dentro del laboratorio y otro a la intemperie donde la energía solar incide de manera directa sobre el mismo. Los estudiantes deberían observar estos mesocosmos en paralelo con las actividades de enculturación sobre las reglas de representación y anotar sus observaciones en sus cuadernillos. Se acaba de evaluar esta propuesta con una sola dupla. Su cuadernillo se utilizó dentro del laboratorio para dirigir discusiones sobre el ciclo del agua, pero no pedimos que los estudiantes hicieran anotaciones formales.
- Además de las ya propuestas, es necesario incluir tareas que permitan no sólo reconocer y describir la simbología del ciclo del agua, sino que enfatizan la interconexión de los procesos que macroscópicamente se observan con lo que ocurre en los otros niveles, sobre todo porque puede ser que los estudiantes no conecten algunos procesos aun cuando dibujen la mayoría de los componentes señalados en la lista de la Tabla 10.
- Además de pedirles que reconozcan y describan las flechas vinculadas a la dirección de los diferentes procesos dinámicos (procesos), también se les pediría que indicaran la dirección y variabilidad de los procesos en el dibujo de un ciclo que sólo contiene etiquetas sueltas de los depósitos.

- Se les pediría que dibujaran un ciclo biogeoquímico del agua que les permitiera comparar y contrastar el mismo proceso en una zona urbana y en una zona boscosa. Y que al mismo tiempo que trataran de inferir cómo variarían los flujos de agua.
- Dentro de las actividades del cuadernillo deben incorporarse una serie de tareas prácticas de manera explícita, para promover que el estudiante sea más que un agente observador, de manera permitir a los estudiantes concientizar la necesidad de reconocerse como parte del ciclo. No sólo a partir de nuestros procesos fisiológicos consumimos o generamos agua, sino que nuestras actividades diarias generan una huella hidrológica. Esto ayudará a que los estudiantes y futuros ciudadanos tengan una visión informada y basada en datos de que el agua que consumimos es un recurso natural agotable.
- Así mismo se desarrollarían actividades prácticas no sólo para ver los cambios de estado, sino también para que evalúen el proceso de escorrentía, infiltración y percolación del agua.
- En cuanto a la cronología del trabajo realizado, en una próxima puesta en escena sería necesario cambiar el orden de las tareas. Los estudiantes deben realizar el dibujo a mano al final del test. Sería interesante que realicen las tareas de decodificación-interpretación, modificación y evaluación antes de que construyan una REP del CBGQ del agua con todos sus elementos macro, micro, submicro y simbólico. Pues tal como lo plantea Mayer (2005), el principio de segmentación

debe estar presente en todos los recursos instruccionales y de evaluación que se utilizan para enseñar un tema multirepresentacional como el ciclo del agua. Las tareas deben asignarse progresivamente y evaluarse de la misma manera.

- Y en una tercera intervención pedagógica, sería importante que, además de dibujar a mano el CBGQ del agua, que expliquen el ciclo a través de la técnica de *talking drawings* y se grabaran sus explicaciones. Esto permitiría captar fielmente todos los recursos semióticos utilizados para su explicación, y les daría a los estudiantes la posibilidad de analizar e integrar conocimientos a partir de múltiples modos de representación.

Capítulo V: Conclusiones

1. El CBGQ del agua es un modelo complejo y el tratamiento que se presenta en los libros de texto a nivel secundaria no favorece su comprensión, porque utiliza representaciones pictóricas construidas con una serie de signos cuyo significado no se establece previamente y coloca el énfasis en el contenido disciplinar sin atender las dificultades para comprender dicha representación. Es fundamental la incorporación de actividades de aprendizaje que promuevan el desarrollo de competencias representacionales que favorezcan la comprensión a partir del dominio del lenguaje científico con la que las representaciones se construyen.
2. La frase competencia representacional puede verse desde diferentes aristas y en cada caso debe ir acompañada de un contexto teórico que permita dar cuenta de lo que se está midiendo. En el caso particular de este estudio, el nivel de competencia representacional se midió a partir de un dibujo del ciclo del agua hecho a mano, cuyo referente fue construido apoyado en la literatura especializada. Estudios como el realizado por Yeo y Nilson (2022) afirman que cuando los estudiantes construyen representaciones cada vez más elaboradas sobre un concepto, demuestran dominio sobre una determinada teoría, ya que ponen en juego una cantidad de recursos semióticos para exteriorizar su conocimiento. Lo antes citado está en concordancia con los resultados de esta investigación, ya que se encontró que todos los participantes mejoraron

significativamente su nivel de competencia, con respecto al dibujo inicial las diferencias fueron significativas. Esto parece indicar que los estudiantes aumentaron su nivel de comprensión conceptual con respecto al ciclo biogeoquímico del agua.

3. Las competencias representacionales iniciales de los estudiantes antes de la instrucción explícita se centraban en un nivel 2 (insuficiente), en donde predominaban entre 8-14 elementos, pertenecientes en mayor proporción al nivel macroscópico, como montañas, ríos, nubes. Muy escasamente se observaban elementos del nivel microscópico o submicroscópico, y tampoco se mostraba intervención humana en los dibujos. Gracias a la intervención didáctica y el trabajo explícito sobre las reglas de representación, el nivel de competencia se centró en 4 (buena). Las REP construidas contenían en su mayoría entre 22-28 elementos de los diferentes niveles (macro, micro, submicro), aunque con escasa consideración del factor humano como agente modelador del ciclo.
4. Al realizar el dibujo del ciclo del agua, los estudiantes pusieron en juego habilidades como *decodificar*, y al mismo tiempo *interpretar* previamente todos los signos y la manera cómo estos se combinan, y luego *recodificar* internamente todos esos elementos (*construcción* interna de un modelo mental) para dar sentido a partir de la construcción de un dibujo (REP).
5. A partir de los resultados de esta investigación, es posible afirmar que los principios instruccionales de la teoría de aprendizaje multimedia de Meyer

(2005) son fundamentales para la construcción de recursos instruccionales vinculados a tópicos multimodales (o multirepresentacionales) como el modelo del ciclo biogeoquímico del agua. El principio de entrenamiento previo permitió tomar en cuenta la necesidad de enseñar las reglas de representación con las que se construye el ciclo para ayudar al estudiante a construir los conocimientos necesarios para enfrentarse al trabajo cognitivo que implica comprender cómo funciona el CBGQ del agua. De la misma manera los principios de segmentación y señalamiento previo son trascendentes para ayudar al desarrollo de habilidades representacionales, porque facilitan y guían el proceso que deben seguir para enfrentarse a tareas de diferente complejidad.

6. Un docente o diseñador instruccional en Biología y en cualquiera de las asignaturas científicas donde la naturaleza multirepresentacional sea dominante debe proponer estrategias instruccionales o actividades de aprendizaje que de manera explícita permitan comprender las reglas y niveles de representación que lleva implícito el fenómeno o concepto estudiado.
7. Los resultados abren una serie de interrogantes cuya respuesta basada en datos podría contribuir notoriamente a esta emergente línea de investigación sobre la alfabetización visual o representacional. ¿En qué medida el desarrollo de actividades explícitas que denotan un nivel creciente de habilidades representacionales hará más consciente el aprendizaje de los estudiantes al estudiar tópicos multimodales como el CBGQ del agua? Este mismo tipo de

investigación se podría trasladar a tópicos como el CBGQ del carbono o trasladarlos a comunidades de discurso como el de Genética o de Biología Molecular.

8. La literatura que más reporta estudios sobre el ciclo del agua se centra en los libros de textos españoles (Marquez y Bach (2007), Jaén et al. (2018), Pozo-Muñoz (2021), y los aspectos que más resaltan son que: las REP presentadas en los textos omiten la imagen de la especie humana y otros animales como parte de la dinámica del ciclo; no se destacan las actividades humanas en cualquiera de sus formas; tampoco se observan flechas que indiquen magnitud para promover en el estudiantado la idea que los flujos del agua ocurren en diferentes proporciones de acuerdo al ambiente donde se desarrolle; y faltan actividades que promuevan la conexión entre los diferentes componentes del sistema para favorecer una visión integral y sistémica del ciclo biogeoquímico del agua. Trabajos como el desarrollado por Abbot et al. (2019) permiten aseverar que estas omisiones generan una visión equivocada para la comprensión del ciclo de agua y su papel de importancia en la dinámica de los ecosistemas. De allí que los autores de ese estudio tuvieron que hacer un trabajo extenso de imágenes que ayudaran a generar una secuencia coherente de trabajo didáctico.
9. La aplicación de la investigación basada en diseño (IBD) permitió no solo describir un problema de instrucción vinculado a la lectura de las REP utilizadas

para presentar el ciclo del agua, sino también aportar información derivada de un contexto real de aprendizaje a la solución de un problema de instrucción vinculada a la enseñanza y el aprendizaje del tópico del ciclo biogeoquímico del agua. Un dato interesante al respecto radica en que la mayoría de las publicaciones existentes se derivan de estudios realizados en España o en países de latitudes diferentes a las del contexto latinoamericano y en especial de Venezuela y Ecuador. De allí que consideramos que los hallazgos se consideren importantes para mejorar la práctica educativa no sólo en la enseñanza de este tópico sino en otros tópicos de biología y en asignaturas del área de ciencias que tienen el mismo carácter multimodal.

Referencias

- Abbott, B. W., Bishop, K., Zarnetske, J. P., Minaudo, C., Chapin III, F. S., Krause, S., ... y Pinay, G. (2019). Human domination of the global water cycle absent from depictions and perceptions. *Nature Geoscience*, 12(7), 533-540.
- Arneson, J. B., y Offerdahl, E. G. (2018). Visual literacy in Bloom: Using Bloom's taxonomy to support visual learning skills. *CBE—Life Sciences Education*, 17(1), ar7.1-8
- Atkinson, R. C., y Shiffrin, R. M. (1968). "Human memory: A proposed system and its control processes", En Spence, K. W. and Spence, J. T. (eds.), *The psychology of learning and motivation: Advances in research and theory*, 2, 89–195.
- Audesirk, T. y Audesirk, G. y Byers, B. (2017). *Biología, La vida en la Tierra*. (10ª. ed.). México: Prentice-Hall, Hispanoamericana.
- Ben-zvi-Assarf, O., y Orion, N. (2005). Un estudio de las percepciones de los estudiantes de secundaria sobre el ciclo del agua. *Journal of Geoscience Education*, 53(4), 366–373. <https://doi.org/10.5408/1089-9995-53.4.366>
- Camacho, F. F., García-Rivera, B., Islas, A. B., y Cázares, L. G. (2017). Diseño y validación de un instrumento para analizar las representaciones externas de estudiantes de bachillerato sobre genética. *Revista Iberoamericana de Evaluación Educativa*, 10(2), 151-169.
- Chin, C. K. y Mageswary, K. (November 2013). Improving water cycle education through water cycle role-play. En Fifth International Conference On Science And Mathematics Education. Cosmed Penang, Malaysia.
- Cobo, B., y Díaz, C. (2003). Media, mediana y moda ¿qué significa esto para los estudiantes de secundaria? En 27 Congreso Nacional de Estadística e Investigación Operativa.
- Diez de Tancredi, D. y Caballero, C. (2004). Representaciones externas de los conceptos Biológicos de gen y cromosoma. Su aprendizaje significativo. *Revista de investigación*, 28 (56), 91-121.
- Díez, J. (2014). El agua: una herramienta clave en la educación para el desarrollo sostenible. *Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências*, 14(2), 109-123.
- Do Carmo, J. M. (2021). Ideas de los alumnos sobre cambios de estado del agua y su evolución con una formación docente. *Ápice. Revista De Educación Científica*, 5(1), 87–99. <https://doi.org/10.17979/arec.2021.5.1.5715>
- Eilam, B., y Poyas, Y. (2010). External visual representations in science learning: The case of relations among system components. *International Journal of Science Education*, 32(17), 2335-2366.
- Eitel, A., Scheiter, K., Schüler, A., Nyström, M., y Holmquist, (2013). Cómo una imagen facilita el proceso de aprendizaje del texto: evidencia de andamiaje. *Learning and Instruction*. 28, 48-63.

- Evagoro, M., Erduran, S. y Mantyla, T. (2015). The role of visual representations in scientific practices: from conceptual understanding and knowledge generation to 'seeing' how science works. *Revista Internacional de Educación STEM*. 2 (11), 1-13. <https://doi.org/10.1186/s40594-015-0024>.
- Eysenck, M y Keane, M. (1990). *Cognitive Psychology a student's handbook*. Lawrence Erlbaum Associates Ltd., Publisher. 2da reimpression.
- Fandel, CA., Breshears, DD y McMahon, EE. (2018). Implicit assumptions of conceptual diagrams in environmental science and best practices for their illustration. *Ecosphere* 9(1), e02072. 10.1002/ecs2.2072
- Florián, E., Cavhalo, E. y Pavini, E. (2019) Parámetros pedagógicos e estadísticos no estudio de ítems contenido lenguaje gráfica presentes no Examen Nacional do Ensino Medio. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias* 18(3), 478-495. Consultado 30 de enero de 2022 en <http://revistas.educacioneditora.net/index.php/REEC/article/view/345>.
- González-García, F., y Fernández Ferrer, G. (2010). Diferencias entre analizar, explicar y producir una imagen: Aplicación al estudio de los esquemas de conocimiento sobre aguas subterráneas en estudiantes universitarios.
- Greca, I. y Moreira, M. A. (2000). Mental models, conceptual models, and modelling. *International Journal of Science Education*, 22 (1), 1-11.
- Guisasola J., Ametller J., y Zuza K. (2021) Investigación basada en el diseño de Secuencias de Enseñanza-Aprendizaje: una línea de investigación emergente en Enseñanza de las Ciencias. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias* 18(1), 1801. doi: 10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2021.v18.i1.1801
- Hettmannsperger, R, Mueller, A, Scheid, J, Y, Schnotz, W (2016). 'Developing conceptual understanding in ray optics via learning with multiple representations', *Zeitschrift Für Erziehungswissenschaft*, 19(1), 235–255. <https://doi.org/10.1007/s11618-015-0655-1>.
- Hurtado de Barrera, J. (2010). Metodología de la Investigación. Guía para la comprensión holística de la ciencia. Caracas: Quirón Ediciones.
- Idoyaga, I. J., Vargas-Badilla, L., Moya, C. N., Montero-Miranda, E., Maeyoshimoto, J. E., Capuya, F. G., y Arguedas-Matarrita, C. (2021). Conocimientos del profesorado universitario sobre la enseñanza de la química con laboratorios remotos. *Educación química*, 32(4), 154-167.
- Jaén, M., Esteve, P., y Baños González, I. (2018). Problemáticas ambientales en las que confluyen ciclos biogeoquímicos: propuesta para la educación secundaria. *Ápice. Revista de Educación Científica*, 2(1), 30-39.
- Jáuregui, M. y Razumiejczyk, E. (2011). Memoria y aprendizaje: una revisión de los aportes cognitivos. *Revista virtual de la facultad de psicología y psicopedagogía de la universidad del salvador*. 26, 20-44 Consultado 10 de enero 2022 <https://racimo.usal.edu.ar/4501/1/174-712-1-PB.pdf>
- Kozma, R. y Russell, J. (2005). Students becoming chemists: developing

- representational competence. In J.K. Gilbert (Ed.). *Visualization in science education* (pp. 121-146). Dordrecht: Springer.
- Lemke, J. L. (1994). Semiotics and the deconstruction of conceptual learning. *Journal of Accelerative Learning and Teaching* 19, 67-110.
- Lemke, J. L. (2004). The literacies of science. In E. W. Saul (Ed.), *Crossing borders in literacy and science instruction: Perspectives on theory and practice* (pp. 33 - 47). Arlington, VA: International Reading Asociación.
- Lombardi, C. (2021). El carácter multimodal del lenguaje disciplinar, implicaciones pedagógicas. Trabajo de ascenso a la categoría titular de la Universidad Central de Venezuela, Caracas: Universidad Central de Venezuela.
- Lombardi, G. (2009). *Las representaciones pictóricas como problema de aprendizaje. El caso del equilibrio químico*. [Tesis doctoral. Universidad de Burgos], Burgos.
- Lombardi, G. y Caballero, C. (2012). El discurso multimodal de la química y el aprendizaje de proposiciones. *Investigações em Ensino de Ciências*, 17(3),. 721-734. 18.
- Lombardi, G. (2021). *El carácter multimodal del lenguaje disciplinar tiene implicaciones pedagógicas*. Trabajo de ascenso a la categoría titular de la Universidad Central de Venezuela.
- Lombardi, G. (2023). Aprender para comprender y resolver problemas. Las habilidades de aprendizaje en contextos disciplinares. Asignatura pensamiento estratégico en el programa de admisión integral área desarrollo habilidades. Programa de admisión integral Samuel Robinson. (admisión, formación, e investigación). Revista nro. 1. Primer semestre 2023.
- López-Canto, F. (2020). La representación visual del conocimiento científico y su naturaleza epistémica, heurística y comunicativa. *Revista de Filosofía Moral y Política* 62, 91-108, ISSN: 1130-2097 <https://doi.org/10.3989/isegoria.2020.062.05>
- López-Manjón, A. y Postigo, Y. (2014) Análisis de las imágenes del cuerpo humano en libros de texto españoles de primaria. *Enseñanza de ciencias*,32(3), 551-570. <http://dx.doi.org/10.5565/rev/ensciencias.1319>
- Maldonado-González, F., González-García, F. y Jiménez-Tejada, M. (2007). Las ilustraciones de los ciclos biogeoquímicos del carbono y nitrógeno en los textos de secundaria *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, vol. 4(3), 442-460
- Márquez-Bergallo, C. (2005). Aprender ciencias a través del lenguaje. [en línea] *Educar*, no. 33, abril-junio, <http://www.educacion.jalisco.gob.mx>> [Consulta: 20 de febrero de mayo de 2022.
- Márquez, C., y Bach, J. B. (2007). Una propuesta de análisis de las representaciones de los alumnos sobre el ciclo del agua. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 15(3), 280-286.
- Martí, E. (2017). Body, culture and cognition: avoiding reductionist temptations/Cuerpo, cultura y cognición: sorteando las tentaciones reduccionistas.

- Studies in Psychology*, 38(1), 140-168.
- Matuano, C. y Mazzitelli, C. (2018). Enseñar ciencias naturales ayer, hoy y ¿siempre? *Revista de la enseñanza de la física*, 30 (1), 49-62.
- Mayer, R. E. (2005). Multimedia Learning: Guiding Visuospatial Thinking with Instructional Animation. En P. Shah (Ed.) y A. Miyake, *The Cambridge Handbook of Visuospatial Thinking* (pp. 477–508). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511610448.013>
- Mejía, A. G., y Londoño, C. E. (2023). Educación ambiental y producción agropecuaria sostenible: una estrategia para la seguridad alimentaria. *Ánfora*, 30(55), 105-141.
- Nielsen, W., & Yeo, J. (2022). Introduction to the special issue: Multimodal meaning-making in science. *Research in Science Education*, 52(3), 751-754.
- Nyachwaya, J. M., & Gillaspie, M. (2016). Features of representations in general chemistry textbooks: a peek through the lens of the cognitive load theory. *Chemistry Education Research and Practice*, 17(1), 58-71.
- Offerdahl, E. G., Arneson, J. B., y Byrne, N. (2017). Lighten the load: Scaffolding visual literacy in biochemistry and molecular biology. *CBE Life Science Education*, 16(1), 1-11.
- Otero, M. R., Moreira, M. A. y Greca, I. (2002). El uso de imágenes en textos de Física para la enseñanza secundaria y universitaria. *Investigações em Ensino de Ciências*, 7(2), 127-154.
- Paivio, A. (1986). *Mental representations: A dual coding approach*. Nueva York: Oxford University Press.
- Pauwels, L. (2006). Un marco teórico para evaluar las prácticas de representación visual en la construcción del conocimiento y la comunicación científica. En L Pauwels (Ed.), *Culturas visuales de la ciencia: repensar las prácticas de representación en la construcción del conocimiento y la comunicación científica* (1–25). Líbano, NH: Dartmouth College Press.
- Perales, F. J. y Jiménez, J. D. (2002). Las ilustraciones en la enseñanza-aprendizaje de las ciencias. Análisis de libros de texto. *Enseñanza de las Ciencias*, 20(3), pp. 369- 386.
- Postigo, Y., y López-Manjón, A. (2012). Representaciones visuales del cuerpo humano: análisis de los nuevos libros de primaria de ciencias naturales en la reforma educativa mexicana. *Revista mexicana de investigación educativa*, 17(53), 593-629. Recuperado en 28 de julio de 2022, de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-66662012000200013&lng=es&tlng=es.
- Postigo, Y., y Pozo, J. (2000). Cuando una gráfica vale más que 1.000 datos: la interpretación de gráficas por alumnos adolescentes, *Infancia y Aprendizaje: Journal for the Study of Education and Development*, 23(90), 89-110. To link to this article: <http://dx.doi.org/10.1174/021037000760087982>.
- Pozo-Muñoz, M. P., Velasco-Martínez, L. C., Martín Gámez, C., y Tójar-Hurtado, J. C. (2021). ¿Qué sabe el alumnado sobre las problemáticas socioambientales del agua

- y su gestión sostenible? Investigación mixta en Educación Primaria. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 18(3), 350101-350116.
- Pozzer-Ardenghi, L. y Roth, W-M. (2003). Prevalence, functions and structure of photographs in high school biology textbooks. *Journal of Research in Science Teaching*, 40(10), 1089-1114.
- Ramadas, J. (2013). Visual Representations of the Water Cycle in Science Textbooks *Contemporary Education Dialogue* 10(1) 7–36.
- Ramírez-Segado, A., Rodríguez-Serrano, M. y Benarroch, A. (2021) El agua en la literatura educativa de las dos últimas décadas. Una revisión sistemática. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias* 18(1), 110701-110722. doi: 10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc. 18 (1)
- Rau, M. (2017). Conditions for the Effectiveness of Multiple Visual Representations in Enhancing STEM Learning. *Educ Psychol Rev* 29, 717–761. <https://doi.org/10.1007/s10648-016-9365-3>.
- Real Academia Española. (2024). Interpretación. En Diccionario de la lengua española (24^a ed).
- Rivas-Ruiz, R., Pérez-Rodríguez, M., & Talavera, J. O. (2013). Investigación clínica XV. Del juicio clínico al modelo estadístico. Diferencia de medias. Prueba t de Studen. *Revista Médica del Instituto Mexicano del Seguro Social*, 51(3), 300-303.
- Santana-Armas, A. I., Cabrera, M. D. C., y Pérez-Torrado, F. J. (2015). Ideas preconcebidas sobre el ciclo del agua y las aguas subterráneas en la educación secundaria de Canarias. II Workshop “Estudio, aprovechamiento y gestión del agua en terrenos e islas volcánicas” Las Palmas de Gran Canaria. 125-132
- Seufert, T. (2003). Supporting coherence formation in learning from multiple representations. *Learning and instruction*, 13(2), 227-237.
- Saux, R., T., Saux, G. y Irazábal, N. Burin, D. (2015). Uso estratégico de representaciones pictóricas en un texto de ciencias con un detalle seductor en lectores con bajo conocimiento previo. *Revista signos. Estudios de Lingüística* 48(89), 400- 424.
- Scheid, J., Muller, A., Hettmannsperger, R. y Schonborn, W. (2019). Improving learners' representational coherence ability with experiment-related representational activity tasks', *Physical Review Physics Education Research*, 15(1), 010142.
- Schönborn. K. J y Anderson, T.R (2010). Bridging the Educational Research Teaching Practice Gap. *Biochemistry and Molecular Biology education*. 38(5), 347–354.
- Stieff, M, y DeSutter, D. (2021). Not representational competence, predicts improved science learning. *J Res Sci Teach*; 58, 128–156. <https://doi.org/10.1002/tea.21650156>
- Tsui, C.-Y., y Tregust, D. F. (2013). Genetics reasoning with multiple external representations. *Research in Science Education*, 33(1), 111-135.
- U.S. Geological Service. (2022). “El Ciclo del Agua – The Water Cycle, Spanish (PNG)” [diagrama]. U.S. Geological Service. Water Science School. Recuperado

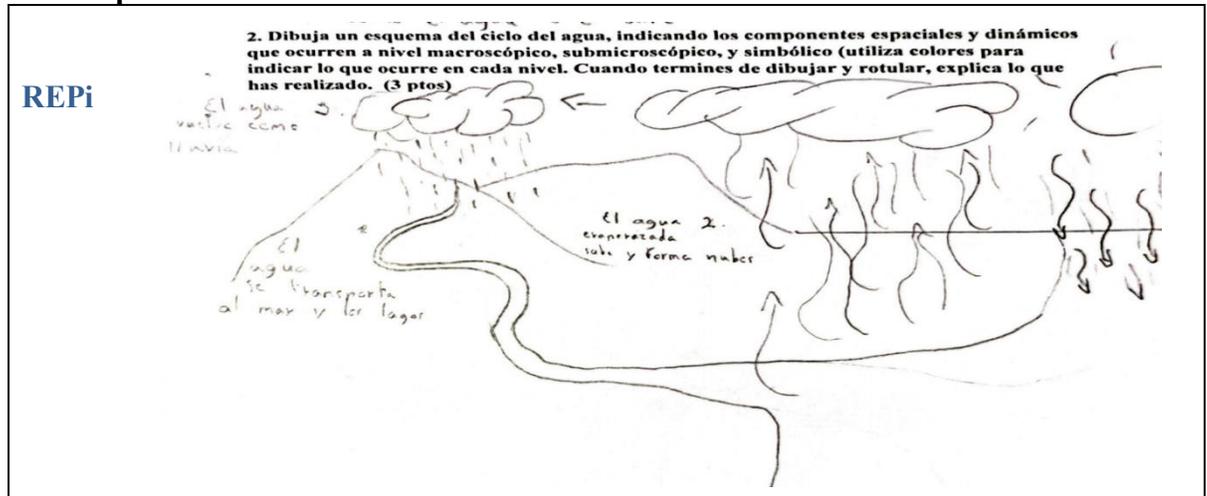
el 20 de marzo de 2023 de <https://www.usgs.gov/media/images/el-ciclo-del-agua-water-cycle-spanish-png>.

- Ursavaş, N., y Oğuzhan, G. (2021). Enhancing Middle School Students' Cognitive Structure of Water Cycle Through the Use of Water Cycle Educational Game. *Kastamonu Eğitim Dergisi*, 29(1), 239-253.
- Wu, H-K. (2003). Linking the microscopic view of chemistry to real-life experiences: intertextuality in a high-school science classroom. *Science Education*, 87, 868-891.
- Yore, L. D., y Hand, B. (2010). Epilogue: Plotting a research agenda for multiple representations, multiple modality, and multimodal representational competency. *Research in Science Education*, 40,93-101.

Anexo A: Resultados por dupla

(REPi; Dibujo inicial; REPm, Dibujo medio; REPf, dibujo final)

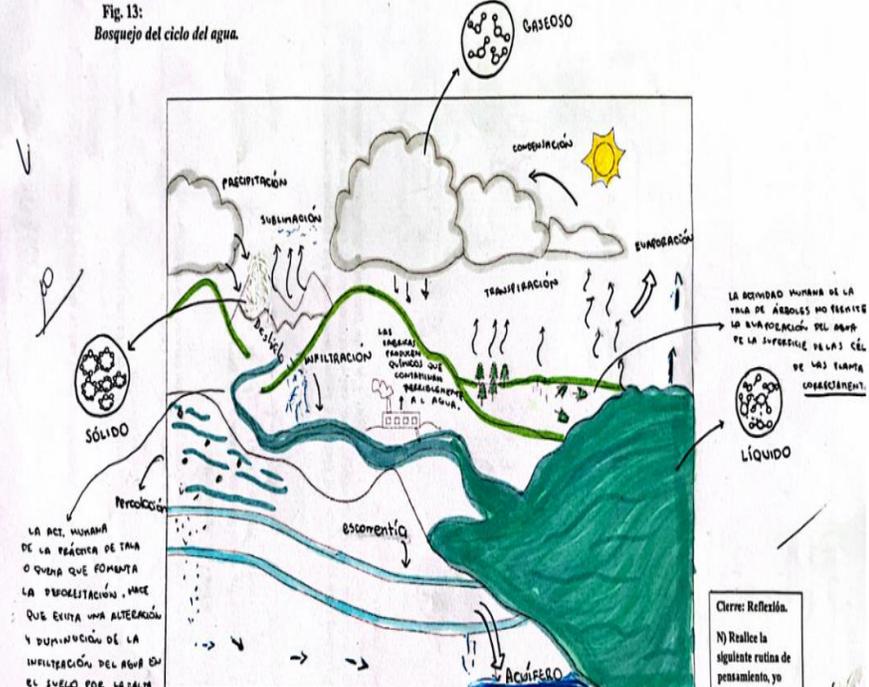
Dupla 1



REPm

Actividad de síntesis: A partir del siguiente dibujo del ciclo del agua (ver Fig. 13): M1) Represente todos los elementos visuales y espaciales estudiados. M2) Realice un zoom (haciendo uso de la simbología utilizada para representar los estados de agregación) para plasmar los procesos que implican cambios de estados. M.3) Represente los procesos de escorrentía, infiltración y percolación. M.4) Represente cómo afecta la actividad humana los diversos procesos dinámicos y reservorios del ciclo del agua. Nota: utilice flechas de diferentes tamaños para representar la magnitud los flujos que ocurren dentro del ciclo.

Fig. 13:
Bosquejo del ciclo del agua.



LA ACTIVIDAD HUMANA DE LA TALA DE ARBOLES DE TAMAÑO QUE PROMUEVE LA DESFORESTACIÓN, HACE QUE EXISTA UNA ALTERACIÓN Y DIMINUCIÓN DE LA INFILTRACIÓN DEL AGUA EN EL SUELO POR LA FALTA DE VEGETACIÓN, ETC.

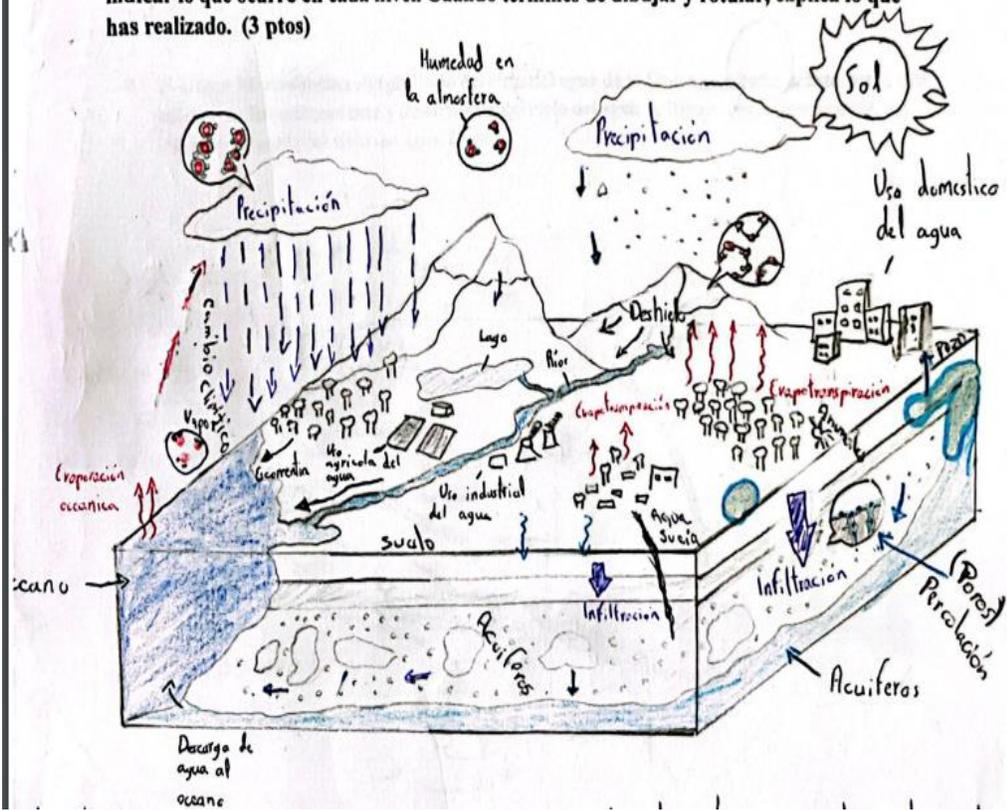
YO PENSABA...
QUE EL CICLO DEL AGUA ERA TAN COMPLETO Y QUE NO TENÍA MUCHA RELEVANCIA

AHORA PIENSO...
QUE EL CICLO DEL AGUA ADEPTA BASTANTE MUCHO MUCHO PLANETA, ADEPTANDO QUE EL AGUA ES UN RECURSO NATURAL NO RENOVABLE, ESTE TIEMPO HA GRAN IMPACTO EN LA ACTIVIDAD HUMANA QUE INFLUYEN EN EL FUNCIONAMIENTO DE EL.

Cierre: Reflexión.
N) Realice la siguiente rutina de pensamiento, yo pensaba y ahora pienso que el ciclo del agua es...

REPF

2. Dibuja un esquema del ciclo del agua, indicando los componentes espaciales y dinámicos que ocurren a nivel macroscópico, submicroscópico, y simbólico (utiliza colores para indicar lo que ocurre en cada nivel. Cuando termines de dibujar y rotular, explica lo que has realizado. (3 pts)



Dupla 2.

REPi:

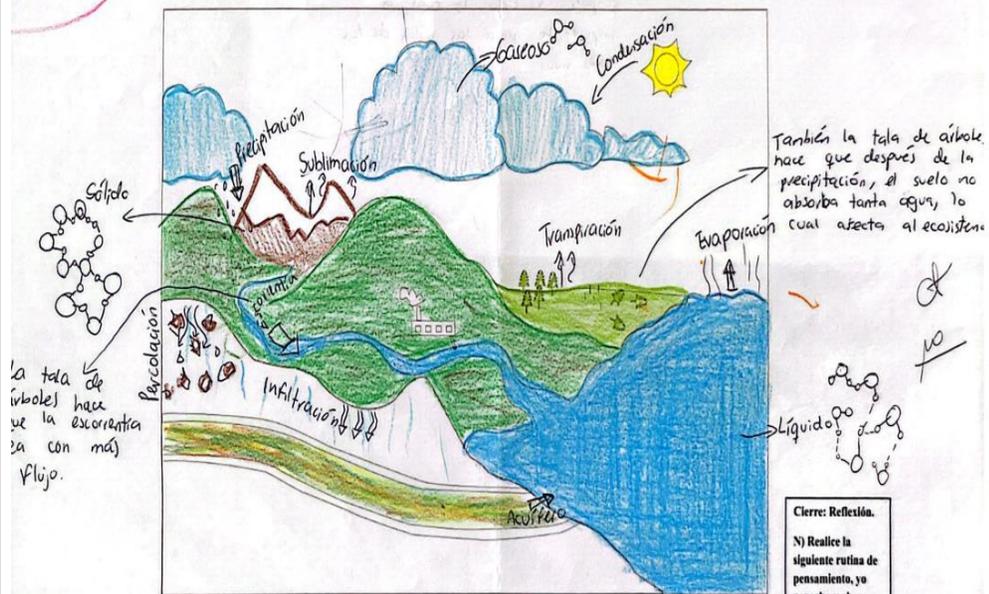
2. Dibuja un esquema del ciclo del agua, indicando los componentes espaciales y dinámicos que ocurren a nivel macroscópico, submicroscópico, y simbólico (utiliza colores para indicar lo que ocurre en cada nivel. Cuando termines de dibujar y rotular, explica lo que has realizado. (3 pts)



REPm

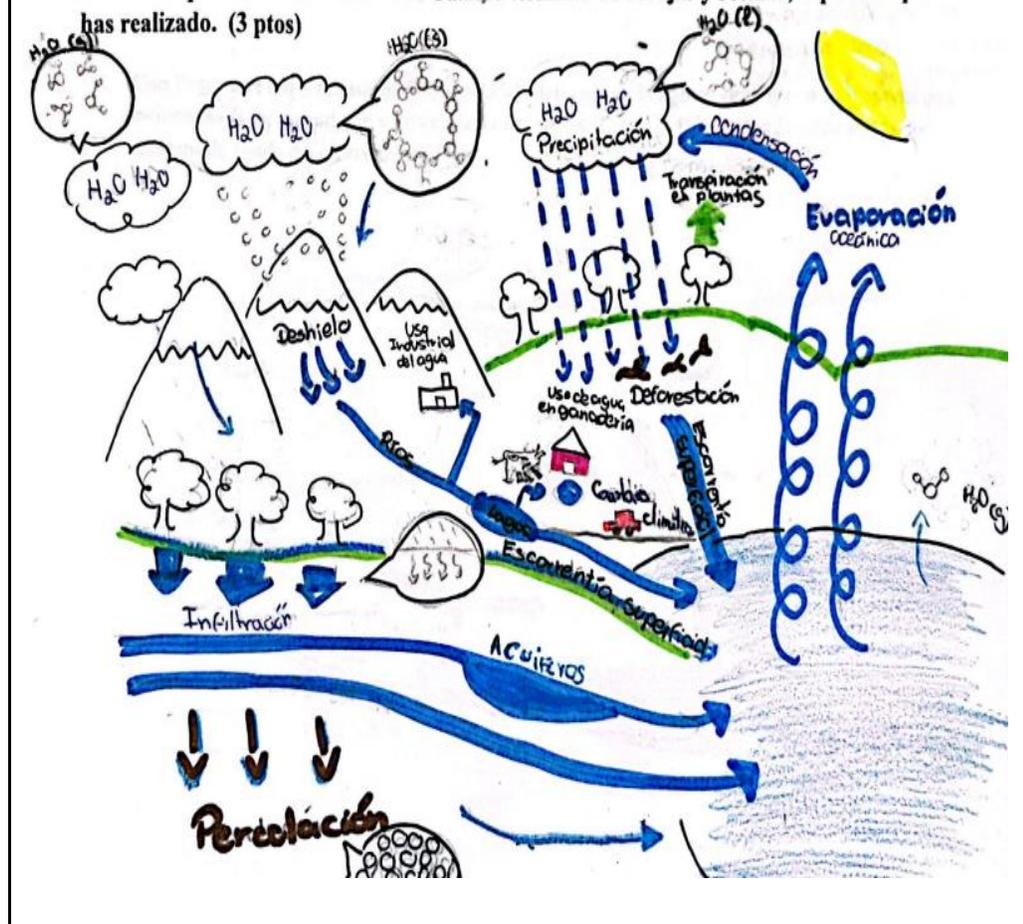
Actividad de síntesis: A partir del siguiente dibujo del ciclo del agua (ver Fig. 13): M1) Represente todos los elementos visuales y espaciales estudiados. M2) Realice un zoom (haciendo uso de la simbología utilizada para representar los estados de agregación) para plasmar los procesos que implican cambios de estados. M.3) Represente los procesos de escorrentía, infiltración y percolación. M.4) Represente cómo afecta la actividad humana los diversos procesos dinámicos y reservorios del ciclo del agua. Nota: utilice flechas de diferentes tamaños para representar la magnitud los flujos que ocurren dentro del ciclo.

Fig. 13:
Bosquejo del ciclo del agua.



REPF

2. Dibuja un esquema del ciclo del agua, indicando los componentes espaciales y dinámicos que ocurren a nivel macroscópico, submicroscópico, y simbólico (utiliza colores para indicar lo que ocurre en cada nivel. Cuando termines de dibujar y rotular, explica lo que has realizado. (3 pts)



Dupla 3

REPi

1. ¿Qué es un ciclo biogeoquímico? (1 pto)
 Es la fertilización de recursos naturales para mantener la vida en la tierra

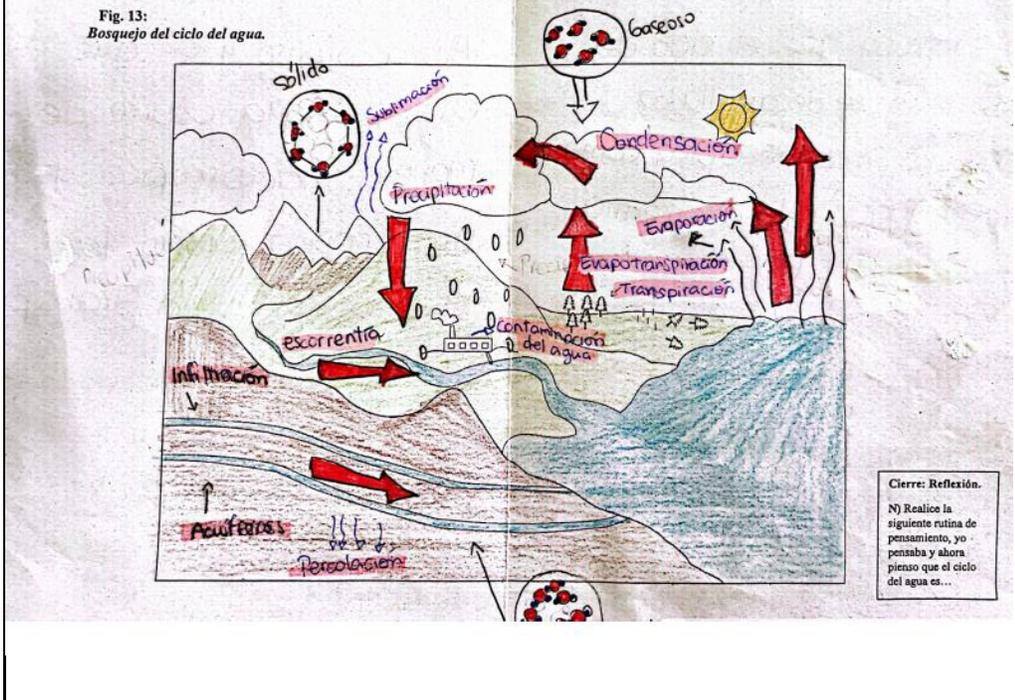
2. Dibuja un esquema del ciclo del agua, indicando los componentes espaciales y dinámicos que ocurren a nivel macroscópico, submicroscópico, y simbólico (utiliza colores para indicar lo que ocurre en cada nivel. Cuando termines de dibujar y rotular, explica lo que has realizado. (3 pts)



REPm

Actividad de síntesis: A partir del siguiente dibujo del ciclo del agua (ver fig. 13): M.1) Represente todos los elementos visuales y espaciales estudiados. M.2) Realice un zoom (haciendo uso de la simbología utilizada para representar los estados de agregación) para plasmar los procesos que implican cambios de estados. M.3) Represente los procesos de escorrentía, infiltración y percolación. M.4) Represente cómo afecta la actividad humana los diversos procesos dinámicos y reservorios del ciclo del agua. Nota: utilice flechas de diferentes tamaños para representar la magnitud los flujos que ocurren dentro del ciclo.

Fig. 13:
 Bosquejo del ciclo del agua.



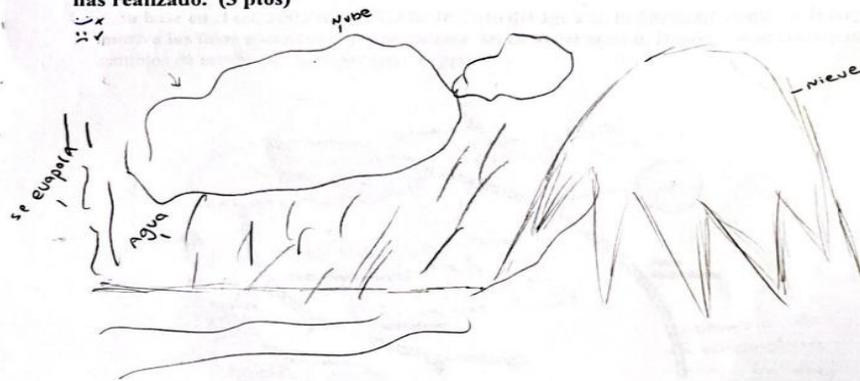
REPF

2. Dibuja un esquema del ciclo del agua, indicando los componentes espaciales y dinámico que ocurren a nivel macroscópico, submicroscópico, y simbólico (utiliza colores para indicar lo que ocurre en cada nivel. Cuando termines de dibujar y rotular, explica lo que has realizado. (3 pts)



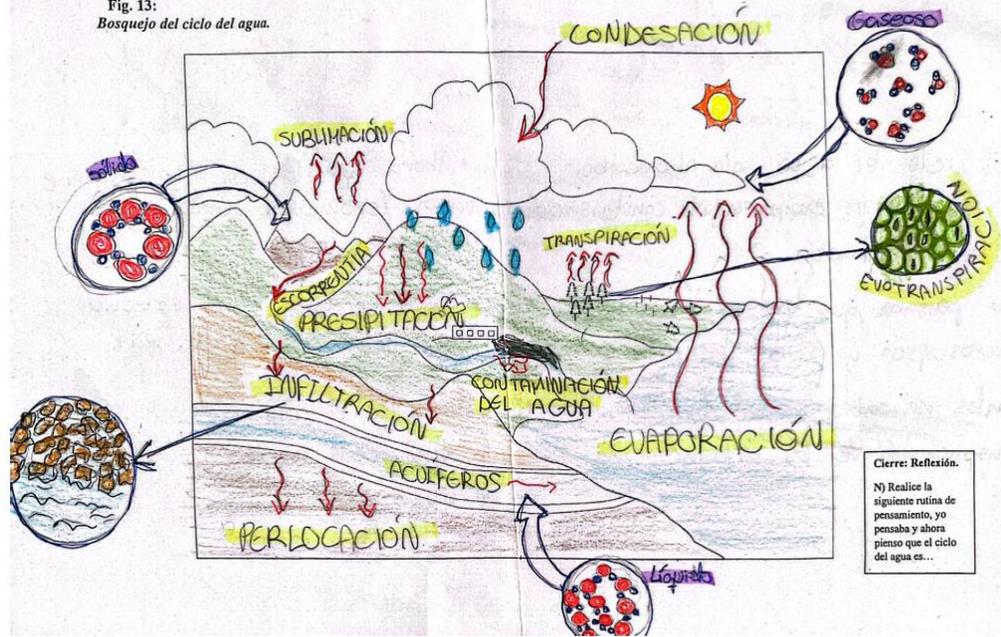
Dupla 4**REPi****Parte I: preguntas de desarrollo****1. ¿Qué es un ciclo biogeoquímico? (1 pto)**

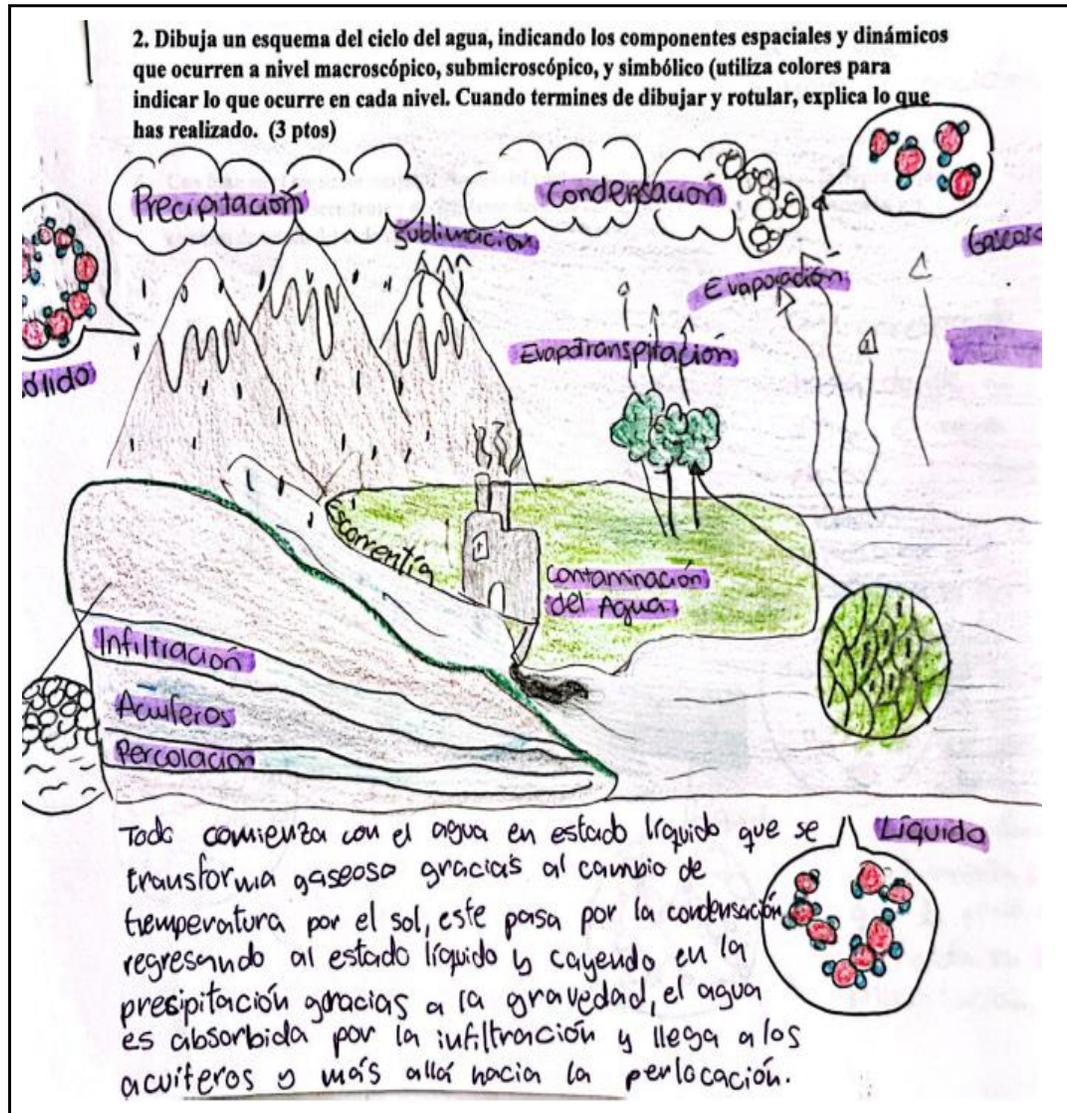
Es la transformación de los elementos químicos en la atmósfera junto a los organismos y la tierra misma.

2. Dibuja un esquema del ciclo del agua, indicando los componentes espaciales y dinámicos que ocurren a nivel macroscópico, submicroscópico, y simbólico (utiliza colores para indicar lo que ocurre en cada nivel. Cuando termines de dibujar y rotular, explica lo que has realizado. (3 ptos)**REPf**

Actividad de síntesis: A partir del siguiente dibujo del ciclo del agua (ver fig. 13): M1) Represente todos los elementos visuales y espaciales estudiados. M2) Realice un zoom (haciendo uso de la simbología utilizada para representar los estados de agregación) para plasmar los procesos que implican cambios de estados. M.3) Represente los procesos de escorrentía, infiltración y percolación. M.4) Represente cómo afecta la actividad humana los diversos procesos dinámicos y reservorios del ciclo del agua. Nota: utilice flechas de diferentes tamaños para representar la magnitud los flujos que ocurren dentro del ciclo.

Fig. 13:
Bosquejo del ciclo del agua.

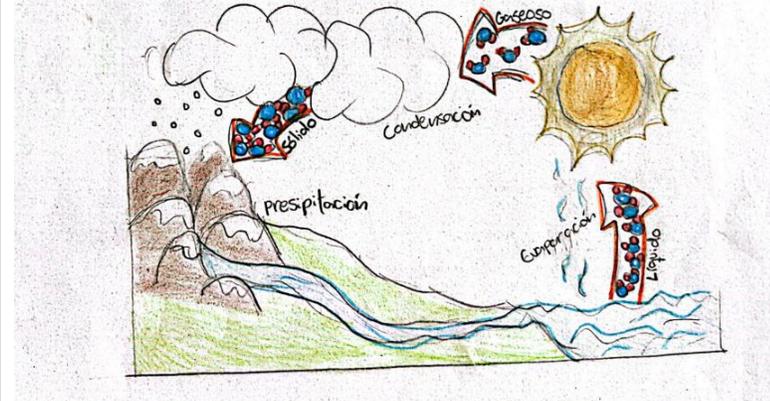




Estudiante 5

REPi

2. Dibuja un esquema del ciclo del agua, indicando los componentes espaciales y dinámicos que ocurren a nivel macroscópico, submicroscópico, y simbólico (utiliza colores para indicar lo que ocurre en cada nivel. Cuando termines de dibujar y rotular, explica lo que has realizado. (3 pts)



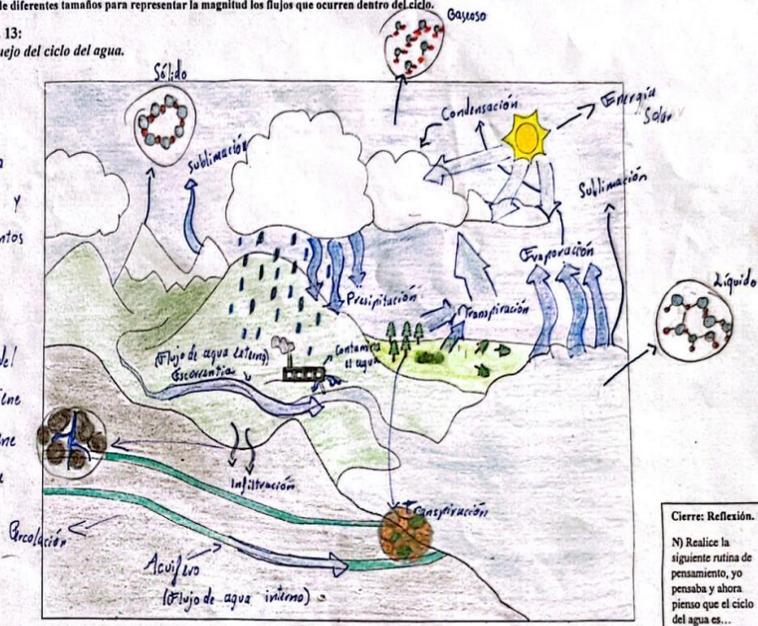
REPm

Actividad de síntesis: A partir del siguiente dibujo del ciclo del agua (ver fig. 13): M1) Represente todos los elementos visuales y espaciales estudiados. M2) Realice un zoom (haciendo uso de la simbología utilizada para representar los estados de agregación) para plasmar los procesos que implican cambios de estado. M.3) Represente los procesos de escorrentía, infiltración y percolación. M.4) Represente cómo afecta la actividad humana los diversos procesos dinámicos y reservorios del ciclo del agua. Nota: utilice flechas de diferentes tamaños para representar la magnitud los flujos que ocurren dentro del ciclo.

Fig. 13: Bosquejo del ciclo del agua.

Antes pensaba:
Que el ciclo del agua
no era tan complejo y
que no habian tantos
subniveles.

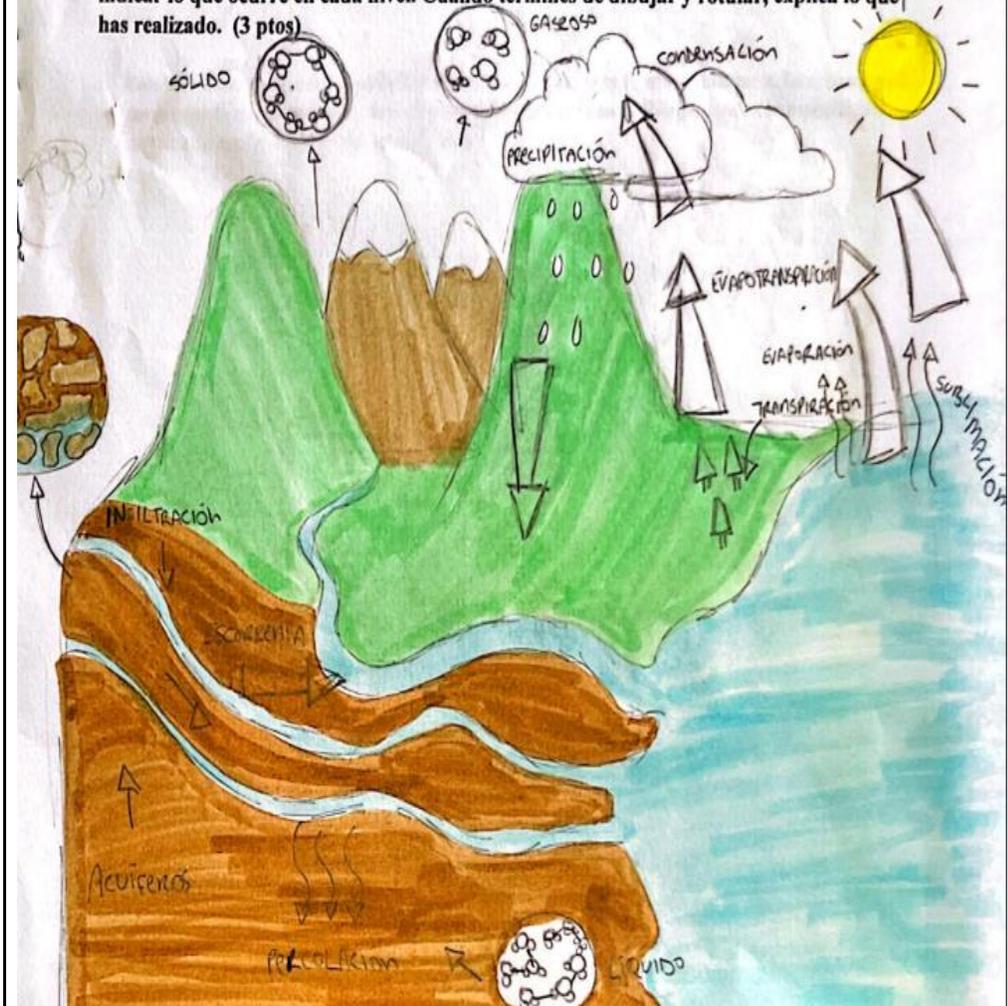
Ahora Pienso:
Pienso que el ciclo del
agua es el que mantiene
el ecosistema y tiene
varias subpartes que
sin ellas muchas
partes del ciclo
no funcionarían y
este se vendría abajo.



Cierre: Reflexión.
N) Realice la siguiente rutina de pensamiento, yo pensaba y ahora pienso que el ciclo del agua es...

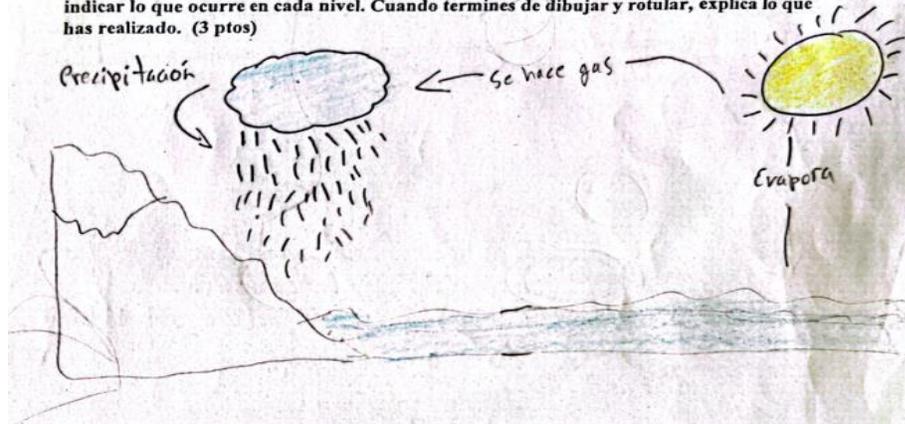
REPF

2. Dibuja un esquema del ciclo del agua, indicando los componentes espaciales y dinámicos que ocurren a nivel macroscópico, submicroscópico, y simbólico (utiliza colores para indicar lo que ocurre en cada nivel. Cuando termines de dibujar y rotular, explica lo que has realizado. (3 pts)



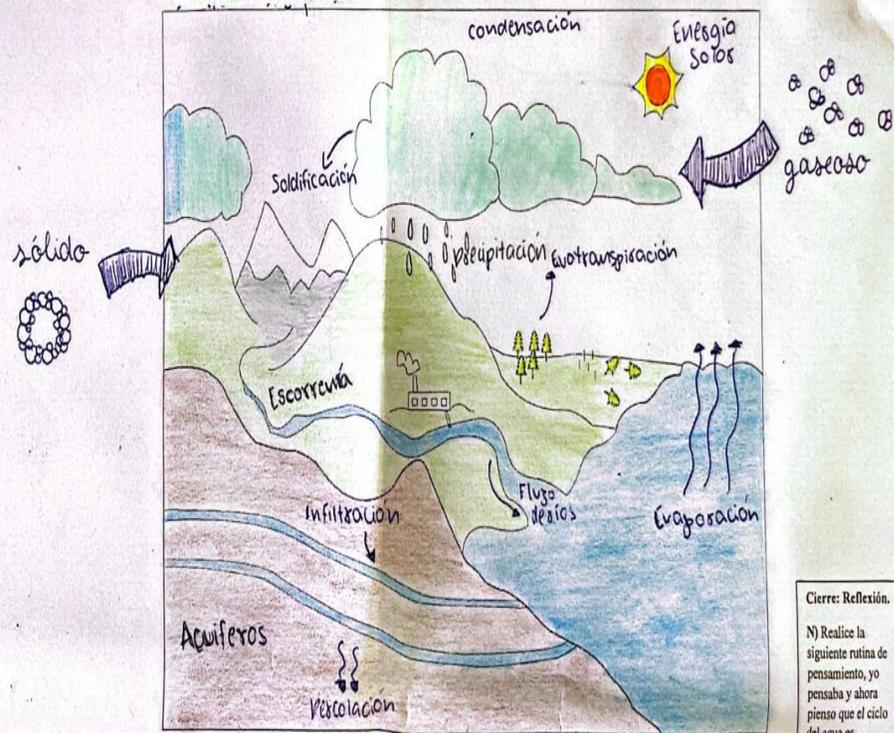
Dupla 6.**REPi**

2. Dibuja un esquema del ciclo del agua, indicando los componentes espaciales y dinámicos que ocurren a nivel macroscópico, submicroscópico, y simbólico (utiliza colores para indicar lo que ocurre en cada nivel. Cuando termines de dibujar y rotular, explica lo que has realizado. (3 pts)

**REPm**

Actividad de síntesis: A partir del siguiente dibujo del ciclo del agua (ver fig. 13): M1) Represente todos los elementos visuales y espaciales estudiados. M2) Realice un zoom (haciendo uso de la simbología utilizada para representar los estados de agregación) para plasmar los procesos que implican cambios de estados. M.3) Represente los procesos de escorrentía, infiltración y percolación. M.4) Represente cómo afecta la actividad humana los diversos procesos dinámicos y reservorios del ciclo del agua. Nota: utilice flechas de diferentes tamaños para representar la magnitud los flujos que ocurren dentro del ciclo.

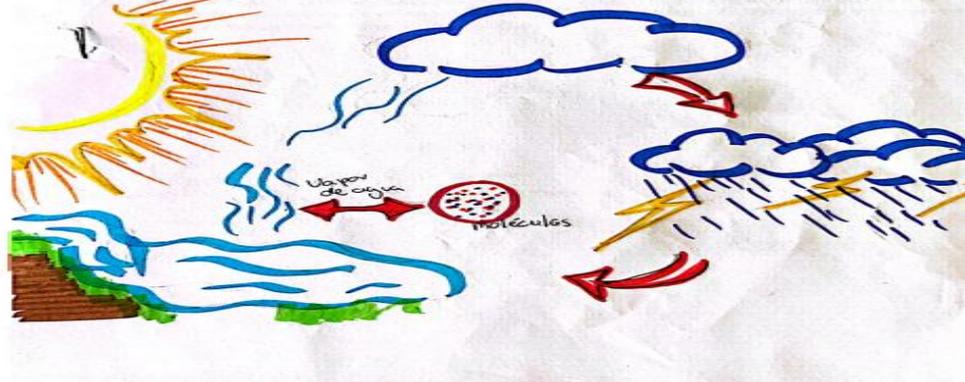
Fig. 13:
Bosquejo del ciclo del agua.





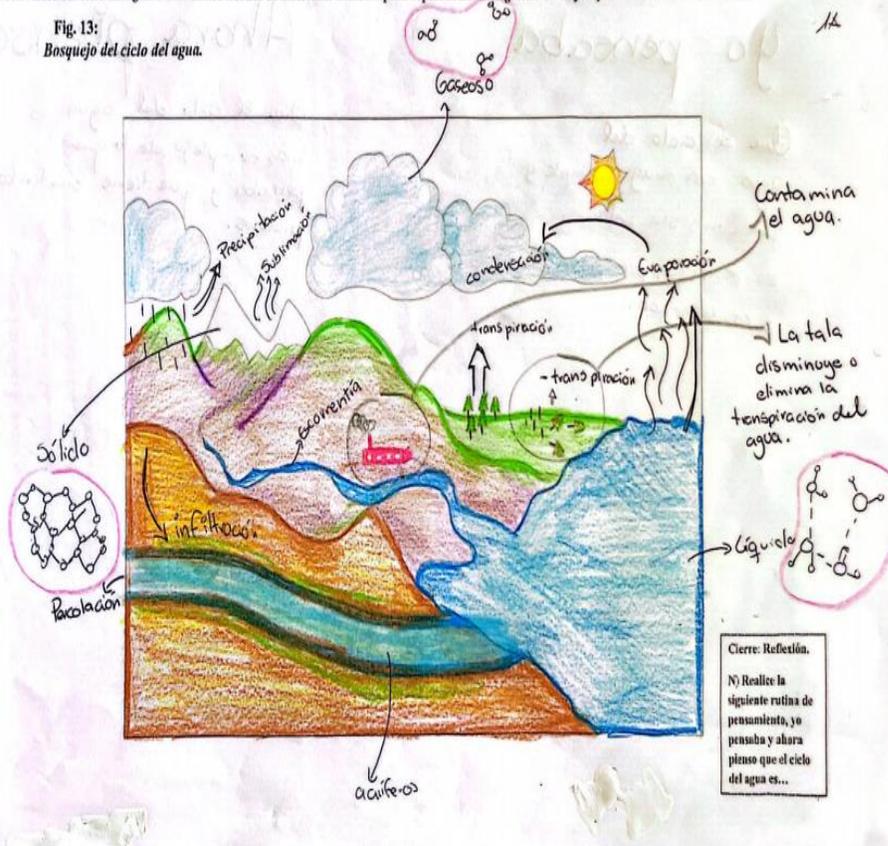
Dupla 7:**REpi**

2. Dibuja un esquema del ciclo del agua, indicando los componentes espaciales y dinámicos que ocurren a nivel macroscópico, submicroscópico, y simbólico (utiliza colores para indicar lo que ocurre en cada nivel. Cuando termines de dibujar y rotular, explica lo que has realizado. (3 pts)

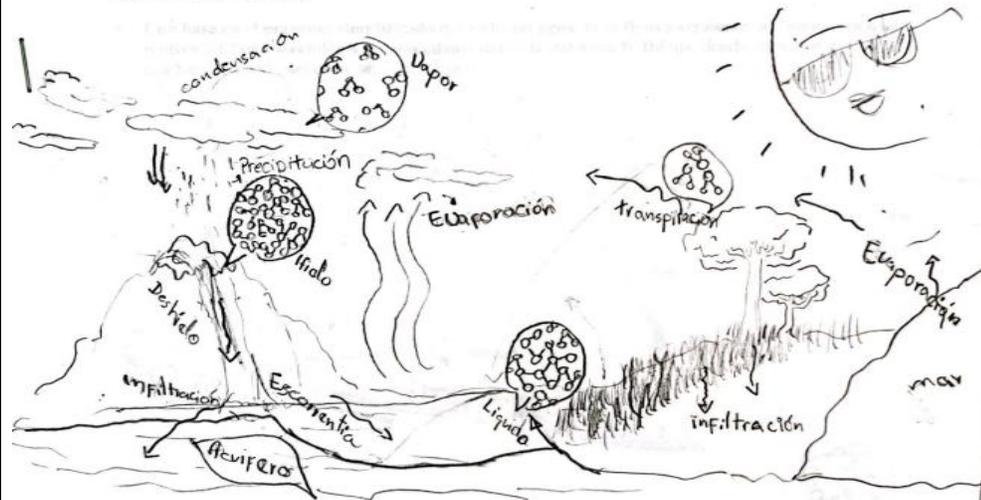
**REPm**

Actividad de síntesis: A partir del siguiente dibujo del ciclo del agua (ver Fig. 13): M1) Represente todos los elementos visuales y espaciales estudiados, M2) Realice un zoom (haciendo uso de la simbología utilizada para representar los estados de agregación) para plasmar los procesos que implican cambios de estados, M.3) Represente los procesos de escorrentía, infiltración y percolación. M.4) Represente cómo afecta la actividad humana los diversos procesos dinámicos y reservorios del ciclo del agua. Nota: utilice flechas de diferentes tamaños para representar la magnitud los flujos que ocurren dentro del ciclo.

Fig. 13:
Bosquejo del ciclo del agua.



2. Dibuja un esquema del ciclo del agua, indicando los componentes espaciales y dinámicos que ocurren a nivel macroscópico, submicroscópico, y simbólico (utiliza colores para indicar lo que ocurre en cada nivel. Cuando termines de dibujar y rotular, explica lo que has realizado. (3 pts)

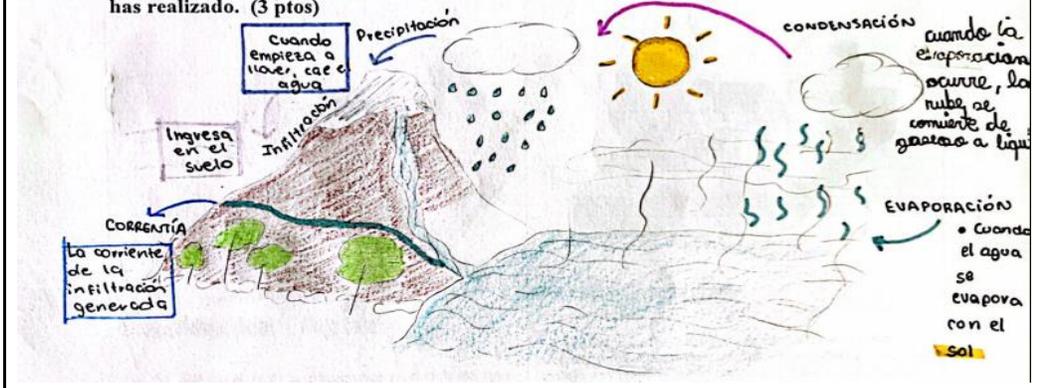


Lo que hemos realizado es representar lo que ocurre en el ciclo del agua a nivel submicroscópico (las moléculas del agua en estado líquido, sólido y gaseoso), a nivel macroscópico representamos la precipitación, la condensación y la evaporación, además graficamos la naturaleza como representación simbólica y dibujos.

Dupla 8

REPi

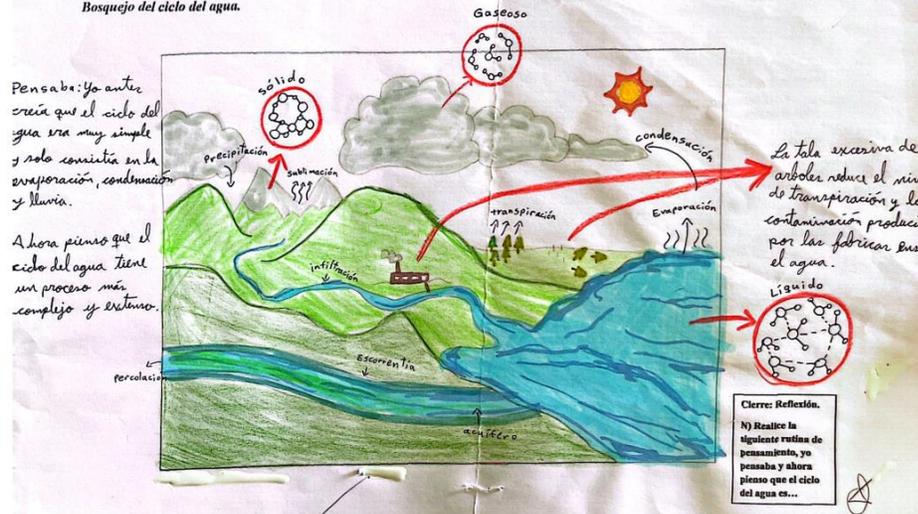
2. Dibuja un esquema del ciclo del agua, indicando los componentes espaciales y dinámicos que ocurren a nivel macroscópico, submicroscópico, y simbólico (utiliza colores para indicar lo que ocurre en cada nivel. Cuando termines de dibujar y rotular, explica lo que has realizado. (3 pts)



REPm

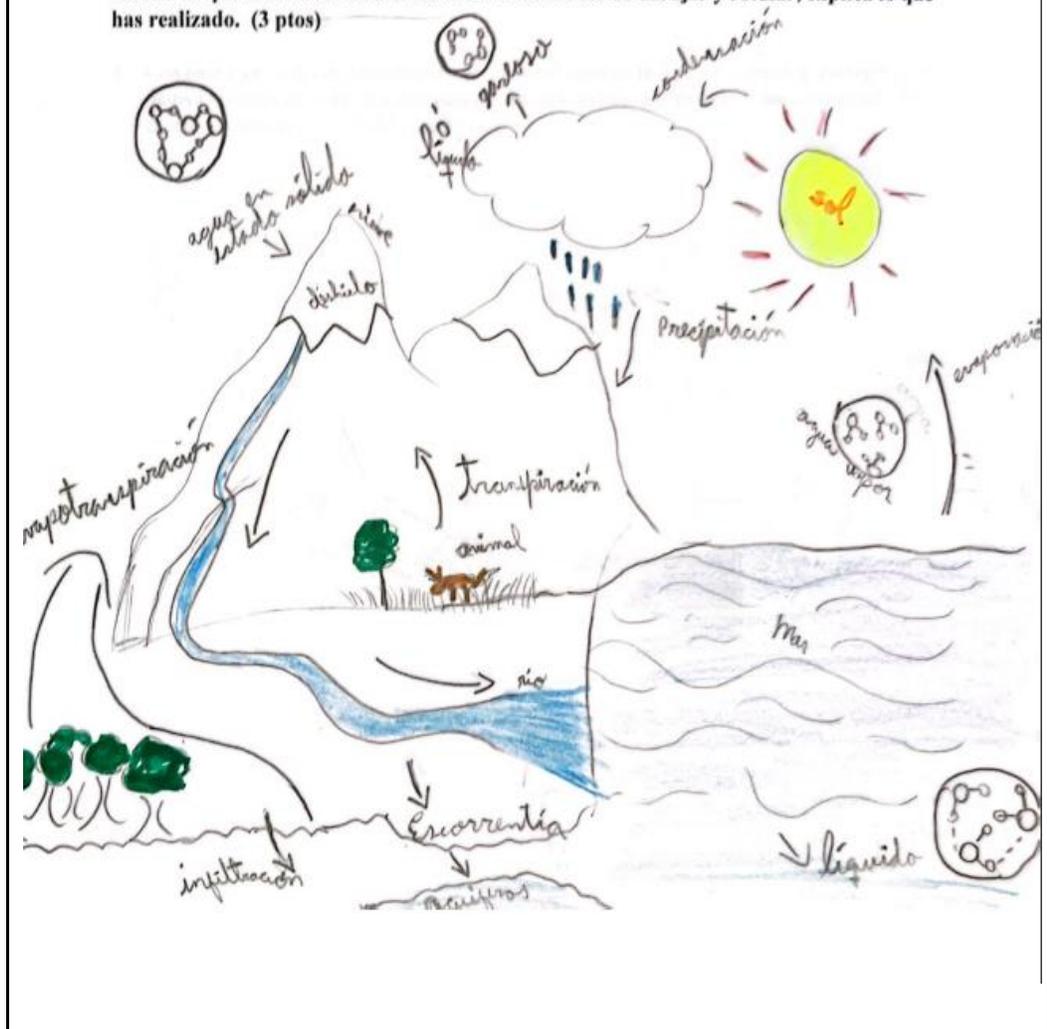
Actividad de síntesis: A partir del siguiente dibujo del ciclo del agua (ver Fig. 13): M1) Represente todos los elementos visuales y espaciales estudiados. M2) Realice un zoom (haciendo uso de la simbología utilizada para representar los estados de agregación) para plasmar los procesos que implican cambios de estados. M.3) Represente los procesos de escorrentía, infiltración y percolación. M.4) Represente cómo afecta la actividad humana los diversos procesos dinámicos y reservorios del ciclo del agua. Nota: utilice flechas de diferentes tamaños para representar la magnitud los flujos que ocurren dentro del ciclo.

Fig. 13: Bosquejo del ciclo del agua.



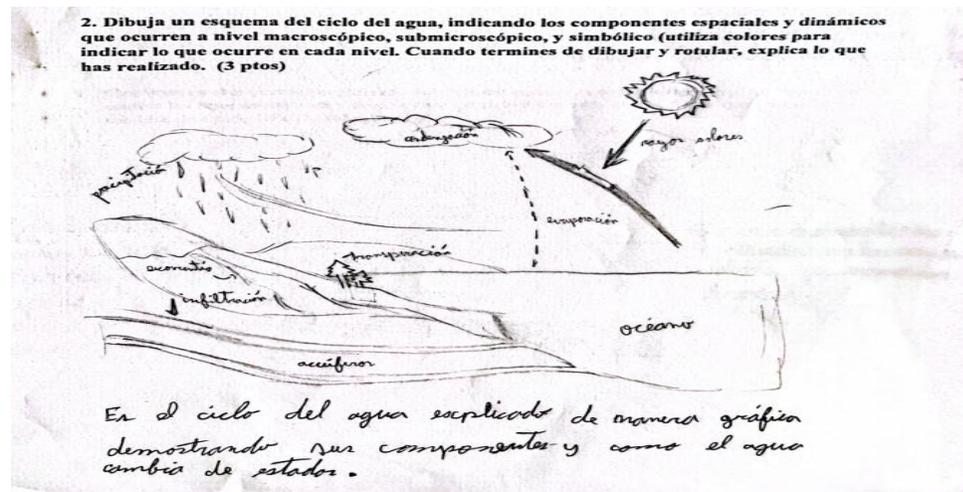
REPF

2. Dibuja un esquema del ciclo del agua, indicando los componentes espaciales y dinámicos que ocurren a nivel macroscópico, submicroscópico, y simbólico (utiliza colores para indicar lo que ocurre en cada nivel. Cuando termines de dibujar y rotular, explica lo que has realizado. (3 pts)



Dupla 9.

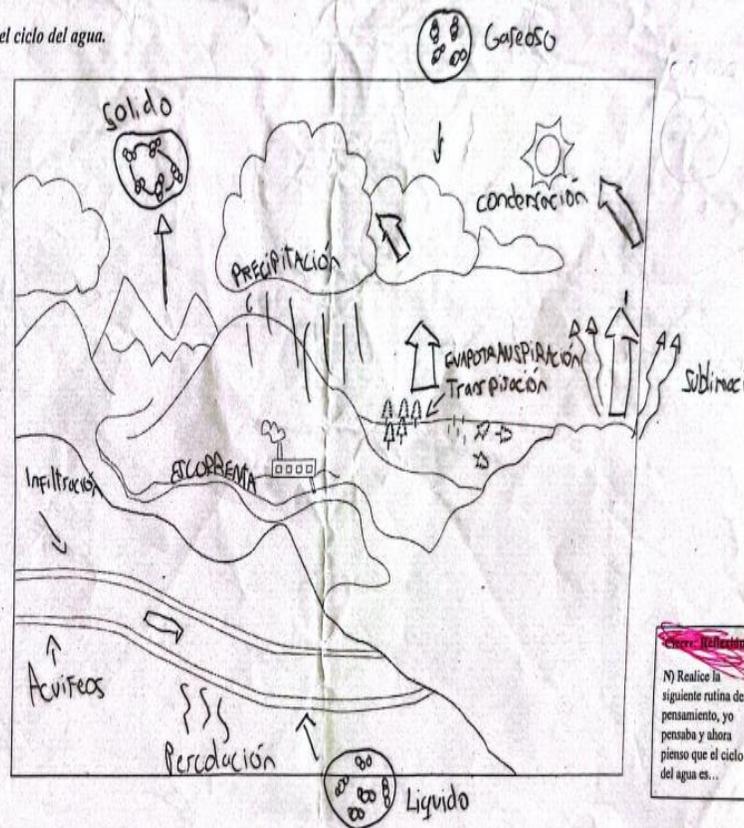
REPi



REPM

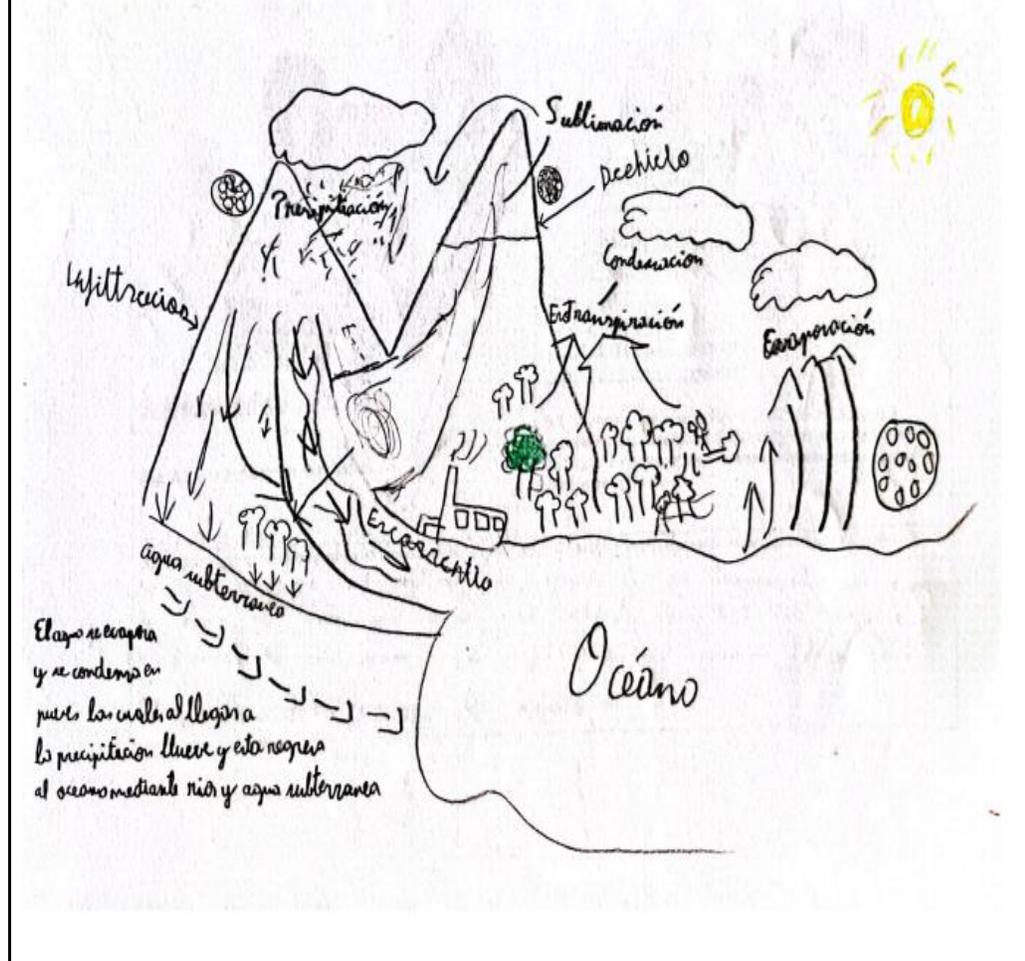
Actividad de síntesis: A partir del siguiente dibujo del ciclo del agua (ver fig. 13): M1) Represente todos los elementos visuales y espaciales estudiados. M2) Re zoom (haciendo uso de la simbología utilizada para representar los estados de agregación) para plasmar los procesos que implican cambios de estados. M.3) Represente los procesos de escorrentía, infiltración y percolación. M.4) Represente cómo afecta la actividad humana los diversos procesos dinámicos y reservorios del ciclo del agua. No utilice flechas de diferentes tamaños para representar la magnitud los flujos que ocurren dentro del ciclo.

Fig. 13:
Bosquejo del ciclo del agua.



REPF

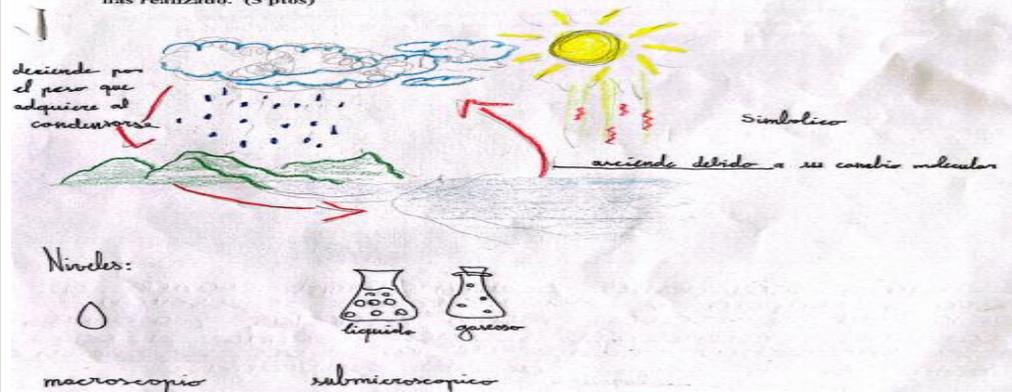
2. Dibuja un esquema del ciclo del agua, indicando los componentes espaciales y dinámicos que ocurren a nivel macroscópico, submicroscópico, y simbólico (utiliza colores para indicar lo que ocurre en cada nivel. Cuando termines de dibujar y rotular, explica lo que has realizado. (3 pts)



Dupla 10

REPi

2. Dibuja un esquema del ciclo del agua, indicando los componentes espaciales y dinámicos que ocurren a nivel macroscópico, submicroscópico, y simbólico (utiliza colores para indicar lo que ocurre en cada nivel. Cuando termines de dibujar y rotular, explica lo que has realizado. (3 pts)



REPm

Actividad de síntesis: A partir del siguiente dibujo del ciclo del agua (ver fig. 13): M1) Represente todos los elementos visuales y espaciales estudiados. M2) Realice un zoom (haciendo uso de la simbología utilizada para representar los estados de agregación) para plasmar los procesos que implican cambios de estados. M3) Represente los procesos de escorrentía, infiltración y percolación. M4) Represente cómo afecta la actividad humana los diversos procesos dinámicos y reservorios del ciclo del agua. Nota: utilice flechas de diferentes tamaños para representar la magnitud los flujos que ocurren dentro del ciclo.

Fig. 13:
Bosquejo del ciclo del agua.

Precolación:
Flujo del agua o
de otro líquido
a través de los
poros o intersticios
de una capa
permeable

Como afecta a
la actividad
humana?
Las fabricas
contaminan el
agua, reducen
la infiltración y
acuíferos

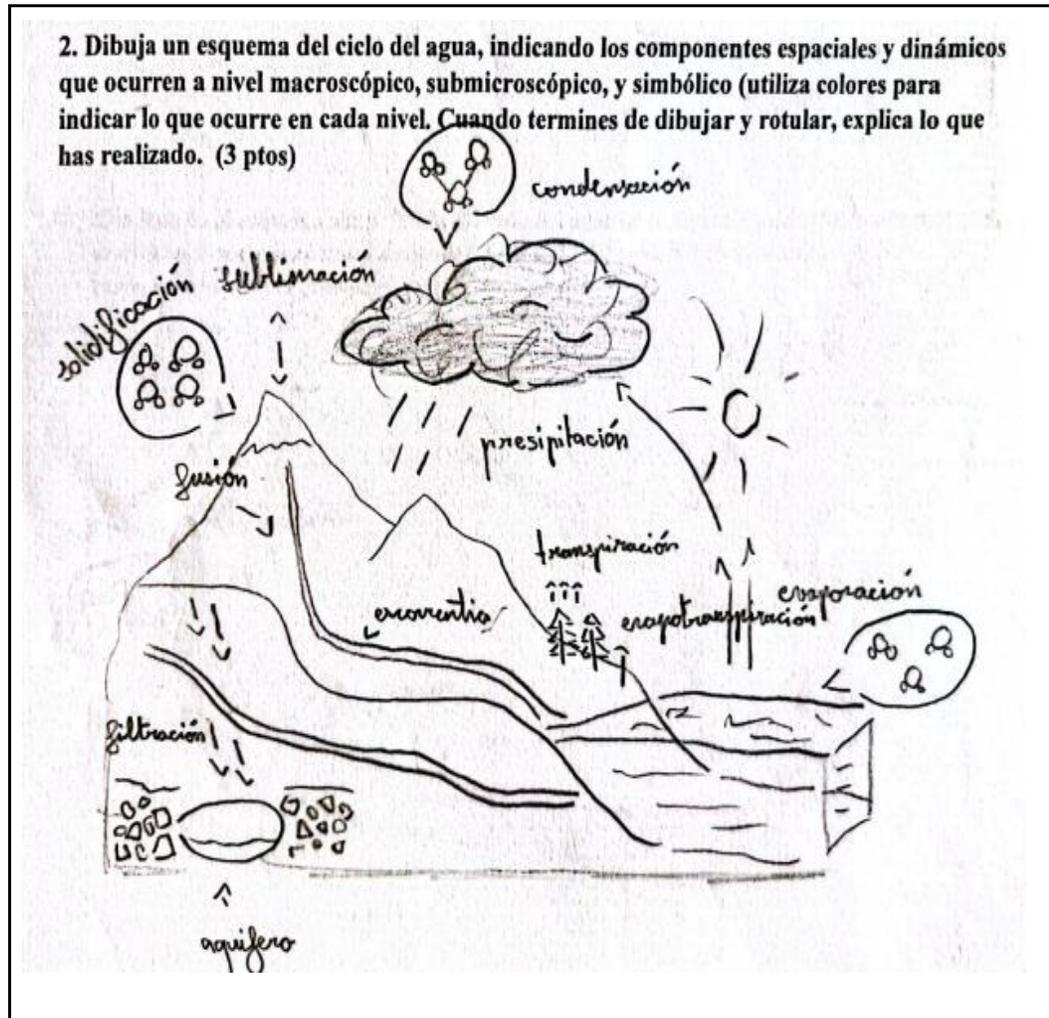


Rutina:
Antes pensaba
que los
ciclos del agua
era precipitación
infiltración y
Ahora pienso
que el ciclo del
agua es el que
atravesamos a lo
cuerpo sistema

Cierre: Reflexión.

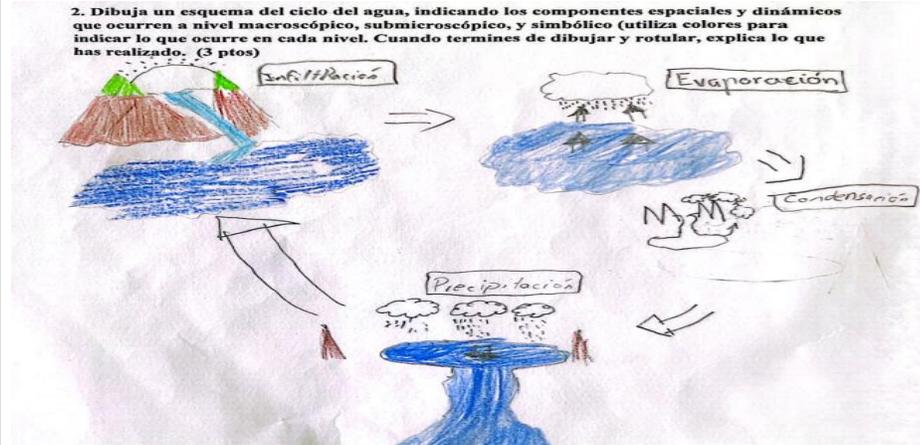
N) Realice la
siguiente rutina de
pensamiento, yo
pensaba y ahora
pienso que el ciclo
del agua es...

2. Dibuja un esquema del ciclo del agua, indicando los componentes espaciales y dinámicos que ocurren a nivel macroscópico, submicroscópico, y simbólico (utiliza colores para indicar lo que ocurre en cada nivel. Cuando termines de dibujar y rotular, explica lo que has realizado. (3 pts)



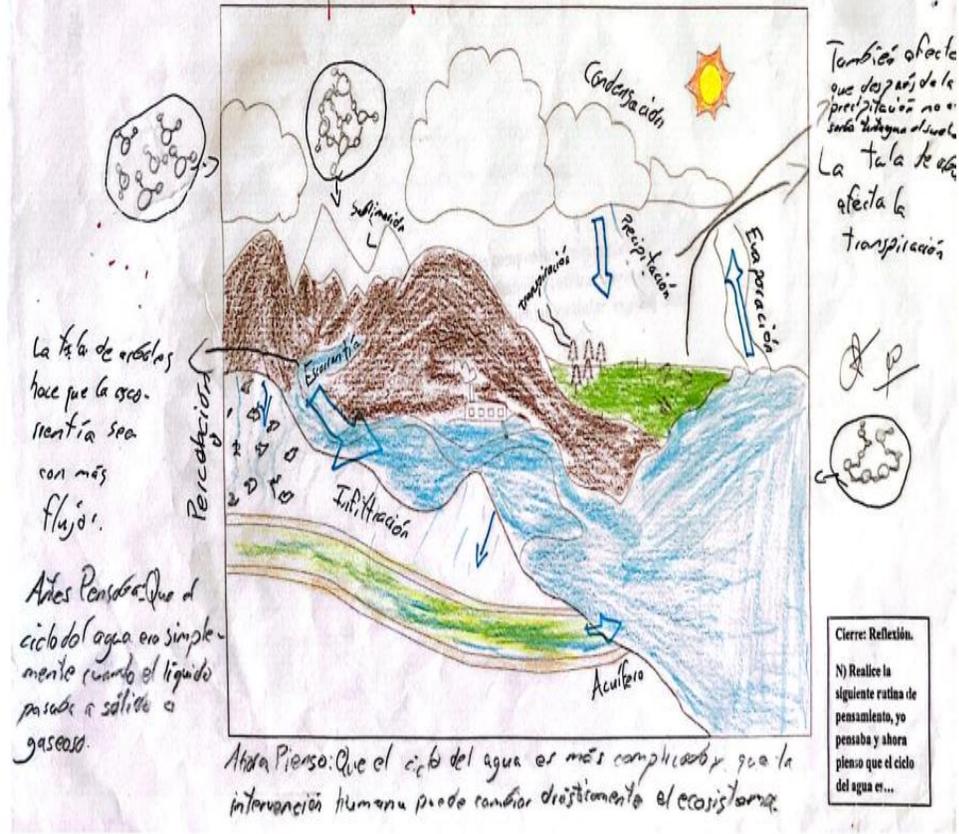
Dupla 11**REPi**

2. Dibuja un esquema del ciclo del agua, indicando los componentes espaciales y dinámicos que ocurren a nivel macroscópico, submicroscópico, y simbólico (utiliza colores para indicar lo que ocurre en cada nivel. Cuando termines de dibujar y rotular, explica lo que has realizado. (3 pts)

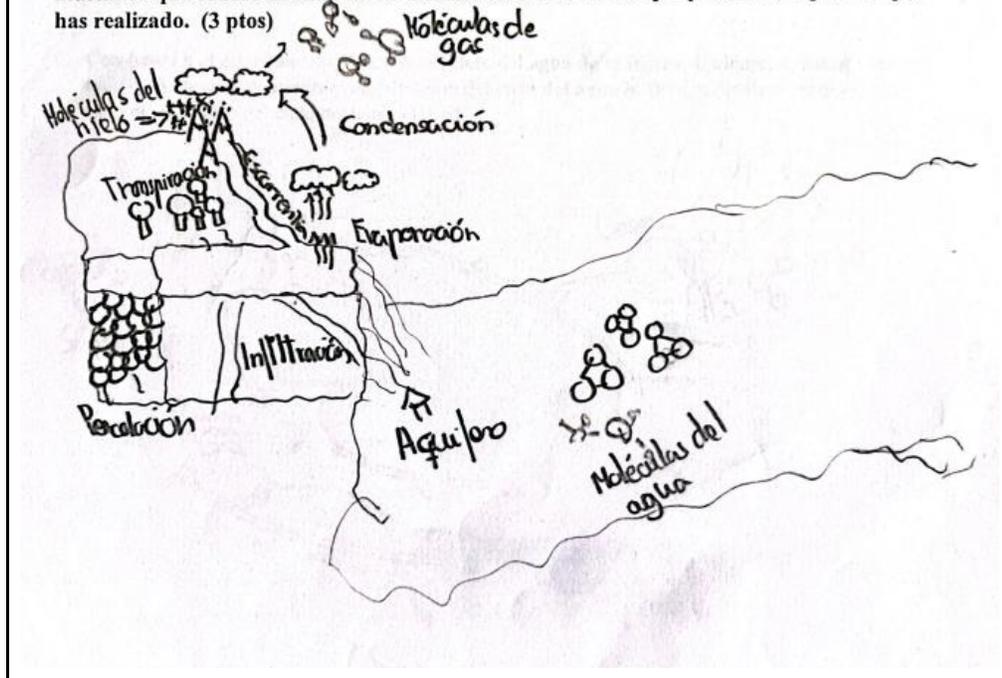
**REPm**

Actividad de síntesis: A partir del siguiente dibujo del ciclo del agua (ver Fig. 13): M1) Represente todos los elementos visuales y espaciales estudiados. M2) Realice un zoom (haciendo uso de la simbología utilizada para representar los estados de agregación) para plasmar los procesos que implican cambios de estados. M.3) Represente los procesos de escorrentía, infiltración y percolación. M.4) Represente cómo afecta la actividad humana los diversos procesos dinámicos y reservorios del ciclo del agua. Nota: utilice flechas de diferentes tamaños para representar la magnitud los flujos que ocurren dentro del ciclo.

Fig. 13:
Bosquejo del ciclo del agua.



2. Dibuja un esquema del ciclo del agua, indicando los componentes espaciales y dinámicos que ocurren a nivel macroscópico, submicroscópico, y simbólico (utiliza colores para indicar lo que ocurre en cada nivel. Cuando termines de dibujar y rotular, explica lo que has realizado. (3 pts)



Anexo B: Test aplicado.

Nombre del estudiante: _____ . Calificación:

Importante: esta actividad no es calificada, pero es relevante porque nos permitirá conocer tus ideas en relación con los contenidos que se abordan.

Instrucciones:

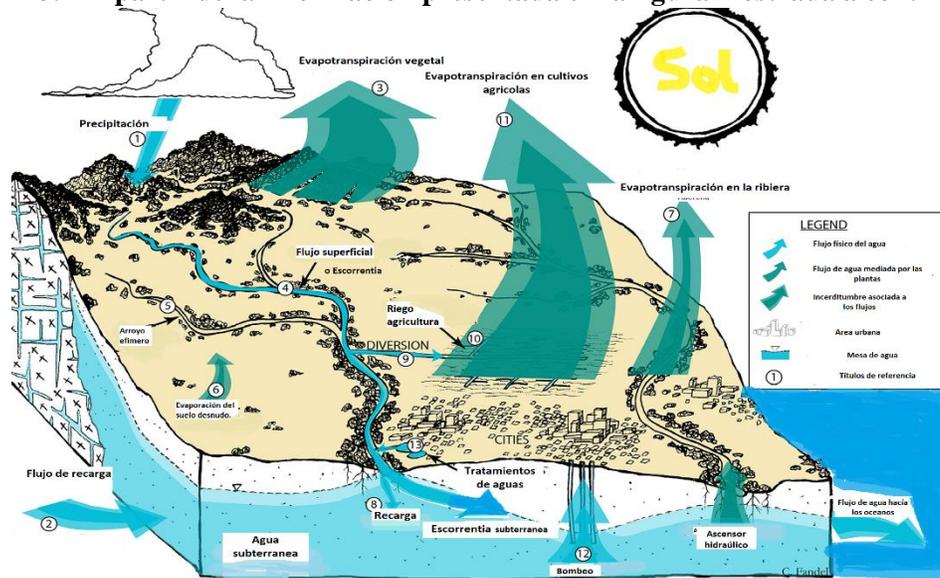
La evaluación se divide en dos partes, cada una debe ser resuelta completamente. Lee atentamente cada una de las siguientes preguntas para que procedas a responderlas:

Parte I: preguntas de desarrollo

1. ¿Qué es un ciclo biogeoquímico? (1 pto)

2. **Dibuja un esquema del ciclo del agua, indicando los componentes espaciales y dinámicos que ocurren a nivel macroscópico, submicroscópico, y simbólico (utiliza colores para indicar lo que ocurre en cada nivel. Cuando termines de dibujar y rotular, explica lo que has realizado. (3 ptos)**

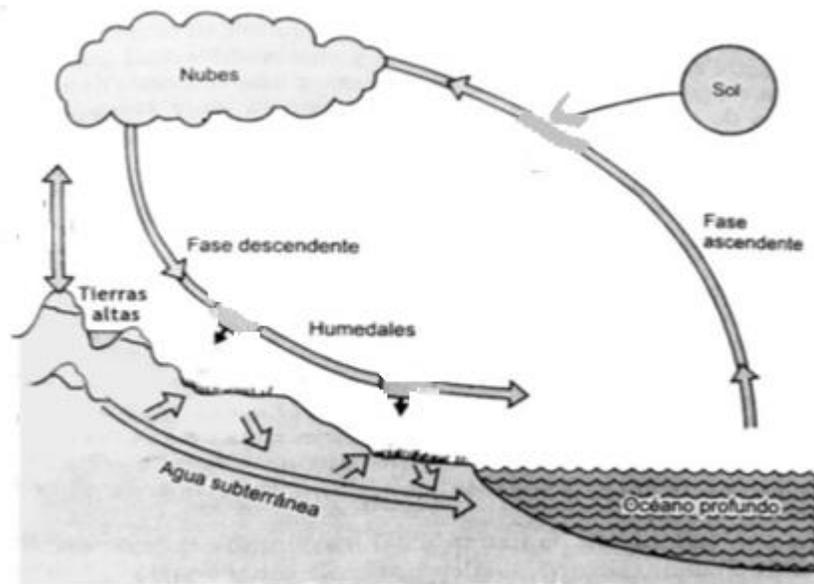
3. A partir de la información presentada en la figura mostrada a continuación (1pto)



A) Indica que representan las flechas mostradas en la figura.

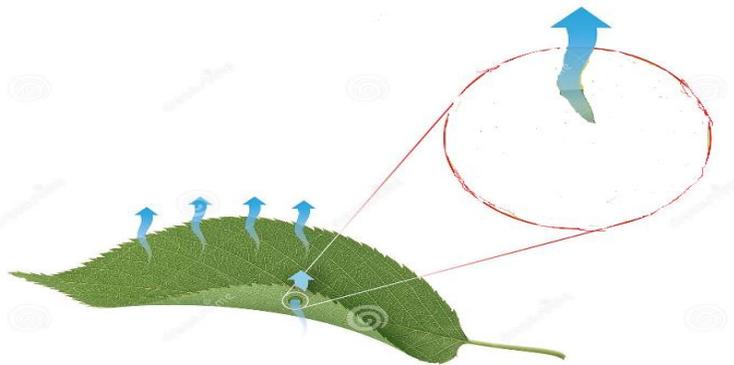
B) ¿Explica por qué varía el tamaño de las flechas?

4. Con base en el esquema simplificado del ciclo del agua de la figura siguiente: a. Interpreta qué motiva las fases ascendente y descendente del ciclo del agua b. Dibuja, donde corresponda, los cambios de estado del ciclo del agua. (1 pto)



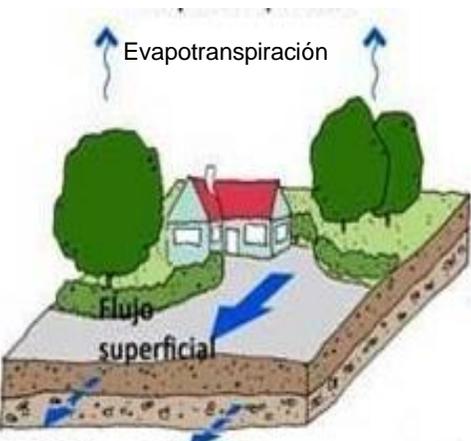
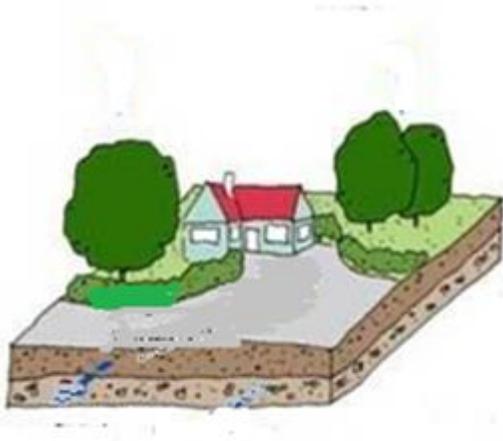
5. Observa la siguiente imagen:

- Coloca el nombre a nivel macroscópico del proceso señalado
- Dibuja lo que ocurre a nivel celular y molecular dentro del siguiente círculo



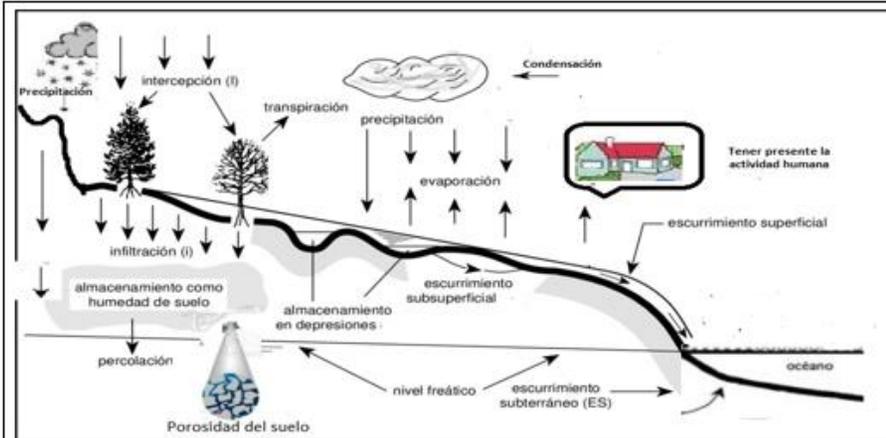
(1pto)

5. En el esquema que se muestra a continuación, la Figura A representa el impacto de la urbanización en algunos procesos asociados al ciclo del agua. (2 pts)

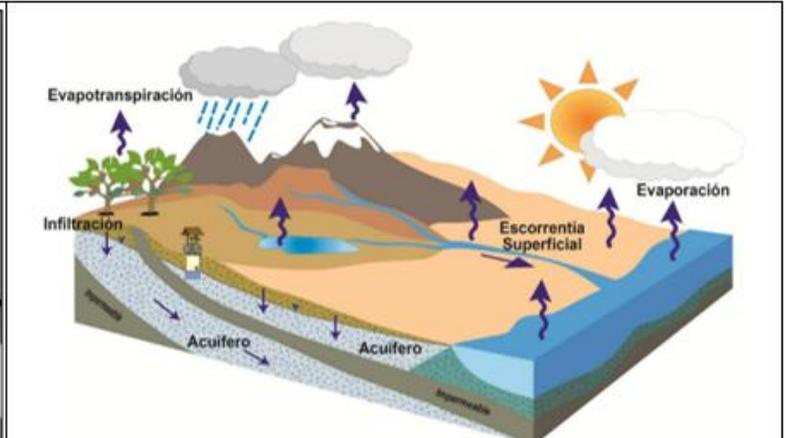
 <p>Evapotranspiración</p> <p>Flujo superficial</p> <p>Flujo subsuperficial</p> <p>Flujo base</p> <p>Fig. A): Los impactos de la urbanización en el ciclo del agua.</p>	 <p>Fig. B) 5.1) Coloque un título:</p> <hr/> <p>5.2. Usando como base la Figura B, dibuja los elementos necesarios que te permitan disminuir y/o aumentar los procesos de flujo y evapotranspiración respectivamente (señalados con flechas de la Figura A)</p>
<p>5.3 Explica qué se busca al realizar la representación de la Figura B (también puede apoyarse de lo que muestra la Figura A).</p>	

6. A continuación, se muestran una serie de representaciones del ciclo del agua. De acuerdo con tus conocimientos sobre el ciclo del agua, qué figura es la más idónea para representar tal ciclo en la actualidad. Justifica su respuesta. (1)

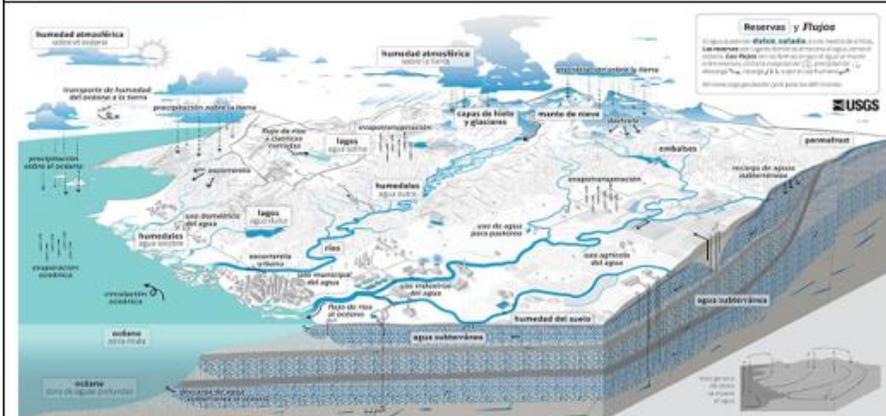
Respuesta:



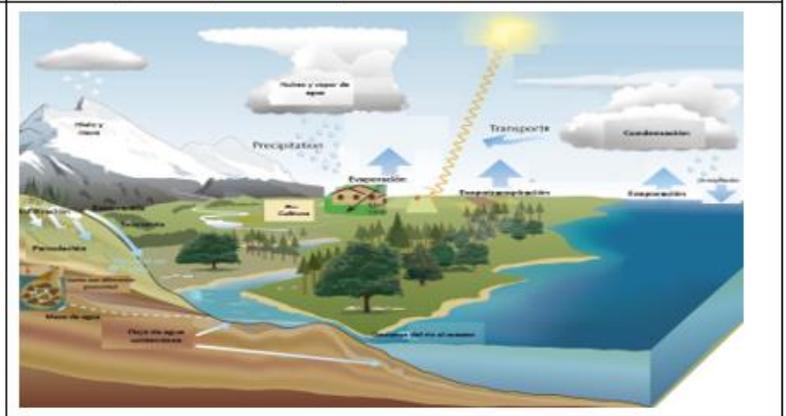
a) Ciclo hidrológico



b) Ciclo Hidrológico



c). Ciclo hidrológico



d)Ciclo hidrológico.

Parte II: Preguntas de elección simple y respuestas cortas

1. **¿Identifica la fuerza motriz que posibilita el desarrollo del ciclo del agua? (0.5 pts)**

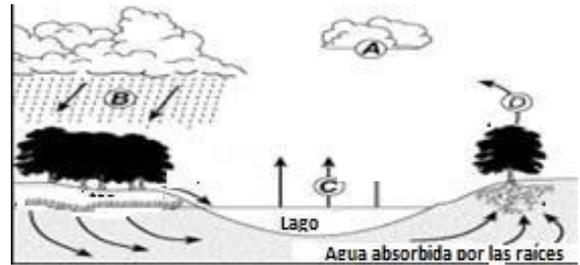
- A) Agua. B) Las pendientes. C) El Sol. D) El océano.

2. **Se utiliza un terrario para modelar el ciclo del agua.** Antes de tapar el frasco, el estudiante riega las plantas y coloca el terrario en una ventana soleada ¿Qué parte del ciclo del agua ocurre dentro del terrario solo después de que se han producido las plantas?

Precipitación; B) Condensación; C) Evapotranspiración; D) Transpiración.

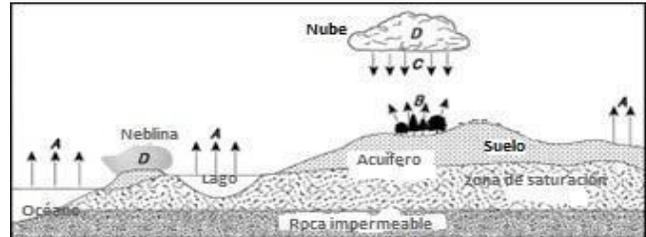
3. **Las letras A-D en la siguiente sección del ciclo del agua representan cuatro de los procesos que forman parte de los elementos dinámicos del ciclo del agua ¿Cuáles son? (1 pts)**

1. A: Evaporación; B: Condensación; C: precipitación; D: transpiración
2. A: Condensación; B: precipitación; C: evaporación; D: Transpiración
3. A: transpiración; B: precipitación; C: evaporación; D: Condensación
4. A: Condensación; B: precipitación; C: transpiración; D: evaporación.

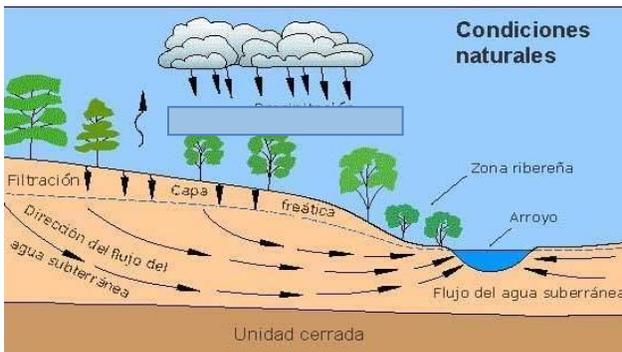


4. **Observa la figura de la derecha, ¿Cuáles son los dos procesos del ciclo del agua que no están representados por flechas en la sección que se muestra y que permiten el flujo en la superficie y a través del suelo? (1 pts)**

- A) transpiración y condensación;
 B) precipitación y congelación;
 C) escorrentía e infiltración
 D) evaporación y derretimiento



5. **En la ciudad de Guayaquil, el nivel freático suele subir cuando hay: (1 pts)**



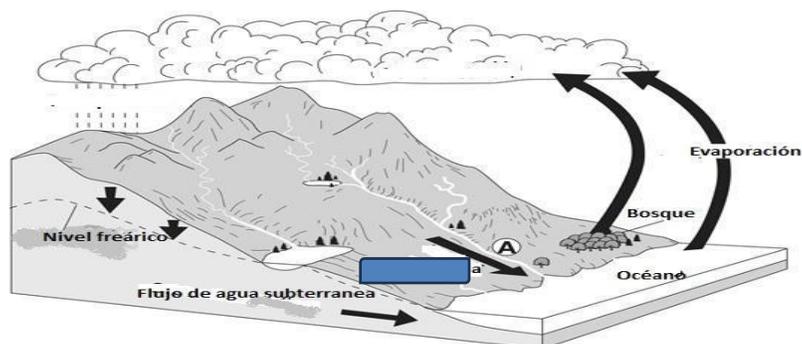
- A) Una disminución en la cantidad de superficie cubierta por vegetación
 B) Un aumento en la pendiente del terreno
 C) Un aumento en la cantidad de precipitación
 D) Una disminución en la cantidad de infiltración

¿Por qué la deforestación puede causar un aumento de la escorrentía? (1 pto)

- A) Sin árboles el vapor de agua se evapora más rápido a la atmósfera
- B) El suelo absorbe más humedad sin plantas
- C) Sin árboles se produce un aumento de la transpiración
- D) Las plantas ya no están allí para absorber la humedad cuando llueve.

6. Las flechas representan algunos procesos del ciclo del agua. La **letra A** indica

*



8. ¿A qué factores se debe el movimiento de las aguas subterráneas?

- A. Al movimiento de rotación y traslación de la tierra.
- B. A la evaporación y transpiración
- C. A la energía solar y la gravedad terrestre
- D. A la porosidad, permeabilidad y filtración

9. Según el principio de conservación de la masa, esta ni se crea ni se destruye, solo se transforma. Entonces, ¿por qué decimos que tenemos que cuidar el agua?

- A. Porque ese principio es falso
- B. Porque la materia se transforma se degrada
- C. Porque realmente la energía se gasta
- D. Ninguna de las anteriores

10. ¿En dónde se almacena la mayoría del agua fresca en la tierra hoy en día? (0,5 pto)

- A. En capas de hielo polares
- B. En ríos y lagos
- C. En océanos
- D. agua de suelo

11. ¿Cuál de los siguientes fenómenos puede ser consecuencia del cambio climático en la naturaleza?

- A. La reducción del contenido de dióxido de carbono (CO₂) en la atmósfera
- B. El aumento de la biodiversidad
- C. La reducción de las zonas desérticas
- D. El aumento de la intensidad de los fenómenos meteorológicos extremos.

Cada gota cuenta...

Anexo C: Cuadernillo de trabajo.

Cuadernillo de trabajo:
Biología (CCNN)

El ciclo del agua.



Fotografía. Esteros del Salado (Guayaquil-Ecuador) Material extraído de Torres, k. (2023). Al Estero Salado lo estrangulan los rellenos de asentamientos irregulares.
<https://www.eltelegrafo.com.ec/noticias/guayaquil/1/esterosalado-rellenos-asentamientos-irregulares-Guayaquil>

Contenido

Cuadernillo de trabajo:	1
El ciclo del agua.	1
1. Introducción	3
1.1 Condiciones iniciales:	3
1.2 Instrucciones generales:	3
I. Reglas de representación.....	4
1. Los signos que se utilizan para construir las Representaciones del Ciclo del agua.	4
1.1 Signos para representar el flujo de energía y de materia.....	4
1.2 Signos utilizados para representar los procesos macroscópicos que ocurren en el ciclo del agua.	6
Extraído de Agua y cambio climático Climática.com.....	6
1.3 Algunos signos usados para representar los diferentes niveles de representación usados para explicar los procesos que ocurren en el ciclo del agua.....	8
1.4) Puesta en acción: revisión de los cambios de estado a nivel macroscópico, microscópicos y sub-microscópicos que producen el movimiento del agua a través de los componentes bióticos y abióticos: Observa las siguientes figuras y responde las preguntas planteadas en cada recuadro.....	10
1.5 Visión amplificada de los Elementos espaciales y dinámicos del ciclo del agua.	11
2. Acción del hombre en el ciclo del agua y la importancia de los bosques como protectores frente a las inundaciones	14
.....	17
3. Cierre: Reflexión. M.2) Realice la siguiente rutina de pensamiento, yo pensaba y ahora pienso que el ciclo del agua era	18
4. Referencias:.....	18

Introducción

El ciclo del agua es un modelo que se construye a partir de la combinación de diferentes elementos, es un “diagrama en el que se combinan palabras, dibujos, gráficos y ecuaciones químicas, y el significado surge de la contribución de los diferentes modos comunicativos” (Maldonado et al. 2007). A lo anterior, se le suma que este ciclo combina diferentes componentes bióticos y abióticos, y procesos dinámicos que permiten el flujo del agua a través de los diferentes depósitos y que al final, hacen que esta molécula esté disponible para todos los seres vivos.

El ciclo del agua se presenta en los libros de textos con información que combina representaciones tipo pictóricas (REP) e información en forma de texto también conocida como representaciones externas tipo lingüísticas (todo lo que se encuentra en forma lineal como texto, REL).

El presente cuadernillo es una guía para estudiar el tópico del ciclo del agua como uno de los principales ciclos que el hombre ha afectado a causa de sus excesivos patrones de consumo. encontrarán una serie de tareas que les permitirán ir desarrollando gradualmente las competencias representacionales que son necesarias para visualizar y comprender los intercambios de masa y energía que subyacen en él (Diez y Caballero, 2004; Nyachwaya y Gillespie, 2016).

Tareas que permitan la decodificar los signos;

Tareas en la que se tendrán que mover de un nivel de representación a otro (moverse verticalmente)

Tareas en la que se tendrá que representar y/o interpretar el mismo fenómeno en diferentes niveles (moverse verticalmente: macro, micro, submicro)

Tareas que se les permitan construir una REP

Tareas que permitan evaluar que representación es más óptima para representar un concepto.

1.1 Condiciones iniciales:

Para el desarrollo de las actividades planteadas en este cuaderno de trabajo, es vital que usted posea un conjunto de conocimientos previos, como, por ejemplo: componentes de un ecosistema (bióticos y abióticos); flujo de energía, ley de conservación de la energía; flujo de energía en los ecosistemas. Estos tópicos fueron abordados en la unidad de ecología, comunidades y ecosistemas.

1.2 Instrucciones generales:

A continuación, se plantean una serie de actividades que deberán responder a mano, para ello utilice lápiz de grafito y diferentes colores.

Siga las instrucciones escritas y las orientaciones que el docente le proporcione.

Pueden trabajar individualmente o en pares.

¡Adelante!

I. Reglas de representación.

1. Los signos que se utilizan para construir las Representaciones del Ciclo del agua.

Lea con atención el siguiente texto:

1.1 Signos para representar el flujo de energía y de materia

Los ciclos biogeoquímicos son representaciones que muestran los procesos que ocurren en la naturaleza, señalan cómo circula la materia entre los componentes bióticos, como los animales y las plantas, y los componentes abióticos como la hidrósfera, la litósfera y la atmósfera.

El planeta Tierra es un sistema cerrado donde entra de manera constante energía solar, pero no entra ni sale materia. En la biósfera, la energía y los elementos orgánicos como el carbono, el oxígeno, el nitrógeno y el fósforo son constantemente utilizados, pero también son limitados. Es por esto que el reciclaje de los elementos es indispensable para que la vida en la Tierra permanezca, de lo contrario, los recursos se agotarían y la vida desaparecería. Gracias a los ciclos **biogeoquímicos**, los elementos orgánicos están siempre presentes para ser utilizados una y otra vez por todos los organismos.

La Tierra recibe la radiación solar que es aprovechada como energía por las plantas para llevar a cabo la fotosíntesis. (**ver Fig. 1**). Esta energía hace posible la circulación de la materia desde un ambiente **biótico** (**seres vivos**) hacia un ambiente **abiótico** (**materia inerte**) y se crea un ciclo constante donde se da paso al reciclaje de los elementos orgánicos. La materia y energía están estrechamente relacionadas entre sí, puesto que ambas influyen en los ecosistemas y en la diversidad de vida que se encuentra en ellos. La circulación de la energía en los ecosistemas es abierta y va en una sola dirección: desde el Sol a los organismos autótrofos para pasar luego a los organismos **heterótrofos**. Con base en la información anterior, responde las siguientes preguntas:

¿Por qué se dice que la tierra es un sistema cerrado?

Observa la fig. 1 y utilizando colores dibuja dentro ella cómo ocurre el flujo de energía en un ecosistema

Fig. 1.

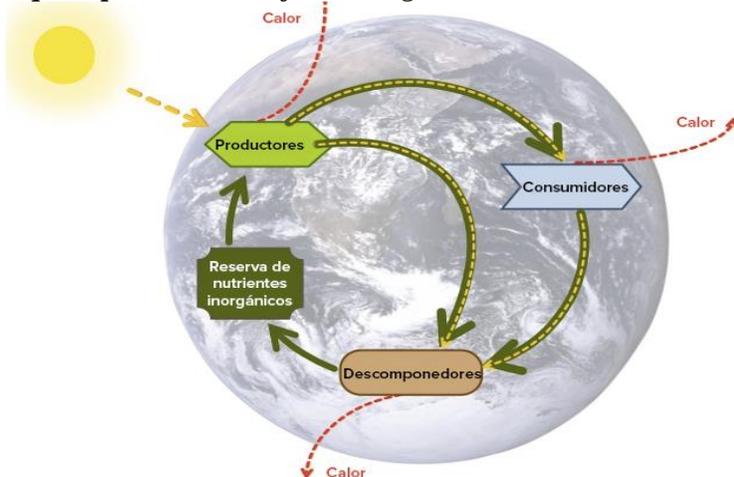
Componentes del ecosistema



Nota: Modificado de Componentes del ecosistema, de Horne, E y Bear, R (2020) Introducción a la ecología. Dibujo Extraído de Khan Academy. <https://cdn.kastatic.org/ka-perseus-images/46fd998481d4927a2694f3560df9d6da970b8e24.png>

Fig. 2

Esquema que representa el Flujo de energía en los ecosistemas:



Aspectos claves:

Las Flechas, indican la dirección del cambio o proceso que ocurre dentro del flujo de energía o materia dentro del ecosistema, van solo en una dirección. En algunos casos también ancho de la flecha indica la magnitud del proceso. Las figuras que muestran los ciclos, no indican tiempo de recambio.

Nota. Extraído de [Ciclos biogeoquímicos de](#) Horne E. y Bear, R. (2020). Khan Academy. En esta REP, el flujo de la energía se muestra con flechas amarillas y rojas. El amarillo indica energía utilizable, y el rojo energía perdida en la forma de calor no utilizable. Las flechas verdes muestran el reciclaje continuo de los nutrientes químicos

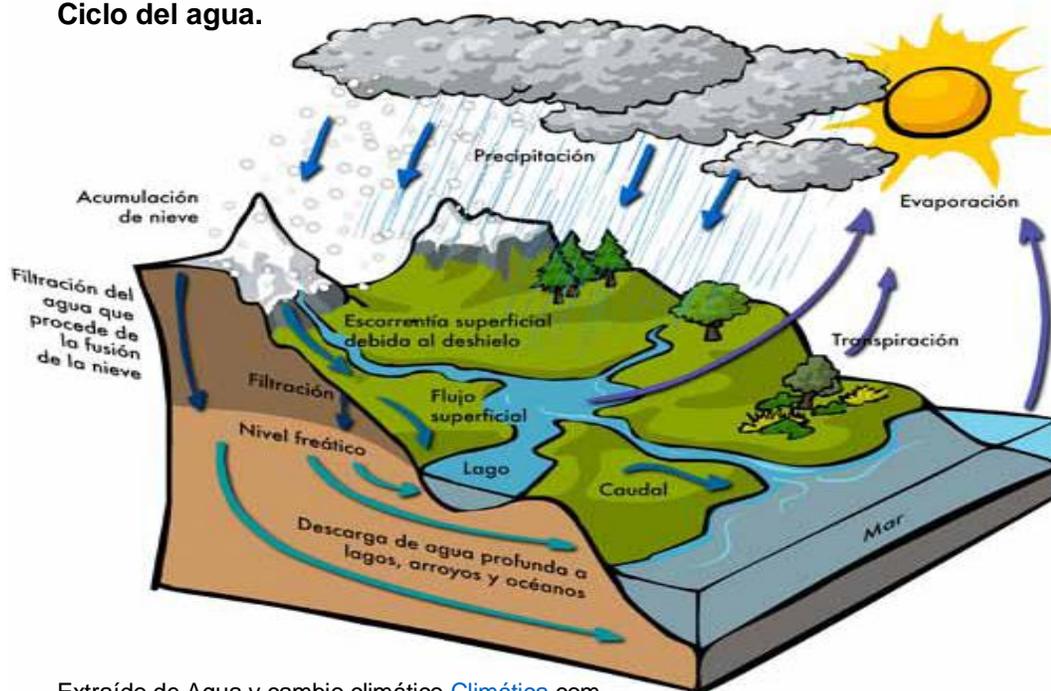
En contraste con la energía de la luz solar, los nutrientes no descienden sobre la Tierra en un flujo continuo. Los **nutrientes** son elementos y pequeñas moléculas que forman los bloques constructores químicos de la vida. Algunos, llamados bioelementos primarios (**CHONPS**), los requieren los organismos en grandes cantidades; algunos de ellos son, carbono, hidrógeno, oxígeno, nitrógeno, fósforo, azufre. Por su parte hay otros bioelementos que se requieren en pequeñas proporciones como los **bioelementos secundarios** (alrededor del 3.9 %), como el calcio, el magnesio y otros llamados oligoelementos que se encuentran en un porcentaje menor al 0.1 %, como el zinc, molibdeno, hierro, selenio, y el yodo. Los ciclos de nutrimentos, también llamados **ciclos biogeoquímicos**, describen las rutas que siguen estas sustancias conforme se mueven desde las porciones abióticas de los ecosistemas a través de las comunidades y de vuelta a los sitios de almacenamiento no vivos.

Las principales fuentes y sitios de almacenamiento de los nutrientes se llaman depósitos, y casi siempre están en el ambiente no vivo o abiótico. **Los eventos o procesos** que impulsan el movimiento de los nutrimentos o moléculas, permiten que el agua o los distintos elementos químicos se recicle dentro del ecosistema.

De acuerdo a la información anterior responde la siguiente pregunta, ¿Cómo se reciclan los nutrientes dentro de los ecosistemas?

1.2 Signos utilizados para representar los procesos macroscópicos que ocurren en el ciclo del agua.

Figura 4
Ciclo del agua.



Aspectos claves:
Los signos, son trazos que remiten al lector a un referente o a un contenido del signo. Los signos, pueden ser, palabras, imágenes visuales, sonidos, olores, objetos, acciones. (Lombardi, 2021)

Extraído de Agua y cambio climático Climática.com

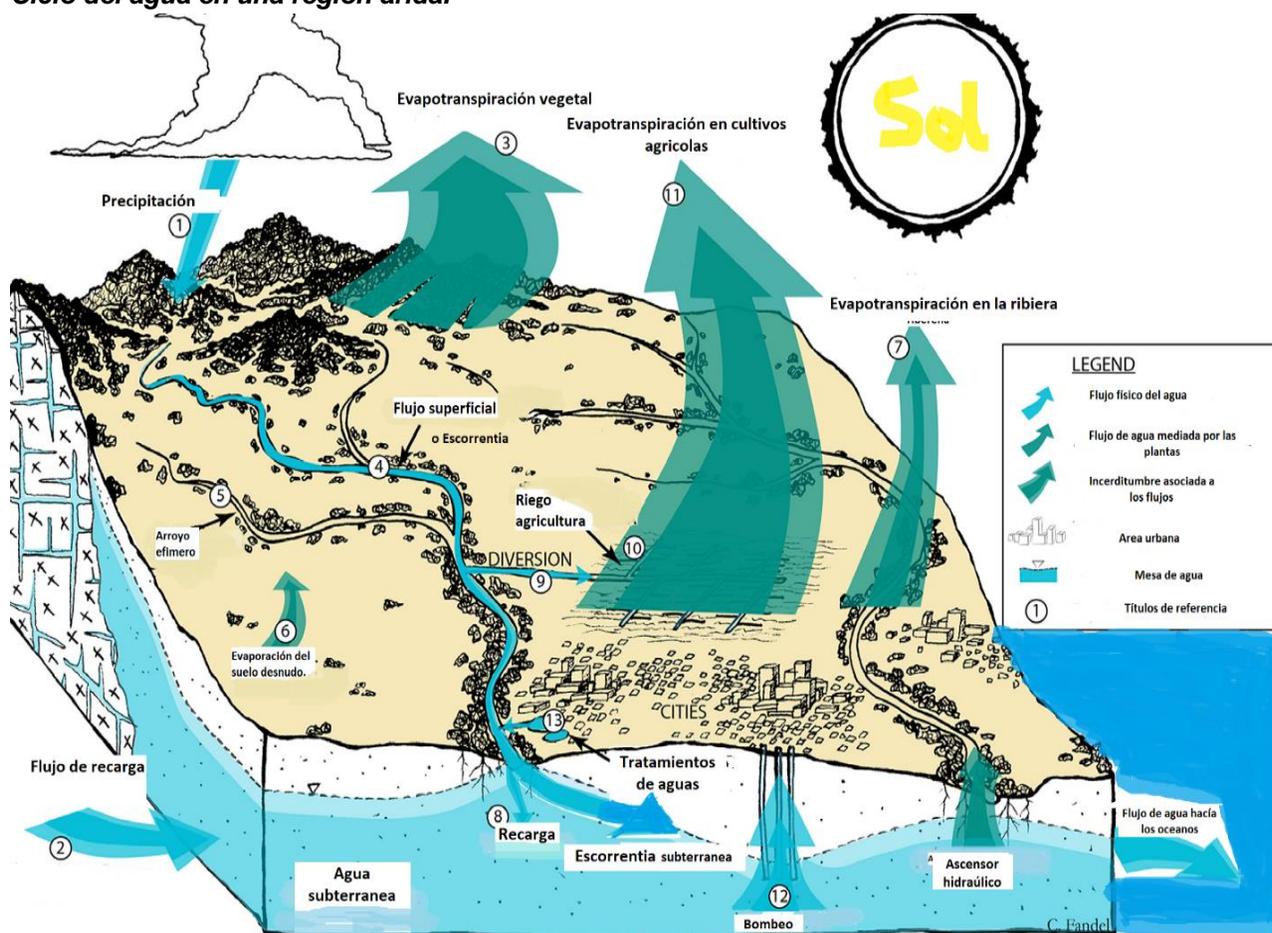
Observe la fig. 3 y basado en la información que presenta responda las siguientes interrogantes:

D.1) Identifique los signos que se utilizan para representar a los diversos elementos macroscópicos que componen al ciclo del agua.

D.2) Mencione otros signos que usted considere que no se indican en dicha representación.

D.3) ¿Qué te dicen los símbolos encontrados en el ciclo biogeoquímico?

Fig. 4
Ciclo del agua en una región árida.



Extraído y modificado de Implicit assumptions of conceptual diagrams in environmental science and best practices for their illustration. Fandel *Et al.* 2019. *Ecosphere*.

Observe la fig. 4 y basado en la información que presenta en ella responda las siguientes interrogantes:

E.1) Explique sí en la representación las flechas utilizadas indican los mismos procesos.

E.2) ¿Todos los procesos ocurren en la misma magnitud, justifique su respuesta?

E.3) ¿Las flechas van todas en la misma dirección? Justifique su respuesta

Algunos signos usados para representar los diferentes niveles de representación usados para explicar los procesos que ocurren en el ciclo del agua.

Comprender como se distribuye y se recicla el agua, trae como reto dominar como el agua cambia de un estado a otro sin alterar su estructura química, y que todos estos procesos son impulsados por la energía proveniente del sol y por la gravedad. El agua está formada por dos átomos de hidrógeno y un átomo de oxígeno, y se representa molecularmente como H_2O , se utilizan otros modelos de bolas para representar sus átomos.

Las diferentes formas en las que podemos observar el agua en la triada atmosfera-tierra-agua, se puede observar en la **Fig. 5**, y como se comentó anteriormente a medida que esta se desplaza por la naturaleza la podemos encontrar en sus diferentes formas.

Fig. 5.

Los estados de agregación del agua, son las formas en las que la materia se manifiesta ante nuestros ojos y sentidos. Se relacionan directamente con el grado de interacciones de sus átomos constituyentes.



Estado de agregación del Agua

Modificado de Estados del agua. Coluccio, E. (2021). Editorial Eterce. <https://concepto.de/estados-del-agua/#ixzz7xZpPOCGS>

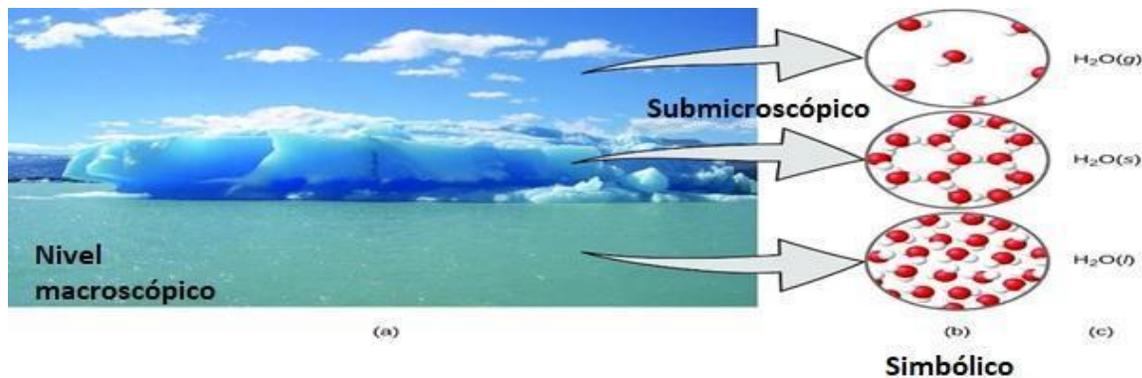
En el estado líquido (**0° y los 100° C**) sus átomos, se hallan juntos, en mayor nicle que en el estado gaseoso o sólido, presentando una fluidez que le da la cualidad de líquido, para que esta pueda cambiar de estado, las condiciones de temperatura y presión deben variar. Por su parte, en el estado gaseoso (alrededor de **100° C a nivel del mar**), las moléculas de agua se encuentran en un constante movimiento y al mismo tiempo separadas unas de la otra, para que el agua se encuentre en este estado, la temperatura del medio debe ser muy alta y esto permite que se muevan con velocidad presentando así una casi nula cohesión entre sus moléculas. Mientras que, en estado sólido (**0° C o menos**), el agua por el contrario adquiere un re-arreglo especial en la manera en como se establece las interacciones de sus átomos, de allí que estas interacciones ocupen un mayor espacio, lo que genera una menor densidad que en estado líquido, lo que hace que esta pueda flotar y permitir la vida por debajo de las capas de hielos.

Como te has podido dar cuenta el ciclo del agua es un modelo donde convergen diversos conceptos y fenómenos interconectados cuya comprensión general se basa en lo que puedes observar o sentir de manera directa (**macroscópico**) o a partir de un conjunto de signos que se utilizan para su representación (**simbólico**). Signos que en muchos casos también representan el mismo fenómeno a nivel celular (**microscópico**), donde ocurren procesos como la evapotranspiración, (del cual se hablará más adelante) también se podría estudiar o explicar desde el punto de vista molecular (**submicroscópico**), para representar los estados de agregación del agua, ya que como se acaba se explicar el agua puede

encontrarse en estado sólido, líquido o gaseoso en la naturaleza. Procesos que están regidos por el comportamiento de la materia y que determina los estados de agregación (ver anexo 1)

Fig. 6:

Estados de agregación del agua



Extraído de Chemistry: atoms first. <https://courses.lumenlearning.com/suny-chem-atoms-first/chapter/chemistry-in-context/>

a) La humedad en el aire, los icebergs y el océano representan agua en el nivel **macroscópico**

(b) Cuando se piensa en el modelo molecular (nivel **submicroscópico**), se piensa en moléculas de gas que están muy separadas y desorganizadas, las moléculas de agua sólidas están juntas y organizadas, y las moléculas líquidas están juntas y desorganizadas. En el aire, aunque muchas veces no lo veas, también hay vapor de agua.

(c) a nivel **simbólico**, la fórmula H_2O simboliza el agua, y (g), (s) y (l) simbolizan sus fases. Tenga en cuenta que las nubes en realidad están compuestas por gotas de agua líquida muy pequeñas o cristales de agua sólidos.

Observa la fig. 6 y responde la siguiente pregunta:

f.1) Piensa en otros procesos que ocurran a nivel submicroscópico que también son importantes para que el agua llegue a tu casa, descríbelos:

El ciclo hidrológico es impulsado por **energía térmica** solar, que evapora el agua e impulsa los vientos que la transportan como vapor de agua en la atmósfera. **La gravedad** lleva al agua de vuelta al suelo en forma de precipitación (principalmente lluvia y nieve), la empuja y hace que fluya en ríos que se vacían en los océanos. Éstos cubren casi tres cuartos de la superficie de la tierra y contienen más de 97% del agua total de la Tierra, con otro 2% del agua total atrapada en hielo, lo que deja sólo 1% como agua dulce líquida. **Los flujos o componentes dinámicos** mueven el agua entre las reservas, observa las Fig. 6-7) y sigue la trayectoria del agua, toma en cuenta que estos procesos no ocurren de manera lineal, **y puede ser que en una zona ocurran simultáneamente varios procesos.**

A medida que se mueve, el agua puede cambiar de forma entre **el líquido, sólido, gas**; la circulación mezcla el agua en los océanos y transporta el vapor de agua en la atmósfera; el agua se mueve entre la atmósfera y la superficie a través de la **evaporación y Evapotranspiración, condensación, precipitación**. A estos cambios de agregación que el agua sufre, sin alterar su estructura química, se le suman diferentes procesos que son vitales para que el agua pueda desplazarse, almacenarse y volverse disponible para el consumo de los diferentes seres vivos que habitan en la biosfera, incluyendo al hombre. Dentro de estos procesos los más importantes son la **escorrentía, la infiltración, la percolación**.

1.4) Puesta en acción: revisión de los cambios de estado a nivel macroscópico, microscópicos y sub-microscópicos que producen el movimiento del agua a través de los componentes bióticos y abióticos: Observa las siguientes figuras y responde las preguntas planteadas en cada recuadro

Fig. 7.a)

G.1 Indica un título pertinente: _



Extraídas de El Ciclo del Agua. By [Water Science School](#) (2019).

¿Este proceso en qué otros lugares ocurren?

Fig. 7.b)

G.2. Observa la fig. 7.b) y coloca el nombre del proceso que ocurre en la línea negra.

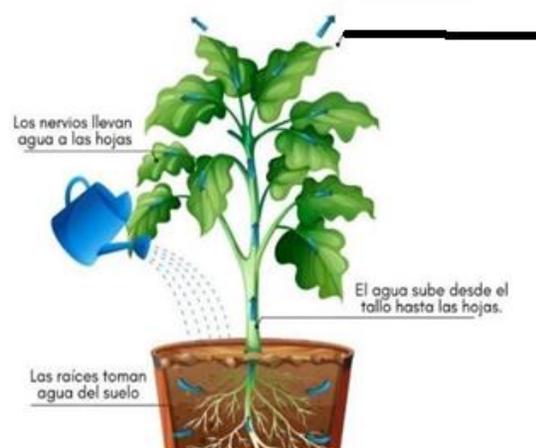


Fig. 7.c) Transpiración en la piel.

G.4) ¿Este proceso ocurre a nivel?

G.5) Realice el dibujo de la evapotranspiración en plantas. (Fig. 7. D)



Extraído Poros sudor.

<https://www.alamy.es/imagenes/poro-de-sudor.html?sortBy=relevantFig>.

G.6) ¿Todos estos procesos estudiados en este apartado quién los impulsa? ¿Ocurren sólo a nivel macroscópico? Justifica tú respuesta.

Fig. 7. e

H. 1) Coloca un título al proceso que se



representa _____

Estados del agua. Coluccio, E. (2021).

Editorial Eterce. <https://concepto.de/estados-del-agua/#ixzz7xZpPOCGS>

H.2) ¿submicroscópica mente cómo podrías representar lo que observas?

Fig. 7. F

Precipitación.



Estados del agua. Coluccio, E. (2021).

Editorial Eterce. <https://concepto.de/estados-del-agua/#ixzz7xZpPOCGS>

H.3) ¿Observa la REP y explica qué proceso físico hace que el agua caiga al suelo?

1.5 Visión amplificada de los elementos espaciales y dinámicos del ciclo del agua.

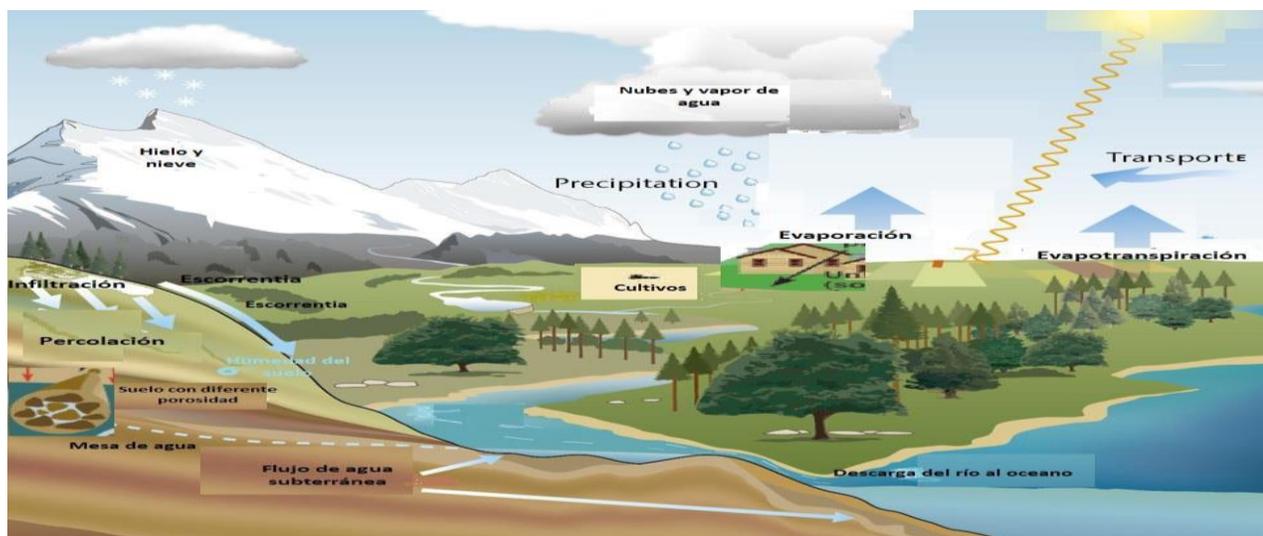
El ciclo del agua, describe dónde se encuentra el agua en la tierra y cómo se mueve en la atmósfera en la superficie terrestre y debajo del suelo, ver **Fig. 8-9**, puede ser un líquido en sólido el agua líquida puede ser dulce, salada o una mezcla. El agua se mueve a grandes y pequeñas escalas; se mueve de forma natural y debido a las acciones humanas. El uso del agua por parte del ser humano afecta dónde se almacena, cómo se mueve y qué tan limpia. Aunque por millones de años el ciclo del agua, ocurría sin ningún problema, en la actualidad nuestros patrones de consumo han afectado su circulación, de hecho, gracias al cambio climático en muchas zonas del planeta, hay poblaciones que sufren de fuertes sequías o de grandes inundaciones. Lo que nunca ha cambiado, es que su principal depósito son los océanos. **Las reservas (depósitos) o elementos espaciales**, almacenan agua. El 96% de toda el agua se almacena en los **océanos** y es salina, en la tierra el agua salada se almacena en **lagos salinos**; el agua dulce se almacena en forma líquida en **lagos de agua dulce**, en embalses artificiales, ríos y humedales, en cuencas; El agua se almacena en forma sólida, congelada en **capas de hielo, glaciares y en mantos de nieve** en el elevaciones altas o cerca de los polos de la tierra (la cual concentra el mayor % de agua dulce); el vapor de agua es un gas que se almacena como **humedad atmosférica** sobre el océano y la tierra el suelo el agua congelada se almacena como **Permafrost** y el agua líquida se almacena como **humedad del suelo, humedad sobre el mar**, más profundo bajo la tierra y almacena **acuíferos subterráneos** dentro de las **grietas y poros** de las en las rocas.

Una vez que el agua precipita sobre la superficie, independientemente del espacio donde recaiga, una parte de esta es interceptada y se evapora directamente de estas superficies, volviendo a la atmósfera. La precipitación que llega al suelo pasa a la tierra mediante la **infiltración**. En lluvias fuertes o torrenciales, cuando se satura el suelo, se genera un excedente de agua que fluye sobre la

superficie en forma de **escorrentía superficial**. Por otra parte, el agua que penetra en el suelo puede filtrarse para acumularse como agua subterránea, favoreciendo los procesos de recarga. El agua que permanece en la superficie, en las capas superiores del suelo, en la superficie de la vegetación o las capas superficiales de los arroyos, lagos y océanos, regresa a la atmósfera por **evaporación**. Las plantas toman el agua del suelo a través de sus raíces, y la pierden a través de sus hojas y otros órganos mediante un proceso llamado **transpiración**.

Como te has podido dar cuenta el agua se mueve a través del **deshielo**, la **escorrentía** y los **flujos de río**; el agua se mueve en el subsuelo a través de la **infiltración** y la **recarga de agua subterránea**, ver Fig. 8-9; bajo la tierra el agua subterránea fluye dentro de los **acuíferos** puede regresar a la superficie a través de la descarga natural de agua subterránea a los ríos; al océano y de los manantiales. **Los acuíferos** están compuestos de sedimentos permeables al agua como cieno, arena o grava, que están saturados con agua. Con frecuencia se explotan para consumo humano, por ejemplo, al suministrar agua para el riego de cultivos. Estos se recargan gracias a la **infiltración y percolación** del agua a través del suelo.

Fig.8
Esquema del ciclo del agua con énfasis en los procesos de escorrentía, infiltración y percolación.

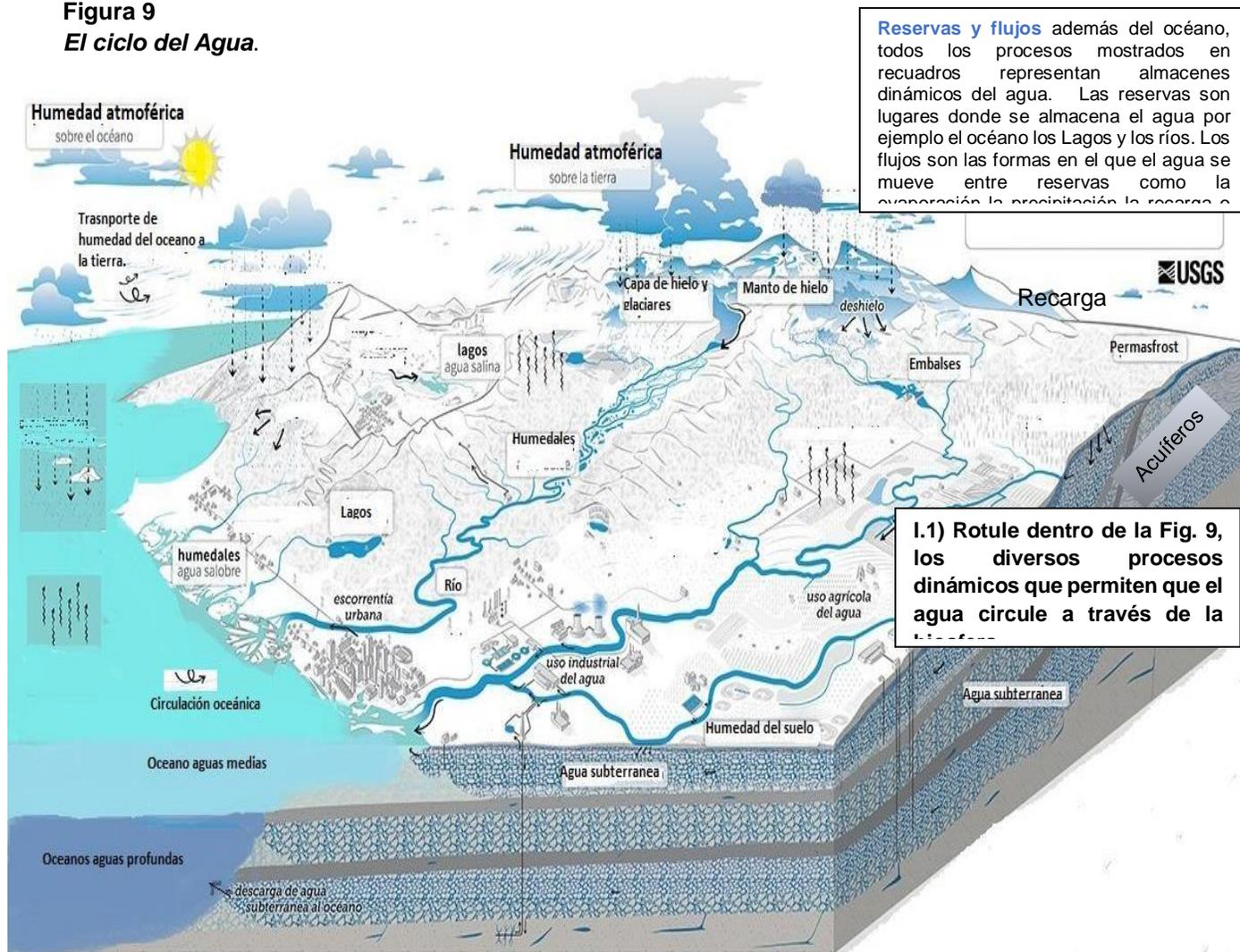


Extraído y modificado de Etapas del ciclo del agua. Coluccio, E. (2021). Editorial Eterce.
<https://concepto.de/estados-del-agua/#ixzz7xZpPOCGS>

I.1) ¿Puedes inferir de acuerdo a la lectura de la Fig. 8-9, la importancia de los procesos de infiltración y percolación? Justifica tu respuesta.

I.2) Utiliza una representación microscópica para representar cómo imagina el proceso de infiltración.

Figura 9
El ciclo del Agua.



Nota: Se muestra una representación del ciclo del agua donde se identifican diversos elementos espaciales que almacenan al agua. Extraído y modificado de El ciclo del agua. [Water Science School](#).

Al observar la Fig. 8 - 9 y luego de leer la información textual, es impresionante la gama de reservas en las que se puede encontrar al agua. es importante dejar claro que estos depósitos variarían de una región a otra. ¿Encontraste alguna reserva en la que nunca habías pensado?

I.2) Analice detenidamente la Fig. 9, identifica y muestre el patrón de flechas presentes para representar los flujos en la REP, clasifique los procesos de acuerdo a lo observado y descríbalos en el siguiente espacio.

Acción del hombre en el ciclo del agua y la importancia de los bosques como protectores frente a las inundaciones

Como se pudo observar en apartados anteriores y con mayor énfasis en la **Fig. 12**, la vegetación es fundamental para el equilibrio hídrico del planeta, estos contribuyen a que procesos como la transpiración ocurran, lo cual es vital para que se produzca agua de calidad y en cantidad suficiente; mantienen la humedad del suelo y, al permitir su infiltración hacia el acuífero, ejercen una función limpiadora y se convierten de alguna manera en una planta natural de tratamiento; son los proveedores del agua necesaria para el desarrollo de todos los seres vivos; Las plantas a partir de sus hojas puede ser interceptada en cuyo caso luego será evapotranspirada, lo que reduce la cantidad de agua que caerá al suelo y con ello la escorrentía y la infiltración. Pero también puede ser captada, lo que hace que esta también filtrarse exitosamente y aumentar la cantidad de agua disponible para el llenado de acuíferos y regulación de la humedad del suelo. Al respecto Blanco (2017) señala que la captación y la interceptación son factores pueden manipularse de acuerdo a la necesidad hidrológica que se tenga para hacer más o menos disponible el agua en determinados ecosistemas.

Fig. 11.

Ciclo del agua en un ecosistema boscoso.

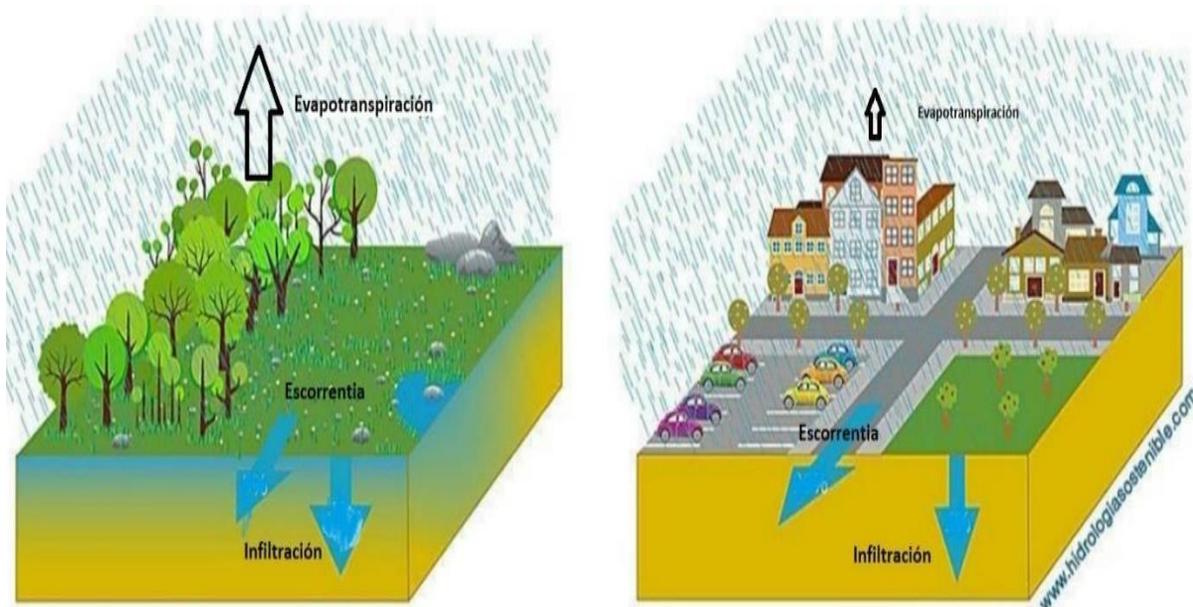


En contraparte, la deforestación, el crecimiento de la mancha urbana y la expansión de algunas actividades productivas, como la agricultura y la ganadería, reducen significativamente el área que permite la infiltración a través del suelo para recargar los acuíferos. Al extraer más agua de la que permitimos que se infiltre, generamos un déficit en el volumen disponible para nosotros y los ecosistemas. Por otro lado, la mayor parte de los procesos productivos y las actividades humanas generan residuos que eventualmente llegan al agua y modifican su calidad; la contaminan convirtiéndola en una sustancia nociva o tóxica para la salud humana y la de los ecosistemas, o no apta para ser aprovechada en nuestras actividades. Blanco (2020). A partir de las Fig. 12a y 12.b.

K.1) a partir de las fig. 12. Compare de los procesos de Evapotranspiración, escurrimiento e infiltración en un ambiente urbanizado y uno natural. Si M, O, representan las cantidades de agua que se mueve a través de los procesos señalados en los recuadros destacados en la fig. 12. Además, se sabe que $m > o$. en cuál o cuáles recuadros (s) ¿colocarías O u M?

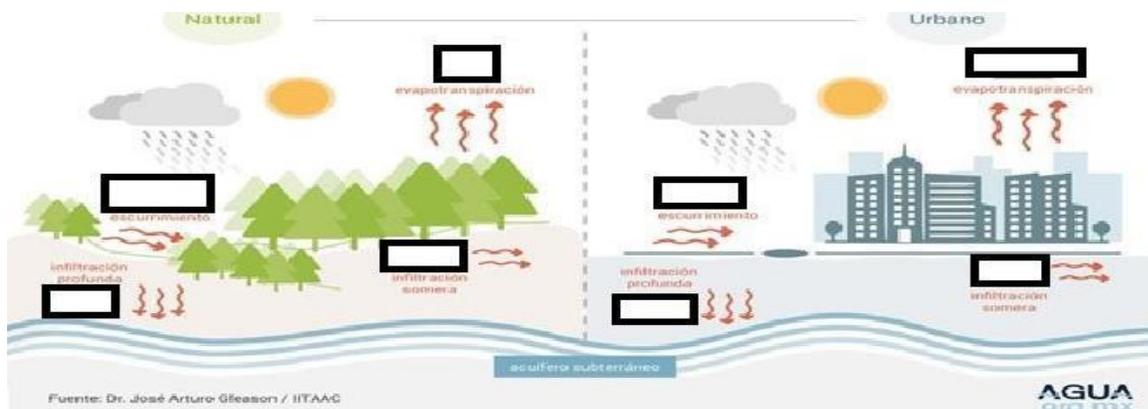
Figura 12.a Impactos de la urbanización sobre la cantidad de agua subterránea y superficial

Nota: Información extraída de Sistemas urbanos de drenaje sostenible. <http://hidrologiasostenible.com/sistemas-urbanos-de-drenaje-sostenible-suds/>



urbanos-de-drenaje-sostenible-suds/

Figura. 12. B Modelo que simula la cantidad de agua que circula libremente por la superficie terrestre



Extraído de Agua.org. mx. Gleason (2018). Fondo para la educación ambiental.

K.2) Basados en la información que se muestra en el texto y en las fig., 12 proponga una hipótesis que le ayude a resolver el problema de inundaciones que en épocas de lluvia vive Guayaquil

L1) De acuerdo a la revisión que se ha llevado a cabo, evalúa los siguientes esquemas del ciclo del agua. E indica (justificando tu respuesta) si observas

Fig. 13.a) Ciclo del agua.

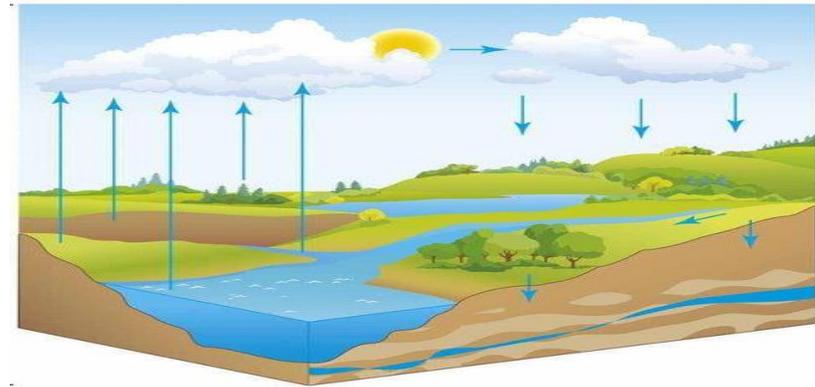
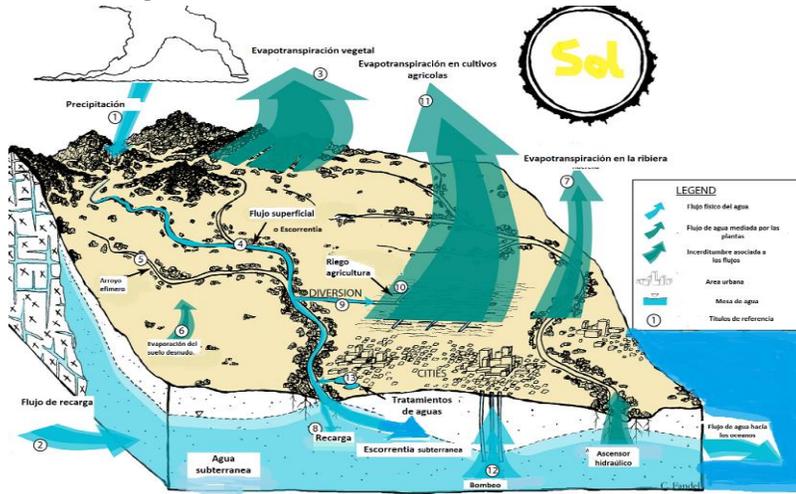


Fig. 13.c) Ciclo del agua.

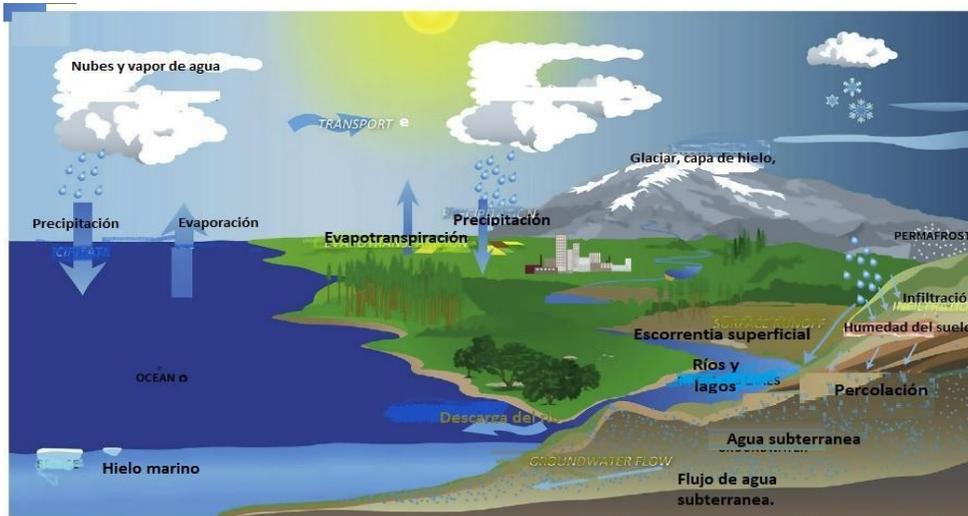
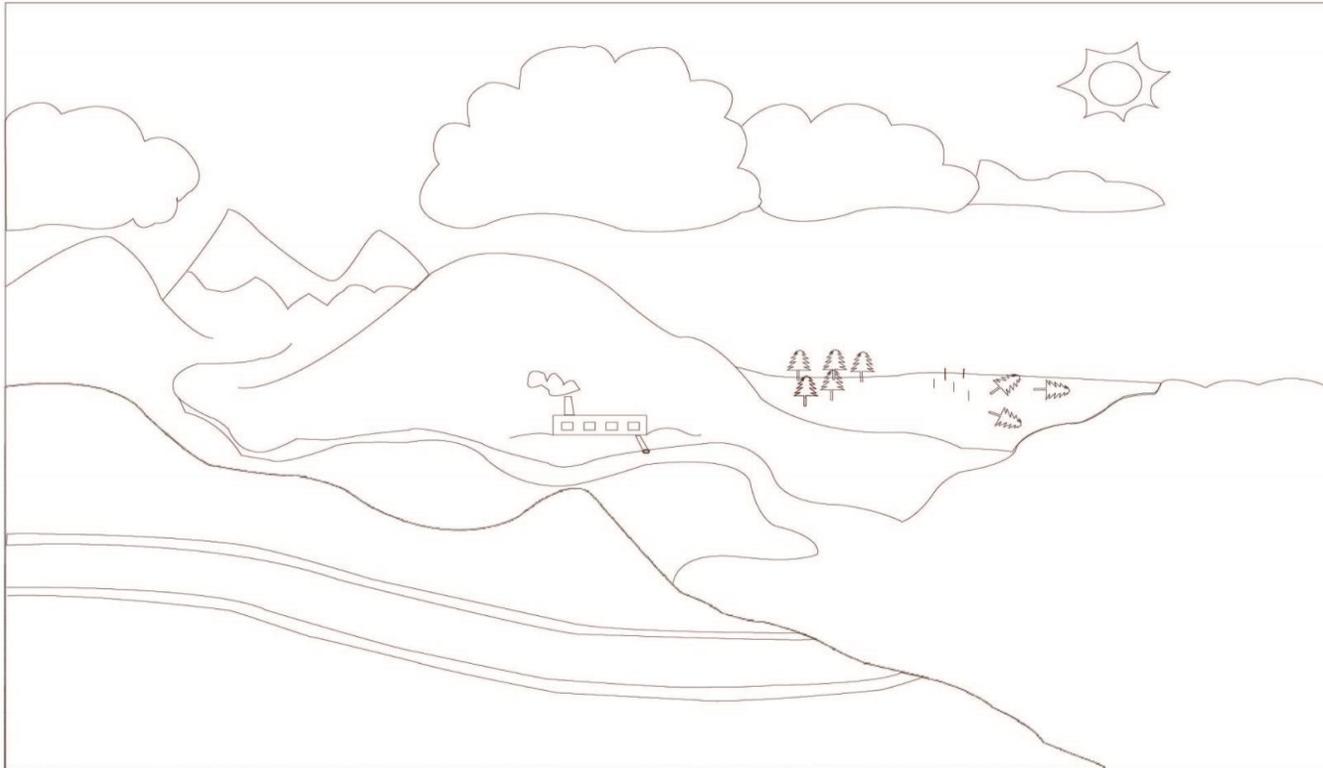


Fig. 13.b) Ciclo del agua.

L.1) Justifique tú respuesta:

alguna (s) inconsistencia (s), en caso afirmativa repórtalas.

Actividad de síntesis: M.1) a partir del siguiente esquema del ciclo del agua: 1) Represente todos los elementos visuales y espaciales estudiados. 2) Realice un zoom (haciendo uso de la simbología utilizada para representar los estados de agregación) para plasmar los procesos que implican cambios de estados. 3) Represente los procesos de escorrentía, infiltración y percolación. 4) Represente cómo afecta la actividad humana los diversos procesos dinámicos y reservorios del ciclo del agua. Nota; utilice flechas de diferentes tamaños para representar los flujos que ocurren dentro del ciclo.



Cierre: Reflexión. M.2) Realice la siguiente rutina de pensamiento, yo pensaba y ahora pienso que el ciclo del agua era

Referencias:

- Blanco, J.A (2017). Bosques, suelo y agua: explorando sus interacciones. *Ecosistemas*; 26 (2). Revista científica de ecología y medio ambiente.
- Fandel, C. A., D. D. Breshears, and E. E. McMahon. 2018. Implicit assumptions of conceptual diagrams in environmental science and best practices for their illustration. *Ecosphere* 9(1).
- Harris, Beth y Zucker, Steven. "Introducción a los ciclos biogeoquímicos". *Khan Academy*, extraído 10.24.2022, <https://es.khanacademy.org/science/biology/ecology/biogeochemical-cycles/a/introduction-to-biogeochemical-cycles>
- Minister of Aboriginal Affairs and Northern Development (2014) First Nations On-Reserve Source Water Protection Plan. Extraído de 10 de enero de 2023. <https://www.sac-isc.gc.ca/eng/1398369474357/1533667689697?wbdisable=true>