



Benemérita Universidad Autónoma de Puebla

Maestría de educación en Ciencias

**La relación entre los esquemas explicativos y
predictivos de los estudiantes: Un estudio de un
problema sobre presión**

Tesis presentada

para obtener el título de

Maestro de Educación en Ciencias

Presenta

Gregorio Rogelio Cruz Reyes

Dirigido por

Dr. Josip Slisko Ingjatov

Dra. Olga Leticia Fuchs Gómez

Septiembre, 2014.

Índice.

Resumen.....	2
Capítulo 1. Introducción.....	3
Capítulo 2. Planteamiento del problema.....	5
2.1. Antecedentes.....	5
2.2 Justificación.....	7
2.3 Objetivo General.....	8
2.4 Objetivos particulares.....	8
2.5 Hipótesis.....	8
Capítulo 3. El problema de la explicación en la ciencia y en la educación en ciencias.....	9
3.1 Las explicaciones y predicciones en el trabajo científico.....	9
3.2. Perspectiva de la educación en ciencias sobre las explicaciones científicas de los estudiantes.....	15
Capítulo 4. La predicción como habilidad de pensamiento complejo.....	21
4.1 Los orígenes de la predicción en el razonamiento común.....	21
4.2. La predicción como habilidad cognitiva.....	23
Capítulo 5. Características del razonamiento causal: Relaciones entre el sentido común y las estrategias de enseñanza en Física.....	29
5.1 Caracterización del razonamiento causal desde el sentido común y desde el razonamiento científico.....	29
5.2 Causalidad en la educación en ciencias.....	30
Capítulo 6. Diseño e implementación del estudio.....	33
6.1. Diseño.....	33
6.2 Implementación.....	34
6.3 Las evidencias.....	34
Capítulo 7. Resultados, conclusiones e implicaciones para la enseñanza y el aprendizaje de las ciencias.....	93
7.1 Resultados y conclusiones.....	93
7.2 Implicaciones para la enseñanza y el aprendizaje de las ciencias.....	94
Referencias.....	95

Resumen.

Esta investigación aborda la relación entre las explicaciones y las predicciones acerca de un fenómeno sobre la presión en estudiantes del nivel medio y medio superior. La muestra estuvo conformada por 30 estudiantes con edades entre los 15 y los 17 años, seleccionados al azar. Se trabajó con el método de la entrevista, y se registraron las ideas de los estudiantes por la vía gráfica. Se pudo observar relación entre ambos modelos: Entre más complejo es el modelo explicativo, el modelo predictivo será congruente con él. El fenómeno bajo estudio es un sistema de una botella con agua a la que se ha practicado un orificio en la parte lateral, cerca de la base, y que además tiene una tapa. El agua, al estar destapada la botella, sale por el orificio, y se pide al estudiante explique el porqué de este hecho. A continuación se le pregunta qué pasará si se tapa la botella. Con las respuestas, se recurre a la clasificación de ellas, bajo un modelo de niveles de causación y predicción, a fin de validar los niveles de complejidad de ambos. Los resultados se presentan en tablas y gráficos descriptivos.

Capítulo 1

Introducción.

La enseñanza de la Física, se ha basado tradicionalmente en la visión del profesor sobre el contenido. Esta visión se ha modificado radicalmente a raíz del cambio de paradigma: del de la enseñanza al del aprendizaje. Los problemas asociados al aprendizaje de esta ciencia como asignatura en prácticamente todos los niveles, están relacionados con múltiples factores, como la motivación o la información que maneje el aprendiz o el docente mismo, las estrategias de enseñanza de éste o los libros de texto, entre otros. Sin embargo, uno de los asociados a las estrategias de enseñanza, está en la manera de pensar del estudiante. Carretero (1997), menciona que los estudiantes tienen una variedad de formas de razonar ante un fenómeno, y prefiere no utilizar el término anglosajón *misconceptions* (*concepciones erróneas*) refiriéndose a las ideas previas, ya que indican la representación que tienen sobre el fenómeno en cuestión o en estudio. La mayor parte de ellas se contraponen o discrepan de la explicación científica, pero no son “ilógicas” y están en muchas ocasiones basadas en representaciones alternativas que cumplen una función útil en el procesamiento cotidiano de la información.

El interés por conocer cómo y por qué se produce el aprendizaje sigue vigente. Esta afirmación se sustenta en la gran cantidad de investigaciones que sobre el cómo y por qué se produce este fenómeno en todo el mundo. En particular, interesa averiguar qué sabe el estudiante sobre un contenido concreto, cómo está articulado este conocimiento, cómo lo utiliza y cómo y por qué evoluciona cuando los estudiantes se enfrentan a la interpretación y explicación de hechos y fenómenos científicos.

En este sentido, el trabajo de Vosniadou y Brewer (1992) acerca de los modelos mentales de los estudiantes sobre la forma de la Tierra y otros aspectos cosmológicos, refleja cómo los alumnos pueden mantener representaciones incorrectas desde la perspectiva científica, a partir de las cuales elaboran una serie de predicciones coherentes con el modelo que poseen, aunque estas ideas no siempre son tan coherentes ni estables como parecen. Las ideas de los estudiantes pueden depender en buena medida de las características del fenómeno observado y de las preguntas que se les plantean.

A lo largo del presente, se hará referencia al estado de la investigación acerca de los esquemas explicativos de los estudiantes y la manera en que intentan predecir

acontecimientos basados en estos esquemas y los resultados que puedan contribuir al diseño de herramientas docentes para abordar de una manera más sistemática el problema en el salón de clase de ciencias.

En el capítulo 2 se plantea el problema, considerando los antecedentes filosóficos y de las ciencias físicas, y los que la investigación en educación de las ciencias ha planteado, haciendo una breve descripción de las líneas de investigación asociadas. Se justifica el planteamiento, atendiendo a su epistemología y su operatividad cognitiva. También se explicitan los objetivos de la investigación.

En el capítulo 3, se aborda el problema teórico de la explicación en ciencia y en la educación en ciencias, con la intención de contrastar los enfoques de este fenómeno cognitivo desde la perspectiva de la filosofía de la ciencia, la construcción del conocimiento científico y la construcción de conceptos científicos en los estudiantes en el proceso de aprendizaje – enseñanza.

En el capítulo 4, se expone el problema de la predicción como habilidad de pensamiento. En él se analizan los elementos del proceso de pensamiento que tienen que identificarse, desarrollarse y apropiarse en las aulas de ciencias y en la educación en general de tal manera que los procesos de explicación y predicción sean congruentes y se acerquen a aquélla que el pensador científico utiliza para la investigación de los fenómenos.

En el capítulo 5, se hace una revisión del artículo de Ugo Besson *Algunas características del razonamiento causal: el sentido común y la enseñanza de la física*. Se revisan las propuestas del autor sobre el abordaje de las explicaciones causales desde el sentido común y sus implicaciones en la enseñanza de la física.

En los siguientes capítulos, se reporta el trabajo de investigación propiamente dicho. Se realiza comentando con detalle lo que los entrevistados han explicado y predicho a partir del planteamiento del problema experimental demostrativo. Se realiza una clasificación de sus respuestas en función de lo presentado en el marco teórico y se realiza un recuento simple, a fin de corroborar o descartar la hipótesis planteada. Se concluye reflexionando sobre las implicaciones de los resultados para la enseñanza y la investigación y se adjuntan las evidencias escritas de los estudiantes al planteárseles el problema.

Capítulo 2

Planteamiento del problema.

2.1. Antecedentes.

La idea de la causalidad en las ciencias naturales ha sido central y ha sido fuertemente debatida por filósofos y científicos. La tendencia a evitar a la causalidad en la ciencia tiene su origen en las dificultades teóricas planteadas por la discontinuidad de las trayectorias seguidas por las partículas atómicas, por los estados discretos de energía en el interior del átomo y en general, por todas las complejas consecuencias de la dualidad onda – partícula de la materia en dicho nivel de existencia. Esta dualidad trae la consecuencia observacional de que resulta imposible determinar con precisión en el mismo instante, la cantidad de movimiento y la posición espacial de una partícula, con lo cual se hace imposible también determinar las condiciones iniciales del movimiento de ésta, en un instante dado, para prever su posición subsecuente en un instante posterior. Estas consideraciones han hecho fracasar las tentativas para formular leyes causales que permitan predecir el movimiento de una partícula individual. Sin embargo, algunos científicos y filósofos han reconocido el valor y el papel central aunque no exclusivo de la causalidad en la ciencia y particularmente en la Física (Bunge, 1959, Halbwachs, 1971 y Piaget, 1971), aunque la conexión causal se acepta sin mayor problema en otros campos de la ciencia. Por ejemplo, ¿Quién puede negar que el virus VIH es la causa del SIDA o que el Rio Colorado ha causado la formación del Gran Cañón? Max Planck (1949) mencionó que *“el pensamiento Científico aspira a la causalidad, y el objetivo final de cualquier ciencia debe ser tomar el punto de vista causal hasta sus últimas consecuencias”*¹

Por otra parte, la investigación en educación en ciencias ha mostrado una muy fuerte presencia en el razonamiento común de las explicaciones causales, que se consideran una especie de “mecanismo” capaz de ser utilizado en la fenomenología de la Física. Los investigadores han propuesto usar este razonamiento causal común como una base para las secuencias de enseñanza y aprendizaje.

¹ En Besson, U. (2004). *Some features of causal reasoning: common sense and physics teaching. Research in Science & Technological Education. USA.*

En muchos aspectos de la investigación educativa en el aprendizaje de las ciencias se está trabajando con la causalidad y sus implicaciones, mayoritariamente en el dominio de la Física Clásica. Estas investigaciones muestran una diversidad de características y tendencias que se agrupan en cuatro categorías (Llancanqueo et. al., 2003)

Estrategias de enseñanza, para diseñar y evaluar éstas para estudiantes preuniversitarios. Corresponden particularmente para el concepto de campo eléctrico, y se sustentan en un modelo de enseñanza – aprendizaje como una investigación dirigida (Furió y Guisasola, 2001; Martín y Solbes, 2001), orientadas a superar dificultades de aprendizaje, asumidas como evidencias a partir de resultados de análisis de contenidos y formas de razonamiento (Viennot y Raison, 1999). Los investigadores concluyen que la comprensión conceptual de los estudiantes progresa sólo cuando los aspectos causales han sido enfatizados durante la enseñanza.

Estrategias de aprendizaje, para identificar, interpretar y analizar dificultades de aprendizaje en contextos de enseñanza bajo la hipótesis de que las dificultades se originan y relacionan con las concepciones alternativas de la mecánica (Galili, 1995)². Los resultados de este grupo de investigaciones muestran que una minoría de estudiantes usa significativamente los conceptos para abordar los problemas experimentales y operacionales; el origen de las dificultades de aprendizaje está en las concepciones alternativas y en un paralelismo entre los problemas de aprendizaje y los problemas epistemológicos históricos de los orígenes de los conceptos.

Representaciones mentales, con orientación a identificar las que usan las personas para pensar acerca de las relaciones entre los conceptos de la física, e investigar el tipo y nivel de representación mental que usan los estudiantes cuando estudian, responden preguntas y resuelven problemas (Greca y Moreira, 1997; 1998) y a una revisión a profundidad de la teoría de las representaciones mentales (Greca y Moreira, 2000). Los resultados de estas investigaciones destacan que las personas construyen modelos mentales simples en acuerdo con sus conocimientos del mundo físico, y que la expansión del conocimiento en un dominio es por asimilación y acomodación del nuevo conocimiento en modelos más sofisticados, de acuerdo con la teoría Psicogenética de Piaget.

² En Llancanqueo, et. al. (2003) *El concepto de campo en el aprendizaje de la Física y en la investigación en educación en Ciencias. Revista electrónica de Enseñanza de las Ciencias* 2(3) 227-253.

Concepciones y razonamiento, que investiga las ideas acerca de aspectos de los conceptos de la física que revelen posibles obstáculos de aprendizaje (Viennot y Rainson, 1992); identificar la existencia de concepciones alternativas y concepciones aceptables científicamente, por ejemplo en el campo gravitacional (Palmer, 2002) e indagar las relaciones entre estas concepciones. Las explicaciones de los estudiantes resultan ser causales y lineales, y su edad y niveles de instrucción no han resultado ser relevantes, ya que implicaría formas de pensamiento común que prevalecen luego de la enseñanza. Se ha encontrado la coexistencia de concepciones alternativas y concepciones aceptadas científicamente (Palmer, 2002), enlazadas por procesos de razonamiento condicional, influenciadas por el contexto de las situaciones de los problemas planteados.

2.2. Justificación.

Las investigaciones sobre desarrollo cognitivo y razonamiento científico se han centrado en la naturaleza de los esquemas explicativos que tienen los niños sobre ciertos dominios de conocimiento y en particular el físico (Pauen, 1996; Vosniadou, 2002). Estas concepciones han mostrado ser de gran solidez cuando se les lleva a realizar juicios causales sobre hechos físicos. Son extraídas del mundo real y conllevan un cierto nivel de veracidad para quien las percibe, además que son generalizadas de una manera implícita, sobreponiéndose o ligándose al conocimiento que se imparte en las instituciones educativas y generando así, un híbrido que concilia de manera arbitraria y en la mayoría de las veces errónea ambos conocimientos.

Estas concepciones implícitas, son ideas causales sobre el mundo físico, que generan predicciones que siguen siendo consistentes a pesar de recibir información contradictoria. En este sentido es necesario considerar la naturaleza intrínseca de las concepciones y de qué manera son consistentes con las predicciones que generan.

La comunidad educativa en ciencias acepta la idea del conocimiento concebido no como una aproximación gradual a la verdad sino como acceso al mundo, como medio para otorgarle sentido, explicándolo y considerando que una cosa y la comprensión correcta de ella son muchas veces inseparables. Entonces, resultará fundamental clarificar la idea de la explicación científica en el aula, las formas que ésta adopta, el rol que le cabe en el proceso de construcción del conocimiento, su relación con las teorías, los modelos y su funcionalidad al realizar predicciones sobre futuros eventos relacionados con el concepto o fenómeno que se explica, así como las implicaciones para la enseñanza de la Física.

2.3. Objetivo General.

Demostrar el vínculo existente entre los esquemas explicativos y los predictivos que, sobre un fenómeno observable en una demostración simple, tienen estudiantes preuniversitarios de una muestra elegida al azar.

2.4. Objetivos particulares.

Analizar la naturaleza intrínseca de las concepciones de los estudiantes ante un fenómeno físico.

Indagar la consistencia de las predicciones con el modelo explicativo identificado en el estudio.

Clasificar, con base en modelos de representación cognitiva, la manera en que los estudiantes realizan sus predicciones ante el fenómeno presentado en las entrevistas.

Analizar las causas y efectos no obvios que los estudiantes pudieran referir al respecto del fenómeno presentado.

2.5. Hipótesis.

Los esquemas explicativos de los estudiantes son utilizados congruentemente con sus predicciones al presentársele la situación fenomenológica. Además, se espera que mientras más compleja sea la explicación del fenómeno, su predicción sea más cercana a la realidad. Si la explicación es primitiva o contiene pocos elementos, su predicción no será correcta, aunque también será congruente.

Capítulo 3

El problema de la explicación en la ciencia y en la educación en ciencias.

La ciencia es hija del cerebro del hombre; no es ninguna forma de revelación. Sus mejores éxitos siempre pueden ser discutidos y revisados. Lejos de ser la verdad absoluta, tiene por norma la relatividad. Pero la ciencia tampoco es sólo una acumulación de datos empíricos. Los científicos aunque a veces no lo sepan, invariablemente trabajan sobre un fondo filosófico, el cual da razón, al fin y al cabo, de la actitud que asumen en sus investigaciones.

3.1. Las explicaciones y predicciones en el trabajo científico.

Explicar es responder a la pregunta por qué. El que explica argumenta, da razones, vincula oraciones entre sí de modo que conforman un sentido general que pretende hacer inteligible el objeto de su explicación. Explicarse algo es entenderlo; incorporarlo a una visión coherente en un dominio dado de referencia. El que explica se apoya siempre en innumerables presuposiciones y creencias previas de diversos niveles de generalidad; marcos conceptuales, teorías, datos. Intenta utilizar las porciones que considera más sólidas de su conocimiento para dar cuenta de lo nuevo, o de lo dudosamente conocido.

El que explica bajo el marco de la ciencia usa herramientas y estrategias probadas y validadas por la tradición científica a la que pertenece: ciertos tipos de lenguaje, de modelos, de inferencias que son en principio reconocidas como válidas. La multiplicidad de disciplinas científicas han creado a la par una gran variedad de tradiciones en las que la forma de explicar parece disímil.

La pregunta que se plantea es entonces: ¿Son todas las explicaciones que la ciencia da de una misma forma o existe un patrón general de explicación bajo el cual se puedan subsumir todas las explicaciones científicas con sus peculiaridades? La filosofía ha tendido a responder afirmativamente. Su punto principal de apoyo es la idea de una racionalidad subyacente que se encuentra en el método científico. Ya Descartes mencionaba que es necesario un método *para bien dirigir la razón y buscar la verdad en las ciencias*, y prosigue: *No es suficiente, pues, poseer un buen ingenio, sino que lo principal es aplicarlo correctamente (...). Aquéllos que caminan con gran lentitud si siguen el recto camino, pueden lograr una gran ventaja sobre aquellos que avanzan con mayor rapidez pero que se han alejado de tal camino.* Para él las capacidades cognitivas (agilidad mental,

imaginación, memoria) forman parte de lo que llamaba ingenio, pero todo esto necesita un método para acrecentar progresivamente los conocimientos y situarlos lo más alto posible. Estas ideas estarán enlazadas fuertemente en el desarrollo de la problemática del presente trabajo.

Por otra parte, Popper expuso por primera vez sus ideas sobre la explicación y la predicción en el trabajo del científico, en 1934 en su libro *Logik der Forschung* (La Lógica de la Investigación científica). En él dice:

Dar una explicación causal de un evento significa deducir un enunciado que lo describe, usando como premisas de la deducción una o más leyes universales, junto con ciertos enunciados singulares, llamados condiciones iniciales. Por ejemplo, podemos decir que hemos dado una explicación causal de la ruptura de un cierto hilo si hemos encontrado que el hilo puede soportar el peso de una libra y que se le puso un peso de 2 libras. Si analizamos esta explicación causal encontraremos varios elementos constitutivos. Por una parte está la hipótesis siguiente: "Siempre que un hilo determinado sufra una tensión mayor a cierta tensión que le es característica habrá de romperse", esto es un enunciado que tiene el carácter de una ley universal de la naturaleza. Por otra parte, tenemos enunciados singulares (en este caso dos) que solo se aplican al evento específico en cuestión: "La tensión característica que puede soportar este hilo es de una libra" y "el peso a que se sometió este hilo fue de dos libras". De este modo, tenemos dos clases distintas de enunciados, los cuales son ambos ingredientes necesarios de una explicación causal completa. Ellos son (1) enunciados universales, esto es, hipótesis que tienen el carácter de leyes naturales, y (2) enunciados singulares que se aplican al evento específico en cuestión y a las cuales llamaré "condiciones iniciales". Es a partir de enunciados universales en conjunción con condiciones iniciales que deducimos el enunciado singular, "este hilo se romperá". Llamamos a este enunciado una predicción específica o singular."

Bunge (2005), en su clásico texto sobre la ciencia, cataloga una serie de características que distinguen al conocimiento científico como una construcción artificial de la mente humana. En lo esencial, este tipo de conocimiento se destacaría por su carácter fáctico, racional, verificable, objetivo, sistemático y *explicativo*. El conocimiento científico es fáctico por cuanto trata sobre los fenómenos y hechos de la realidad empírica; es racional por estar fundado en la razón, esto es, en un conjunto de ideas y razonamientos y no en sensaciones, opiniones, pareceres o dogmas; verificable en el sentido de comprobable empíricamente

por cuanto sus afirmaciones deben someterse al tribunal de la experiencia; objetivo por cuanto sus afirmaciones pretenden ser concordantes con los objetos de la realidad; sistemático en el sentido de constituir un cuerpo de ideas lógicamente entrelazadas más que un cúmulo de proposiciones inconexas y, por último aunque no menos importante, el conocimiento científico es explicativo en el sentido de que el mismo no se conforma con describir cómo es el mundo sino que intenta dar cuenta de las razones por las cuales el mundo es como es; o sea, encontrar las razones por las cuales los fenómenos empíricos se comportan del modo en que lo hacen.

Aun cuando los experimentos reproducibles y controlados de un fenómeno no sean posibles y también cuando las condiciones del problema no puedan ser definidas con precisión, se pueden descubrir algunas de las causas significativas de un conjunto de fenómenos. Esto es factible si se trata de descubrir cuáles de los procesos pasados pueden haber dado origen a las relaciones observadas que ahora existen en estos fenómenos.

En el siglo XIX, John Stuart Mill dio cuenta de las inferencias desde los efectos a las causas que puede ser extendida para aportar un modelo de inferencia científica. Uno de los procedimientos por el que se ha intentado esa expansión ha sido recurriendo al concepto de explicación. La idea básica del modelo de inducción para la mejor explicación es que los científicos infieren desde la evidencia válida a la hipótesis que, de ser correcta, proporcionaría la mejor explicación de esa evidencia. El punto de partida para la mayoría del trabajo filosófico contemporáneo sobre la naturaleza de la explicación científica es el modelo deductivo-nomológico, según el cual una explicación científica es una deducción de una descripción del fenómeno para ser explicada desde un conjunto de premisas que incluye, por lo menos, una ley de la naturaleza.

Las ciencias físicas describen los fenómenos en términos de cantidades físicas y leyes. En este proceso de abstracción, donde los conceptos se construyen, las nociones sencillas o familiares al conocimiento común son de poco uso. El proceso es, en realidad, lejano a lo natural, como la historia de la ciencia demuestra (Arons, 1970; Bernal, 2007; Koestler, 2007)

La teoría puede ser aproximada de una manera relativamente sencilla, y las leyes esenciales pueden ser dichas en pocas palabras. Pero aún en un nivel elemental, la Física involucra constructos y conceptos consecuentemente abstractos. Un “rayo de luz”, por ejemplo, no es un objeto material. Es un modo de representación, llamado frecuentemente

un “modelo”, usado para traducir al lenguaje simbólico la propagación de la luz. Por lo tanto, un rayo no tiene el mismo estatus de un objeto ordinario, como una mesa o una silla. En particular, no vemos los rayos de luz, y aquellos que pensamos que vemos, como los rayos de luz solar o los rayos láser, son en realidad partículas que se difunden, cada una iluminada por un haz de luz rectilíneo. Aunque una “imagen óptica” puede ser de hecho observada, las reglas de su formación son sorprendentes y muy distintas que gobiernan los objetos materiales ordinarios. ¿Cómo entonces el razonamiento natural se aproxima a estos objetos inmateriales? ¿Su diferencia con las entidades materiales ordinarias se ha comprendido? Desde la misma perspectiva, ¿es fácil aceptar que el concepto de color puede ser distinguido de nuestra idea de lo que caracteriza a un objeto? Estas preguntas no son tan ingenuas como se ven y constituyen el meollo del asunto: Cómo se generan las explicaciones sobre un fenómeno natural en la escuela, y qué tan distintas pueden ser de las explicaciones científicas sobre él.

La necesidad de sobrevivir nos ha llevado a hallar maneras de prever los cambios en el entorno y más allá, controlarlos para usarlos en nuestro provecho. Consecuentemente, las leyes y teorías científicas se han formulado para que, entre otras cosas, se prevean eventos naturales y controlarlos. La ciencia dispone de herramientas, algunas de ellas sofisticadas, que permiten describir los diversos aspectos de los fenómenos naturales, para así, poder *explicarlos*. Para comprender estas herramientas, desde la perspectiva epistemológica, han de ser consideradas como modos de dar respuestas a cierta clase de preguntas sobre los fenómenos. Estas preguntas adquieren rangos de leyes si logran alcanzar cierto grado de generalidad y precisión. Sin embargo, las ciencias no se conforman con sólo describir fenómenos y establecer leyes a partir de estas generalidades. En su búsqueda de respuestas, también tratan de responder a la pregunta del porqué de estos fenómenos y por qué se dan o no ciertos sucesos.

Consecuentemente, la ciencia ha tratado de eliminar toda forma de indeterminación del lenguaje, sometiéndolo a rigurosas modificaciones para aumentar la especificidad de sus expresiones lingüísticas. Esta precisión es para que los enunciados científicos sean susceptibles de ser sometidos a pruebas a través de la experiencia. *Al aumentar la determinación de los enunciados e incorporarlos a los esquemas explicativos lógicamente integrados, la ciencia moderna agudiza los poderes de discriminación de sus procedimientos de prueba y aumenta las fuentes de elementos de juicios para sus conclusiones.* (Nagel, 1981:28)

La principal cuestión epistemológica de la explicación científica hoy en día, es si se ocupa por las cuestiones normativas o por las fácticas. Popper estaba más preocupado por las primeras, en tanto que Kuhn (1962) atiende preferentemente a cómo él ve que los desarrollos científicos han ocurrido. Las explicaciones que los epistemólogos dan sobre el éxito de la ciencia se refieren al *poder explicativo* de las teorías que la conforman, conviniendo en general que ese éxito supone su capacidad para predecir sucesos naturales y manipular objetos de la naturaleza. Este punto de vista es objetado por el relativismo. De cualquier forma, la explicación en la ciencia se ha considerado uno de los principales problemas al cual la epistemología debería responder.

Considérese la explicación de la experiencia de Oersted sobre el campo magnético producido por una corriente eléctrica. Para Kuhn, la descripción de la corriente eléctrica como constituida por un flujo de electrones puestos en movimiento por la energía de la pila, es considerada la explicación causal correcta. “La causa propiamente dicha reside en una sustancia específica que circula realmente por el hilo, no en virtud de una ecuación matemática, como el flujo de energía que es ficticio...” Por el contrario, Halbwachs sostiene que el poder explicativo del energetismo es incompleto, pues “permite decir cómo, en qué cantidad, según qué ley precisa tal forma de energía se transforma en tal otra, pero no puede explicarnos porqué precisamente esta forma y no otra es la que aparece en tales circunstancias”

Pueden reconocerse dos posturas respecto de la explicación científica. Una de ellas, sostenida por Pierre Duhem, dice que las teorías científicas “representan” pero no “explican” leyes experimentales; para él, la función representativa posee valor científico. La actual concepción, es que las teorías explican los fenómenos describiendo la realidad subyacente a ellos y prediciendo nuevos fenómenos. Klimovsky (1995) aporta a la distinción explicación – predicción, diciendo que una predicción se refiere a consecuencias observacionales que son esperables que ocurran y no constituye una corroboración del enunciado dado para ello, ni da razones para la verificación. En la explicación, el hecho ya ha ocurrido y a través de la explicación científica se intenta dar las razones por las que ese hecho, descrito por un enunciado verdadero, se ha producido así y no de otra manera. La predicción y la explicación no se diferenciarían por la estructura lógica sino porque en el primer caso no sabemos que el enunciado es válido y al hacer la predicción, si ésta se cumple, se incrementa el conocimiento fundado en datos y leyes.

Muchos físicos afirman que la ciencia es fundamentalmente explicativa, pues considera a los hechos en términos de leyes y las leyes en términos de principios; y dentro de esta concepción pueden distinguirse a la vez dos enfoques, con relación al peso que se le asigna a los supuestos o condiciones antecedentes del hecho que se explica.

Hempel (1965) considera que la explicación parte de una declaración de un fenómeno a ser explicado y encuentra un conjunto de leyes y enunciados sobre condiciones antecedentes que implican una declaración. Ésta no puede ser deducida solamente de las leyes sino que es preciso incluir informaciones específicas sobre condiciones que le anteceden. Ellas incluyen las llamadas condiciones de contorno, que establecen el dominio de la ley como las condiciones iniciales del problema a ser explicado. Entonces la explicación se realiza cuando las premisas implican y explican la conclusión. Este modelo admite una variante, que es la explicación potencial, en la que las premisas – datos son reemplazadas por supuestos: se supone que el hecho ha ocurrido de determinada manera y se deduce como consecuencia, conocimiento ya aceptado. Se usa mucho en Cosmología.

Según Bunge (1988) “los científicos no se conforman con descripciones detalladas: además de inquirir cómo son las cosas, procuran responder a por qué: por qué ocurren los hechos como ocurren y no de otra manera” (p.30). La explicación científica a la que alude no debe ser vista como explicación causal, ya que las leyes científicas no siempre son causales.

Otro tipo de explicaciones científicas son las explicaciones funcionales, utilizadas en Sociología y Biología, entre otras ciencias. Para Humberto Maturana (1995) las explicaciones son proposiciones presentadas como reformulaciones de experiencias que son aceptadas como tales por un oyente con respecto a una pregunta que exige una explicación. A esta definición de explicación, agrega que el uso de las explicaciones científicas para dar validez a una afirmación, es lo que hace que esa afirmación sea una afirmación científica.

Compartiendo la postura en la que los supuestos o condiciones antecedentes son menos relevantes, Rolando García (1979) establece que una explicación física consiste simplemente en demostrar que un fenómeno dado es una consecuencia de leyes ya aceptadas. Larry Laudan (1993), en su libro *La ciencia y el relativismo*, le asigna las siguientes posturas a supuestos epistemólogos. Según él, para un realista, entre los fines de la ciencia estaría “la explicación y predicción de todo lo que ocurra en el mundo natural”. Para un pragmatista, sería “producir teorías que sean cada vez más fiables” (p.36). Para él,

los científicos quieren teorías que expliquen y que hagan predicciones sobre el mundo que les permitan manipularlo en toda su diversidad de maneras. Un epistemólogo positivista reconocería que el fin de la ciencia es desarrollar teorías y leyes para correlacionar, explicar y predecir los datos observacionales. Para el propio Laudan (1986), “el objetivo de la ciencia consiste en obtener teorías con una elevada efectividad en la resolución de problemas” (p.11). Esta concepción pragmática de la ciencia, establece el poder explicativo de una teoría como su capacidad para resolver problemas, tanto empíricos como conceptuales, de modo que se constituye en una visión de ciencia más general.

Si se acepta el punto de vista en el que describir, si bien implica una comprensión de algunas teorías, éstas no son descriptivas, sino explicativas. Describir implica definir el fenómeno, sus características y componentes, así como definir las condiciones en que se presenta y las distintas maneras en que puede manifestarse. Explicar significa incrementar el entendimiento de las causas del fenómeno y refiere a la prueba empírica de las proposiciones de la teoría a las que les da apoyo. Entonces la capacidad de predicción está asociada a la posibilidad de pronosticar eventos que aún no ocurren y que pueden ser explicados antes de que sucedan. Esta capacidad múltiple de descripción, explicación y predicción es lo que constituye el “poder explicativo” de una teoría o, siguiendo a Laudan, su capacidad para resolver problemas.

3.2. Perspectiva de la educación en ciencias sobre las explicaciones científicas de los estudiantes.

La gran cantidad de investigaciones y la diversidad de planteamientos teóricos y metodológicos sobre las explicaciones de los estudiantes sobre los fenómenos de la naturaleza, han mostrado una tendencia hacia dos enfoques dominantes en el estudio de las concepciones de las personas, esencialmente estudiantes en edad escolar (Carretero, 1987). Estos enfoques son la teoría de Piaget de las *operaciones formales* (Inhelder y Piaget, 1955; Shayer y Adey, 1981) y el más reciente enfoque de las *Ideas previas* o concepciones alternativas de los alumnos sobre los fenómenos científicos (Driver, Guesne y Tiberghien, 1985; Hierrezuelo y Moreno, 1988). Hay coincidencias entre estos enfoques en supuestos básicos, como el constructivismo como paradigma de aprendizaje, y las ideas de Ausubel de enseñar a partir de lo que se sabe. Sin embargo, difieren en otra serie de supuestos igualmente importantes tanto desde el punto de vista psicológico como educativo.

Las diferencias estriban en los presupuestos con respecto a la forma en que están organizados los conocimientos por parte de los alumnos. Piaget suponía que las ideas o conceptos construidos por los adolescentes dependen de estructuras lógicas más generales, que producen un grado notable de homogeneidad en las ideas mantenidas por los estudiantes en diversos dominios o situaciones. El enfoque de las concepciones previas alternativas parte del supuesto de que se trata de ideas aisladas o escasamente conectadas entre sí.

Piaget afirmaba que el progreso en el conocimiento científico es *estructural*. Las representaciones y las acciones de las personas en relación con los fenómenos científicos estarían determinadas por ciertas estructuras lógicas generales cuyo desarrollo haría posible niveles más complejos de pensamiento científico. Los cambios estructurales darían lugar a la aparición de diversos estadios, caracterizados por la realización de operaciones cognitivas distintas. El cambio estructural sería entonces general, ajeno a los contenidos específicos del dominio, especialmente tras el acceso a las operaciones formales (Inhelder y Piaget, 1955). Este modelo estructural prevé el uso homogéneo de las operaciones formales con independencia del contenido al que se apliquen (Carretero 1985) y está más interesado en el funcionamiento de procesos generales del pensamiento científico: combinatoria, control de variables, razonamiento proporcional, etc., que en la comprensión de nociones o conceptos científicos específicos. Con esto, según Fuller, Karplus y Lawson (1977) *se trata de que la enseñanza de la ciencia fomente el cambio estructural, facilitando el acceso al estadio de las operaciones formales.*

En cambio, los estudios basados en el enfoque de las *concepciones alternativas*, tienen una orientación conceptual. Se centran en la comprensión de nociones específicas, observando que los alumnos poseen sus propios conceptos, generalmente previos a la instrucción, sobre los fenómenos de la ciencia. Estos conceptos suelen ser contrarios a las ideas científicas y son resistentes al cambio (Driver, Guesne y Tiberghien, 1985). Este enfoque, por lo tanto, se centra en la adquisición de unidades específicas de conocimiento. Entonces, este enfoque propone un sujeto cognitivamente heterogéneo, de forma que no se saben las relaciones entre la física, la química o la historia intuitivas de cada estudiante. Las investigaciones basadas en este enfoque no pueden predecir el rendimiento de un alumno ante tareas correspondientes al mismo dominio de conocimiento (Driver y Oldham, 1986). Entonces los modelos de enseñanza se orientan a promover el cambio conceptual

en áreas o dominios específicos de conocimiento en lugar de buscar cambios estructurales generales.

Recientemente, a partir de estas dos concepciones enfrentadas se abre paso una interpretación intermedia, que surge de la falta de datos sobre la homogeneidad / heterogeneidad de los conocimientos científicos de los estudiantes generados desde la perspectiva del pensamiento formal, ya que no han corroborado que éste constituya la estructura de conjunto predicha por Piaget. Sin embargo, tampoco estos conocimientos no son totalmente dispersos e inconexos. Esto implica que hay una cierta coherencia en las ideas y habilidades científicas de los adolescentes. Este nivel de coherencia es insuficiente para mantener la idea de los estadios; sin embargo, es un punto de partida para requerir un análisis teórico y experimental más estructurado del que vienen realizando los estudios sobre las concepciones alternativas. Estos estudios se caracterizan por ser descriptivos y porque su metodología no permite el análisis sino en términos de ideas aisladas. Sin embargo, los estudios que han analizado la coherencia de las ideas de los estudiantes en un dominio dado, sea físico o biológico, han encontrado niveles variables, pero significativos de relación entre las ideas de los alumnos dentro de un mismo dominio (Engel Clough y Driver, 1986, Oliva y Rosado, 1990, Arnay, 1988, Jiménez Aleixandre, 1990)³

Cómo son concebidas las explicaciones, las teorías y los modelos por parte de los docentes, tiene consecuencias directas para la enseñanza de las ciencias. Las aportaciones en estos aspectos han llevado al trabajo investigador a reconciliar la imagen heterogénea que dieron los estudios de concepciones del conocimiento del estudiante por otra más homogénea, aunque no tanto como la postulada por Piaget (Pozo, et. al. 1991). Los resultados estarían relacionados con las llamadas *teorías de dominio*, constituidas por el conjunto de representaciones de diverso tipo activadas por los sujetos ante contextos pertenecientes a un área específica de conocimiento del mundo (Pozo y Gómez Crespo, 1998). Los modelos que se crean dentro de las teorías de dominio se desarrollan construyendo cambios generales en las estructuras de representación que operan en todos los dominios de conocimiento y en todos los aspectos del sistema cognitivo. (Los neo - piagetianos consideran que las estructuras son más locales y pueden llegar a afectar dominios diferentes de conocimiento, aunque siguiendo pautas que obedecen a las generales del sistema cognitivo).

³ En Pozo, J. I., del Puy Pérez, M., Sanz, A., & Limón, M. (1992). Las ideas de los alumnos sobre la ciencia como teorías implícitas. *Infancia y aprendizaje*, 15(57), 3-21.

Bajo este esquema, las explicaciones de los estudiantes tienen naturaleza estructural. Son el resultado de un sistema cognitivo que intenta dar sentido a un mundo definido no sólo por las relaciones entre los objetos físicos del mundo, sino por las relaciones sociales y culturales que se establecen en torno a esos objetos. No es extraño que resulten tan difíciles de eliminar en la enseñanza, ya que conforman buena parte del sentido común e incluso de una tradición cultural. Sin embargo, la enseñanza de la ciencia requiere superar o trascender estas representaciones de primera mano, un tanto superficiales, que nos ofrecen el sentido común y la cultura cotidiana. Para ello es necesario conocer algo más sobre cómo están organizadas estas concepciones alternativas y qué es lo que hay que cambiar en el llamado cambio conceptual.

Al analizar las relaciones entre el conocimiento científico y cotidiano en un dominio dado, conviene diferenciar entre diversos niveles de análisis representacional. En un primer nivel, y por tanto más accesible y fácil de explicitar por el propio sujeto, están las creencias, predicciones, juicios e interpretaciones que ese sujeto realiza sobre las situaciones y tareas que enfrenta. Él puede generar con relativa facilidad una representación, en forma de imagen o explicitada a través del lenguaje, puede acceder con relativa facilidad a esa interpretación, y el educador o investigador las puede reconocer también. De hecho, la mayor parte de la investigación sobre las concepciones de los estudiantes se ha centrado en plantear una tarea que induzca a los aprendices a activar una representación y asumir que esa representación constituye una concepción alternativa con los rasgos de generalidad, estabilidad, resistencia al cambio y cierta coherencia. Un rasgo esencial de estas representaciones, según Rodrigo (1997), es su carácter situacional. Se trata de representaciones activadas para una situación específica, sin que estén necesariamente almacenadas en el sistema cognitivo del estudiante. En realidad responden a los rasgos representacionales de los modelos mentales. Aunque son relativamente accesibles a la conciencia del sujeto, son representaciones aún implícitas, que no han llegado a constituirse por su uso reiterado en representaciones presentes explícitamente en el sistema cognitivo del sujeto. La investigación concluye que no se puede asumir que toda representación activada por los sujetos en respuesta a la demanda de una tarea o un problema escolar es una concepción alternativa con los rasgos y el origen descritos arriba. Algunas de ellas tienen carácter contextual y situacional, mientras que otras, que tienen mayor funcionalidad, ya que se usan reiteradamente en contextos diferentes, tienen ese carácter estructural. Estas últimas son las que requieren un verdadero cambio conceptual para su modificación.

Para conocer cuáles de esas ideas, predicciones o acciones tienen un verdadero significado, hay que estudiarlas como parte de un sistema de conocimiento más amplio, constituido por las relaciones entre esas concepciones. El cambio no implica tanto cambiar unas ideas por otras, sino modificar las relaciones entre estas ideas que son las que determinan su significado. La historia de la ciencia ha mostrado que las nuevas teorías científicas no abandonan todas las ideas de las teorías precedentes, sino que las reestructura y cambia su sentido en el marco de la nueva teoría. Igual ocurre en el aprendizaje de la ciencia; lo que cambia no son tanto las ideas aisladas como las teorías de las que forman parte (Benlloch, 1997).

En la escuela, se consideran un conjunto de factores para la construcción de las explicaciones científicas en los estudiantes: una, muy importante, es el contexto en el que estas explicaciones se construyen. Desde una óptica simplista, el contexto es el lugar donde las cosas acontecen. Este contexto no es fijo ni definido, sino que se transforma con la actividad misma. Si se considera el contexto como un mundo social constituido en relaciones con personas interactuantes, tanto el contexto como la actividad propia de aprendizaje parecen inexorablemente flexibles y cambiantes (Lave, 2001). Dentro del contexto se encuentra el lenguaje: en el aprendizaje de las ciencias la comunicación juega un papel muy importante. Por ello, el lenguaje es el instrumento mediador del aprendizaje más decisivo, tanto por lo que se refiere a la construcción de las concepciones alternativas como a su revisión y reconstrucción. A través de las palabras se expresan las ideas, por lo que no es de extrañar que el lenguaje cotidiano reproduzca modelos explicativos alternativos. Siendo así, es fácil entender por qué las concepciones alternativas en mecánica son fundamentalmente aristotélicas. El lenguaje cotidiano reproduce el modelo explicativo aristotélico de la materia, en el que las propiedades de los materiales se deben a que *tienen* sustancias que confieren dicha propiedad o que los cambios materiales se deben a cambios en su forma. Pero al mismo tiempo, el lenguaje es el instrumento que utilizamos para comparar y contrastar las diferentes maneras de explicar los diferentes modelos. A través del lenguaje se expresan los propios argumentos y se conocen los de los demás. La necesidad de comunicar experiencias e ideas conlleva el uso del lenguaje, que provoca la evolución del pensamiento. Vigotsky afirmaba que *el pensamiento no se expresa tan sólo en palabras, existe a través de ellas*.

Se reconoce que los procesos cognitivos se desarrollan en situaciones específicas y no son globales e indeterminados. Entonces el contexto es un espacio dinámico, donde el lenguaje

no solamente forma parte del contexto, sino que lo crea (Mercer, 1996). Entonces, el aprendizaje es inherente a la actividad y se entiende como la cambiante comprensión de la práctica, y está asociado consecuentemente a las prácticas específicas.

Capítulo 4

La predicción como habilidad de pensamiento complejo

4.1. Los orígenes de la predicción en el razonamiento común.

La ciencia supone una regla de causalidad en el mundo que nos rodea. Adopta la visión de que una determinada causa irá seguida por determinados efectos. Este punto de vista fue llevado al extremo en el pasado y fue exagerado en la forma de una afirmación más definida: Determinada causa irá seguida por determinado efecto. No puede aceptarse ese determinismo estricto porque va en contra de los experimentos (Brillouin, 1969). Lo que en realidad se observa es una conexión un poco floja, con algunas atenuantes representadas por alguna regla de probabilidades.

Considerando cualquier dominio relevante, sobre todo aquéllos que resuelven el mundo cotidiano, las personas poseen ideas que permiten predecir y controlar los sucesos. Estas funciones de predicción y control del entorno inmediato tienen un alto valor adaptativo en todas las especies, pero se multiplican en los humanos, gracias al aprendizaje y la cultura (Pozo, 1996a). Esta necesidad de predecir empieza desde la infancia. Algunas hipótesis mencionan que los bebés disponen de verdaderas ideas sobre el mundo de los objetos y las personas (Karmloff-Smith, 1992). Sin embargo, está fuera de duda que para predecir y controlar el movimiento de los objetos que componen el entorno, los bebés necesitan teorías que predigan y controlen su conducta. Por ello, tampoco es extraño que sin necesidad de instrucción formal y sin ayuda cultural, las personas estemos dotadas desde muy temprano para aprender del mundo y extraer conocimiento de él, recurriendo a mecanismos de aprendizaje implícito (Berry, 1997, Pozo, 1996a) que nos permiten detectar y extraer las regularidades que hay en nuestro mundo sensorial, que constituyen la primera y más sistemática fuente en el origen de nuestras concepciones espontáneas sobre el mundo. Otras concepciones tienen origen cultural, ya que vienen *formateadas* en los juegos del lenguaje propios de cada cultura. Finalmente, otras ideas surgen en las aulas, cuando se usan metáforas y modelos que acaban por impregnar el pensamiento de los alumnos. Por lo tanto, las concepciones de los estudiantes tienen un origen sensorial, cultural y escolar que determina en buena medida la naturaleza representacional de las ideas. Se

han podido evidenciar una serie de reglas que rigen el pensamiento causal cotidiano (Pozo, 1987)

-La semejanza entre causa y efecto o entre la realidad que observamos y el modelo que lo explicaría.

- La contigüidad espacial, y si es posible, el contacto físico entre causa y efecto.

- La contigüidad temporal entre la causa y el efecto, que deben sucederse de modo próximo en el tiempo.

- La covariancia cualitativa entre causa y efecto. Las variables relevantes serán aquéllas que se produzcan siempre que se produce el efecto.

-La covariancia cuantitativa entre causa y efecto, de modo que un incremento de la causa produzca un aumento proporcional del efecto, y viceversa.

Tabla 1. Algunos ejemplos de la utilización de heurísticos o reglas simplificadoras en la formación de las concepciones espontáneas (Adaptación de Pozo y Gómez Crespo, 2009)

Regla	Ejemplos
Semejanza entre causa y efecto	Si hace calor, nos quitamos la ropa, ya que la ropa "da calor"
Contigüidad espacial	La contaminación sólo afecta a las ciudades, ya que en el campo se respira aire puro.
Contigüidad temporal	Si nos duele la cabeza o el estómago, se deberá a lo último que hayamos hecho o comido.
Covariación cualitativa entre causa y efecto	Si hacemos que las cosas sean eléctricas solucionaremos el problema del medio ambiente, independientemente de cómo se obtenga esa electricidad.
Covariación cuantitativa	Si tenemos una cazuela con agua hirviendo y aumentamos la intensidad del fuego, mucha gente cree que aumenta la temperatura del agua.

Estas reglas estarían vinculadas al funcionamiento del sistema cognitivo humano como procesador de información con recursos limitados y que restringe el espacio de búsqueda ante una situación de incertidumbre. Normalmente funcionarían de un modo mecánico e inconsciente, tendrían naturaleza implícita, y vendrían a coincidir básicamente con las leyes

del aprendizaje asociativo. Serían reglas heurísticas, aproximativas, con carácter probabilístico, que se utilizarían para simplificar las situaciones y aumentar nuestra capacidad de predicción y control sobre ellas, si bien tienen un escaso poder explicativo, ya que se limitan a describir secuencias probables de acontecimientos.

4.2. La predicción como habilidad cognitiva.

La adquisición de habilidades cognitivas tiene sus raíces en el estudio de la solución de problemas libres de contenido en los que el individuo explica sus razonamientos en voz alta mientras resuelve el problema. Las transcripciones de los protocolos ofrecen los fundamentos empíricos para el desarrollo de modelos de la solución general de problemas. Posteriormente se desarrollaron dos temas relacionados con la adquisición de habilidades cognitivas: la toma de decisiones y el razonamiento. En este último, se estudia cómo se llega a una conclusión a partir de una combinación de inferencias mentales.

Posteriormente, los investigadores comenzaron a estar interesados en la forma en que se resuelven problemas que requieren mucho más conocimiento que los problemas de rompecabezas y otros similares. Estos problemas, que son más cercanos a los problemas reales, requieren un conocimiento previo en un dominio, durante un largo período de tiempo previo.

Entre estas habilidades, se sitúan la explicación y la predicción. La primera tiene origen en las habilidades básicas de pensamiento, que según Guevara (2000) son aquellas que sirven para sobrevivir en el mundo cotidiano, tienen una función social y que las personas en procesos de educación no deben dejarlas de lado. Estas habilidades se ven como un puente o trampolín para las habilidades analíticas; deben servir de apoyo para el desarrollo de ciertas capacidades más complejas. Éstas surgen cuando las habilidades básicas de pensamiento se refinan, y para lograr su pleno desarrollo es necesario hacer metacognición de las habilidades básicas de pensamiento y además interés por la reflexión. Estas cinco habilidades son: Observación, comparación, relación, clasificación y descripción.

En el caso de la predicción, la mente humana opera con un triple código de proposiciones o representaciones proposicionales, modelos mentales e imágenes y utiliza esas representaciones como intermediarias entre el individuo y la realidad, su mundo, ante la imposibilidad de aprehenderlo directamente. Las proposiciones son representaciones verbalmente expresables. Son sentencias con una estructura similar a la lingüística que, si se articulan, darían lugar a una representación predictiva y explicativa (desde la

perspectiva de la propia teoría) o modelo mental. Éste es un análogo estructural del mundo que se pretende representar que genera comprensión ya que permite explicaciones y predicciones sobre el mismo; por lo tanto, favorece el establecimiento de deducciones e inferencias, la interpretación, la formulación de analogías (Johnson-Laird, 1989, 1994), esa comprensión, en suma. Esos modelos pueden generar vistas o visiones parciales de los mismos, o sea imágenes.

Las explicaciones y predicciones que se aceptan en el terreno de la ciencia les requieren a las personas, y particularmente a los estudiantes, que estructuren el conocimiento en formas que contradicen sus expectativas acerca de la naturaleza y cómo las causas y los efectos se comportan. La investigación previa sugiere que los expertos y los novatos típicamente estructuran sus explicaciones de manera distinta, enfatizando diferentes dimensiones de complejidad, y consecuentemente, predicen diferentemente.

La investigación cada vez más abundante sugiere que los estudiantes tienen suposiciones limitadas acerca de la naturaleza y la causalidad (Chi, 2000; Driver, Guesne y Tiberghien, 1985; Grotzer y Bell, 1999; Perkins y Grotzer, 2000) que impactan igualmente su entendimiento de la complejidad y la ciencia de todos los días. También se han encontrado “sesgos reduccionistas” que van hacia la simplificación y lejos de la complejidad; por ejemplo, la reducción de procesos dinámicos a capturas estáticas o el rompimiento de la continuidad colocando pasos discretos en las explicaciones. Estas vías reduccionistas han sido identificadas específicamente en términos de complejidad causal. En este contexto, Grotzer y colaboradores (2004; Grotzer y Bell, 1999) han identificado un conjunto de nueve supuestos simplificadores que conducen a nociones simples de causalidad.

Los estudiantes suponen que la causalidad es	Ejemplo	En lugar de	ejemplo
Lineal	Si chupo sobre el popote, hago que el jugo llegue.	No lineal	Hay una pérdida de presión dentro del popote respecto al exterior de él, entonces el desbalance resulta que el jugo suba por éste.
Directa sin pasos intermedios	Las plantas verdes son importantes para los animales que se alimentan de ellas, pero no a los animales que se alimentan de los que comen plantas verdes.	Indirecta	Si las plantas verdes desaparecieran, eventualmente se afectaría todo en la red alimentaria.

Unidireccional	Los ratones importan a los búhos porque ellos representan comida, pero los búhos no importan a los ratones	Bidireccional o mutua	Los búhos mantienen un balance en la población de ratones.
Secuencial con procesos paso a paso	Los electrones llenan el circuito y van a cada foco, por lo que el primer foco obtiene la mayor potencia.	Simultánea	Los electrones se mueven como una cadena de bicicleta moviéndose en un circuito al mismo tiempo que hace que el foco encienda cuando se mueve.
Construida con características perceptibles y obvias	Los objetos se hunden a causa de su peso.	Construido desde variables no obvias o imperceptibles.	La densidad afecta el hundimiento y la flotación.
Debida a agentes activos e intencionales	Los electrones se mueven a producir electricidad estática.	Debida a agentes pasivos o no intencionales	Los protones y electrones son atraídos. Los puentes se sostienen debido a fuerzas balanceadas. Los cinturones de seguridad pasivamente causan que nos quedemos quietos cuando el auto se detiene.
Efectos determinísticos siempre siguen "causas" o la relación causal es cuestionada	Lo hice antes y no me enfermó, entonces no me voy a enfermar ahora.	Probabilística	Enfermarse depende de muchas cosas. Aún si antes no me enfermó, puedo todavía enfermar ahora.
Espacial y temporalmente cerrada a sus efectos	No puedo ver ningún efecto malo en broncearme justo ahora.	Distante o con retrasos	Los efectos dañinos de broncearse se acumulan y se pueden mostrar después de algún tiempo entre la causa y el efecto.
Centralizada con pocos agentes	La abeja reina dirige la actividad en la colmena.	Descentralizada con agentes distribuidos y efectos emergentes	Las interacciones de muchas abejas resultan en un sistema organizado.

En el caso de las dimensiones de complejidad de los modelos causales, se parte del supuesto de que algunas explicaciones son más complejas que otras en formas fundamentales. Se plantean cuatro dimensiones de caracterización de los modelos causales. Su propósito es organizar la complejidad creciente e identificar sobre las fuentes de complejidad que los estudiantes muestren cuando están aprendiendo las formas de causalidad implícitas en muchos temas de ciencia.

1. Mecanismo. Se refiere al que se invoca en una explicación. En lo más superficial, está dada por una simple generalización desde la experiencia del individuo, y en su forma más profunda, entraña numerosos niveles de mecanismo subyacente que

involucran propiedades, entidades y normas introducidas que no son parte de la situación de superficie, pero que pueden salir a cuenta en cualquier momento.

2. Patrón de interacción. Pueden por ejemplo, implicar a los patrones lineales simples que son unidireccionales y que mantienen correspondencia uno a uno, o causalidades interactivas con atracción mutua, estados de balanceo o desbalanceo, poner en movimiento una causalidad mutua de dos vías. También incluye patrones de causalidad basada en restricciones, donde la atención se centra en el sistema en su conjunto y los patrones resultantes debido a las reglas que existen para su comportamiento, (las leyes de la física.)
3. Probabilidad. Se refiere al nivel de certidumbre en la relación causal de la correspondencia entre causas y efectos. Se extiende desde los sistemas deterministas hasta los fundamentalmente inciertos, como los de la teoría cuántica.
4. Agente. Se extienden desde agentes centralizados y de influencia inmediata, hasta entidades y procesos emergentes que se organizan fuera de procesos causales anteriores, tal vez a un nivel más bajo.

Mecanismo	Patrón de interacción	Probabilidad	Agente
Desde una generalización al mismo nivel hasta una inferencia que subyace en el mecanismo	Desde A causa B hasta relaciones recíprocas complejas y sistemas restringidos.	Desde causalidad determinística hasta sistemas caóticos y cuánticos	Desde un agente central y directo hasta causalidad emergente y altamente distribuida.
Generalización superficial: Simplemente describe la regularidad bajo consideración de una manera generalizada. (<i>Cuando hace calor y llueve, hay relámpagos</i>) A menudo hay correlación incorrecta o confusa con la causación. Explicaciones adquiridas: Alguna entidad o fenómeno, intencional o no, hace que las cosas salgan de cierta manera. El comportamiento de esta entidad o fenómeno llega de forma paralela: no hay diferenciación real. (<i>La electricidad estática hace que ocurra</i>) Centrado en la función: Explicaciones en términos de funciones de forma fija pero sin un mecanismo elaborado de manera intencional (<i>las</i>	Causalidad simple lineal: A modifica, empuja, influencia a B. Se ve como no afectada. A es típicamente vista como activa en un empuje, pero pasiva como una resistencia. Causalidad múltiple lineal: Causas y efectos: Múltiples causas inmediatas y/o múltiples efectos inmediatos. Causalidades dominó donde los efectos en turno llegan a ser causas como en una cadena causal simple como la de A causa B causa C. Causa mediadora: Al menos 3 causas en juego. M media el efecto de A sobre B pero no en el simple A causa M causa B. (M es una barrera o un catalizador) Causalidad interactiva: Causalidad en 2 vías: Causalidad con un mutuo	Sistemas determinísticos: Ciertas consecuencias, inevitables y predecibles ocurren como la ley de Ohm y la de Gravitación Sistemas con ruido: Sistemas básicamente determinísticos perturbados por un rango de factores no analizados (<i>fricción o turbulencia</i>) Sistemas "arriesgados" En ciertas circunstancias, las cosas pueden ir en un sentido o en otro con cierta probabilidad. Sistemas caóticos: Impredicibles en gran medida debido a "efectos mariposa" (<i>el estado del tiempo</i>) Orden desde el caos: Variables que se promedian y guardan orden en sistemas	Agentes centrales salientes: Uno o un número muy pequeño de factores clave afectan directa y conspicuamente el resultado. Pueden estar interconectados con causalidad intencional. Agentes centrales no obvios: Con un rol pasivo o con influencia espacial remota. (<i>fuerzas electrostáticas y gravitacionales</i>) Causas aditivas: Causas con efectos acumulativos a través del tiempo (<i>erosión</i>) Redes causales: Redes complejas de causas y efectos, a menudo envolviendo a la población en el razonamiento (<i>ecología</i>) Efectos de disparo: Una influencia modesta modifica a un sistema complejo en un

<p><i>plantas crecen hacia arriba porque necesitan al sol)</i></p> <p>Elementos en lugares comunes. Se construyen explicaciones con elementos familiares del sistema en cuestión en lugar de aquellos que lo subyacen. (<i>Agua deja de salir de orificio de botella porque la presión atmosférica desaparece al taparla</i>)</p> <p>Modelo analógico: El sistema explica al fenómeno por analogía o mapeo analógico. (<i>electricidad como un fluido que se mueve</i>)</p> <p>Mecanismo subyacente: Propiedades, entidades y reglas no son parte de la situación superficial pero cuentan para su existencia. Hay más de dos mecanismos subyacentes, cada uno en diferente nivel.</p>	<p>efecto (<i>atracción entre partículas con masa o con carga</i>) Causa mutua con dos consecuencias (<i>Simbiosis</i>) Causalidad relacional donde el efecto es debido a dos variables interactuando simultáneamente (<i>presión en diferenciales de densidad</i>)</p> <p>Causalidad reentrante: Causalidad cíclica como en homeostasis.</p> <p>Causalidad basada en constricciones: El comportamiento del sistema refleja un sistema de restricciones que éste "obedece" Conservación, constancia y covariancia. (<i>Conservación de la energía, Ley de Ohm, Gravitación Universal</i>)</p>	<p>de gran cantidad de desordenadas partículas (<i>las leyes de los gases</i>)</p> <p>Sistemas fundamentalmente inciertos: Como en la mecánica cuántica, la incertidumbre está construida en la naturaleza de los cuerpos y los eventos, aún en los sistemas más pequeños.</p>	<p>nuevo patrón o actividad (<i>Puntos críticos en epidemiologías</i>)</p> <p>Sistemas autoorganizados. Sistemas aparentemente en desorden que se envuelven en patrones definidos sin que existan agentes externos que los modifiquen.</p> <p>Entidades emergentes y procesos: El agente se distribuye. Las acciones de muchos agentes individuales en un nivel inferior convergen y conforman nuevos patrones más complejos que no pueden ser fácilmente inferenciados por las acciones de más bajo orden. (<i>como el surgimiento de nuevas especies y nuevos compuestos químicos</i>)</p>
--	---	--	--

Es posible realizar la distinción entre sostener convicciones sólidas sin conocer las razones o supuestos en los que se basan y por otro lado, sostener convicciones de las que se es consciente de las razones y supuestos que subyacen a éstas. El segundo caso es más complejo, pero a largo plazo es la mejor forma de pensamiento. El pensamiento complejo es aquél que es consciente de sus propios supuestos e implicaciones, así como de las razones y evidencias en las que se apoyan sus conclusiones. Este pensamiento está preparado para identificar los factores que llevan a la parcialidad, a los prejuicios y al autoengaño.

En sus formas más simples, el pensamiento es puramente procedimental o puramente sustantivo. Pensar sobre el contenido exclusivamente, dando por sentado los procedimientos metodológicos, es un pensamiento sustantivo. En cambio, lo que aquí denominamos pensamiento complejo incluye un pensamiento rico en recursos, metacognitivo, autocorrectivo y todas aquellas modalidades de pensamiento que conllevan reflexión sobre la propia metodología y sobre el contenido que tratan.

Un tipo especial de capacidad del pensamiento es la capacidad de realizar inferencias, es decir, evaluar y generar argumentos de acuerdo con los principios de la inferencia inductiva y deductiva. El razonamiento tiene una importancia sustancial tanto para las actividades

cotidianas como para las actividades académicas, todos cometemos errores al desarrollar este tipo de pensamiento. Algunos de estos errores son sistemáticos, otros, se producen en la propia interacción de la mente con un universo dinámico y cambiante. Al estudiar desde la perspectiva del pensamiento los errores del pensamiento predictivo, pueden ser los indicadores más sensibles de los procesos de razonamiento subyacentes. Si se pueden identificar y organizar las deficiencias del razonamiento común, existe la posibilidad de desarrollar técnicas de entrenamiento con el propósito expreso de corregir esas deficiencias.

La ciencia actual es una construcción de conocimiento que incorpora la complejidad y se realiza desde un marco de valores. La ciencia escolar persigue en este contexto la construcción significativa de nuevas maneras de pensar, hablar, sentir y actuar que permiten explicar y transformar el mundo. Entonces, se ocupa de construir un pensamiento complejo, de plantear un conocimiento en el que razón y emoción son elementos complementarios y asimismo, en el significado de una ciencia escolar que eduque para la acción.

Capítulo 5

Características del razonamiento causal: relaciones entre el sentido común y las estrategias de enseñanza en Física.

5.1. Caracterización del razonamiento causal desde el sentido común y desde el razonamiento científico.

La adquisición de un conocimiento confiable acerca de muchos aspectos del mundo ciertamente no comenzó con el advenimiento de la ciencia moderna y el uso consciente de sus métodos. Muchos hombres en cada generación, repiten durante sus vidas la historia de la especie: se las ingenian para asegurarse habilidades y una información adecuada, sin el beneficio de una educación científica y sin la adopción premeditada de modos científicos de procedimiento.

Entonces, si es tanto el conocimiento que se puede lograr mediante el ejercicio perspicaz de los dones naturales y los métodos del sentido común, ¿Qué excelencia especial poseen las ciencias y en qué contribuyen sus herramientas intelectuales y físicas a la adquisición de conocimientos?

Nadie duda seriamente de que muchas de las ciencias especiales existentes han surgido de las preocupaciones prácticas de la vida cotidiana: La geometría, de los problemas de medición y relevamiento topográfico de campos; la mecánica, de problemas planteados por las ciencias arquitectónicas y hasta los que plantea la guerra; la biología, de los problemas de la salud humana y la cría de animales y plantas; la química, de problemas planteados en general por las transformaciones de la materia o la extracción y separación de sustancias.

Algunos investigadores de la naturaleza de la ciencia, a quienes ha impresionado la continuidad histórica entre las convicciones del sentido común y las conclusiones científicas, han propuesto diferenciarlas mediante la fórmula según la cual las ciencias son simplemente “sentido común organizado o clasificado”. Esta fórmula no traduce

adecuadamente las diferencias características entre la ciencia y el sentido común. La dificultad consiste en que la fórmula propuesta no especifica qué tipo de organización o clasificación es característico de las ciencias. Un rasgo destacado de la información adquirida es que si ésta puede ser suficientemente exacta dentro de ciertos límites, raramente está acompañada de una explicación acerca de por qué los hechos son como los presenta. Entonces, cuando el “sentido común” trata de dar explicaciones de los hechos, con frecuencia las explicaciones carecen de pruebas críticas de su vinculación con los hechos.

Es el deseo de hallar explicaciones que sean al mismo tiempo sistemáticas y controlables por elementos de juicio fácticos lo que da origen a la ciencia; y es la organización y clasificación del conocimiento sobre la base de principios explicativos lo que constituye el objetivo distintivo de las ciencias. Éstas tratan de descubrir y formular en términos generales las condiciones en las cuales ocurren sucesos de diverso tipo, y las explicaciones son los enunciados de tales condiciones determinantes. Esto se logra distinguiendo o aislando ciertas propiedades en el tema estudiado y discerniendo los esquemas de dependencia reiterados que vinculan esas propiedades con otras. Cuando la investigación tiene éxito, las propuestas que parecían desconectadas se vinculan de determinadas maneras en virtud del lugar que ocupan dentro de un sistema de explicaciones. Puede ocurrir que se descubran esquemas de relaciones que abarquen gran cantidad de hechos, de manera que con pocos principios explicativos se pueda demostrar un número indefinidamente grande de proposiciones acerca de los hechos estudiados. Esto constituye un cuerpo de conocimiento, y puede convertirse en un sistema deductivo, como el de la geometría deductiva o la mecánica.

En términos generales, el conocimiento del sentido común es adecuado en situaciones en las que cierto número de factores permanecen prácticamente inalterados. Pero como no se reconoce que esta adecuación depende de la constancia de tales factores, el conocimiento del sentido común es incompleto. El objetivo de la ciencia es eliminar el defecto, aunque éste sólo se alcanza parcialmente.

5.2. Causalidad en educación en ciencias.

La investigación en educación en ciencias ha mostrado una fuerte presencia en el razonamiento común de explicaciones causales, frecuentemente concebidas como “mecanismos” capaces de entender las transformaciones físicas. Algunos investigadores

han propuesto incluso modelos con los cuales se representan las explicaciones usadas por los estudiantes. Piaget (1971) estudió las características y la génesis de la idea causal en el desarrollo cognitivo, relacionándolo con la atribución a los objetos de un conjunto de operaciones. La causalidad difiere de leyes funcionales, porque ellas conciernen a regularidades observables y generales y que implican operaciones aplicadas a los objetos, mientras que la causalidad concierne a conexiones que van más allá de lo observable, cuando son necesarias, e implica operaciones atribuidas a los objetos. Andersson (1986) sugiere que el núcleo común de las concepciones de los estudiantes está basada en un esquema *agente – instrumento – paciente*, con un conjunto extenso de características prototípicas. Rozier (1988), propone un modelo general de razonamiento causal común, el modelo causal lineal, basado en una secuencia lógica y cronológica de una cadena consistente en una causa – un efecto. Viennot (1993) acentúa el papel del tiempo en el razonamiento de los estudiantes y la tendencia de enfocar el cambio más bien que el equilibrio o situaciones fijas, porque sólo los cambios, como se considera, requieren explicaciones. Gutiérrez y Ogborn (1992) han establecido un marco para entender el razonamiento causal común de acuerdo con el modelo mental mecánico de Kleer y Brown (1983), adicionando e principios para la aceptación de la estructura causal (productividad, constancia y unicidad) y tres restricciones (consistencia, correspondencia, robustez). Ogborn (1993) acentúa “la naturaleza fundamental de la acción causal como un elemento de razonamiento que no se separa de los objetos y los eventos, pero considerado como una parte esencial de su significado”.

Algunos investigadores han propuesto usar este razonamiento causal común como base para las secuencias de enseñanza y aprendizaje en electricidad (Psillos y Koumaras, 1993; Sherwood y Chabay, 1993, 2002; Gutwill et. al., 1996). Ellos señalan que los estudiantes prefieren las explicaciones causales, las cuales se desarrollan en el tiempo y describen cambios, y proponen situaciones de enseñanza en las que los estudiantes son animados a activar su razonamiento en términos de causalidad como un primer paso para adquirir el razonamiento sistémico de un físico. Proponen que antes de abordar las descripciones de estados estacionarios, las situaciones que envuelvan cambios deberían ser estudiadas, así como las que se consideran más accesibles a la intuición de los aprendices. Brown (1992), muestra la efectividad de la instrucción, proponiendo “modelos mecánicos visualizables y cualitativos, que ayuden a los estudiantes a encontrar sentido a los principios más abstractos que frecuentemente se invocan a la explicación de los fenómenos” Todas estas propuestas encajan con la idea de poner los conceptos ingenuos de algunos estudiantes

para usarse con buenos propósitos de enseñanza; sus concepciones pueden diferir de los de los físicos, pero pueden actuar como *concepciones de anclaje*, o como elementos útiles en *analogías de puente*, para ayudar al aprendizaje de los estudiantes (Clement, et. al., 1989).

Capítulo 6

Diseño e implementación del estudio.

6.1. Diseño.

La investigación sobre el problema planteado, tiene consideraciones de índole demostrativa y experimental. En él, es importante tratar de activar el proceso de generación de los esquemas explicativo y predictivo. Con el esquema o modelo explicativo activado, es del mayor interés observar cómo predice una situación futura no explicitada en el experimento al estudiante. Resulta también interesante visualizar si el modelo predictivo fue creado en el momento de la interacción con el experimento o si es producto de un conocimiento previo del estudiante.

El sistema presentado a los estudiantes es una botella, a la que se le ha practicado un orificio, aproximadamente a una cuarta parte de la altura de ésta, medida desde la base. Se le llena de agua, y ellos pueden observar que está saliendo agua a través del orificio. Se plantean entonces dos cuestiones: La primera: ¿Por qué sale el agua a través del orificio? y la segunda: ¿Si tapamos la botella, qué pasará con la salida de agua y por qué? Se les pide afinar sus dichos, mediante una interacción más personalizada. Al final, se le pide dibujar lo que razona, a fin de coleccionar las evidencias y poderlas analizar.

La solución del problema:

La botella abierta con agua y con el orificio representa un sistema en desequilibrio de presiones. Por una parte, la presión atmosférica, que actúa en todas direcciones, especialmente hacia la boca de la botella y hacia el orificio; por otra, la presión del agua que apunta hacia las paredes de la botella y hacia el orificio, de dentro hacia afuera. Si se hace la suma de las presiones hacia afuera y hacia adentro de la botella, se puede decir que la presión atmosférica sumada con la presión hidrostática es mayor que la presión atmosférica que actúa hacia adentro de la botella; por lo tanto, sale agua por el orificio.

Al tapar la botella, el chorro de agua sigue saliendo aunque la cantidad de ésta se ha ce cada vez más pequeña. La salida del agua disminuye la presión hidrostática del agua (su altura disminuye) y la presión del aire atrapado dentro de la botella también, ya que su volumen aumenta si el nivel del agua baja. El agua deja de salir cuando la presión interna

(la presión del aire atrapado + la presión hidrostática del agua) se iguala con la presión del aire afuera de la botella.

6.2 Implementación.

Las preguntas concretas que se les hicieron a los estudiantes son:

1. Después de observar el sistema de la botella con agua, destapada y con el orificio, contesta: ¿Por qué sale el agua por el orificio?
2. Si coloco la tapa a la botella, ¿qué crees que ocurrirá y por qué?

6.3 Las evidencias.

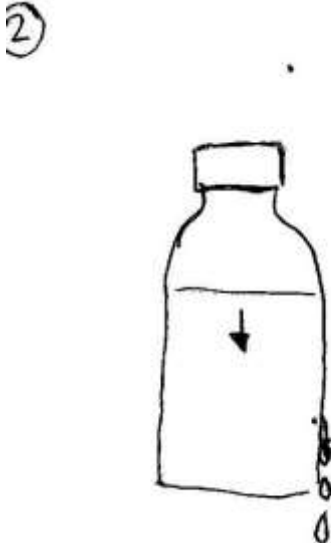
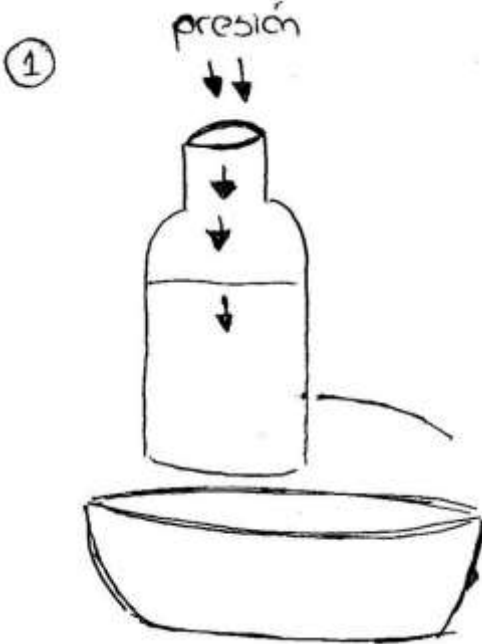
Estudiante 1. 15 años.

1. Porque con la botella destapada entra la presión del aire y hace que se aumente la presión dentro de la botella y por eso sale el agua del pequeño orificio.
2. Si tapo la botella, disminuye la presión y sale menos cantidad de agua, ya que ahora es solo el agua la que hace presión.

Comentarios.

Heurísticos o reglas simplificadoras en la formación de las concepciones espontáneas	Una causa, un efecto. Hay continuidad temporal en la explicación, y covariación cuantitativa (aumento y disminución de las variables)
Supuestos simplificadores que conducen a nociones de causalidad	Causalidad unidireccional, secuenciada, construida con agentes activos e intencionales (la presión entra, la presión hace)
Dimensión de complejidad del modelo causal	El mecanismo es de explicaciones adquiridas. Alguna entidad o fenómeno (entra la presión del aire) justifica la salida del agua. La causalidad es múltiple lineal, los efectos se suceden en turno: A causa B causa C. Es determinístico, hay consecuencias inevitables en el actuar de las causas. Tiene dos agentes centrales: la presión del aire y la de la botella.
Congruencia entre la explicación y la predicción	Utiliza uno de los agentes centrales y lo disminuye, para justificar su predicción. Es congruente con la explicación.

Dibujos



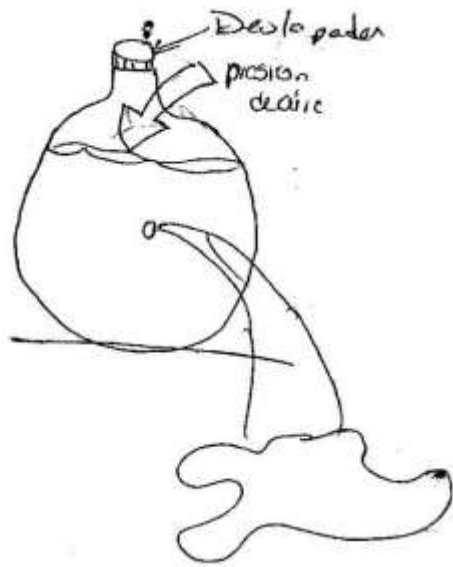
Estudiante 2. 16 años.

1. Se sale porque está agujereado, porque la presión del aire sobre el agua provoca que el aire empuje al agua y se salga. La presión de la botella sobre el agua es menor y por tanto el agua se sale.
2. Si se tapa la botella se detiene el chorro del agua porque la botella tiene una presión sobre el agua que evita que ésta se salga.

Comentarios.

Heurísticos o reglas simplificadoras en la formación de las concepciones espontáneas	Hay contigüidad espacial y temporal, así como covariancia cualitativa, solamente se hace mención a las variables que son visibles y no a las no perceptibles.
Supuestos simplificadores que conducen a nociones de causalidad	Explicación construida con características perceptibles y obvias, y con agentes activos e intencionados (la presión del aire provoca)
Dimensión de complejidad del modelo causal	El mecanismo es de generación superficial. No profundiza el accionar de los agentes para explicar el fenómeno. Es de causalidad múltiple lineal, los efectos en turno se vuelven causas como en una cadena. A causa B causa C. Es determinístico, no tiene probabilidad menor que uno. Tiene 3 agentes centrales: La presión de la botella sobre el agua, la presión del aire y el agua.
Congruencia entre la explicación y la predicción	Utiliza a la presión de la botella sobre el agua para justificar la predicción. Implícitamente intuye que cesa la presión del aire. Hay congruencia entre los esquemas.

Dibujos



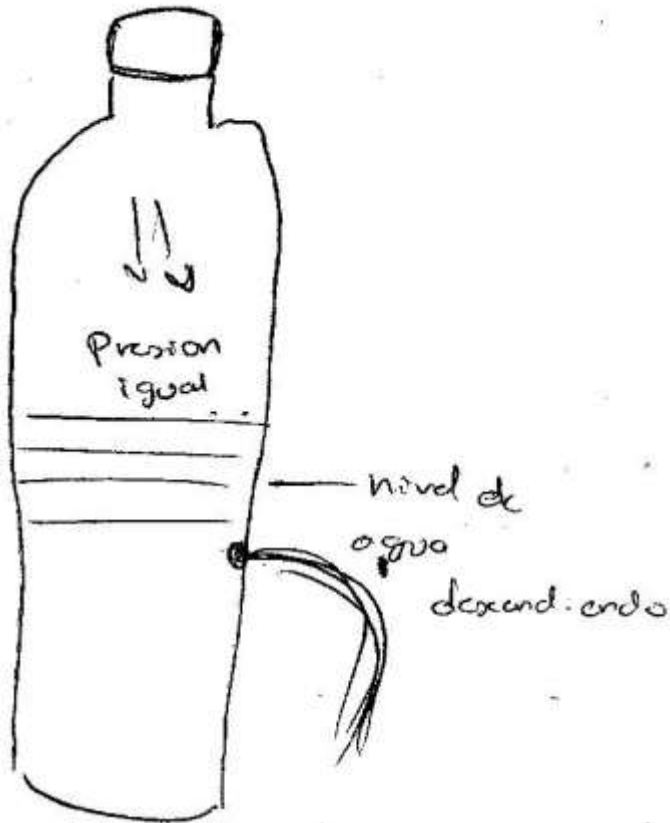
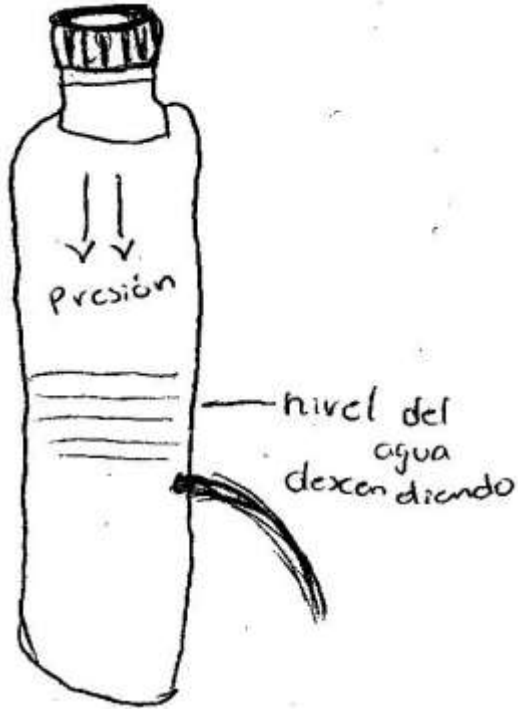
Estudiante 3. 15 años.

1. El agua se escapa por la presión que ejerce la misma y busca un escape a dicha presión por el orificio del recipiente que lo contiene, y hasta que el nivel del agua no deje de estar por encima del nivel del agujero, el agua seguirá fluyendo.
2. A mi parecer la botella al estar tapada seguirá ejerciendo la misma presión y el agua seguirá fluyendo y bajando el nivel del agua y no hay cambio alguno con agua tapada o sin tapa.

Comentarios.

Heurísticos o reglas simplificadoras en la formación de las concepciones espontáneas	Hay contigüidad espacial y temporal. Habla de la continuidad del fluir del agua, mientras la condición siga cumpliéndose. También hay covariancia cualitativa. Siempre que se produzca la causa (la presión), se produce el efecto (el fluir del agua)
Supuestos simplificadores que conducen a nociones de causalidad	Agente activo e intencional (la presión), construida con características perceptibles y causalidad unidireccional.
Dimensión de complejidad del modelo causal	Generalización superficial para el mecanismo. Describe la regularidad del sistema sin profundizar. Su causalidad es simple y lineal, aunque utiliza el nivel del agua también como un factor. Es determinístico y tiene un solo agente central.
Congruencia entre la explicación y la predicción	Como no mueve el valor de la presión con la botella tapada, sostiene las condiciones de la explicación y predice consecuentemente. Hay congruencia en los modelos.

Dibujos



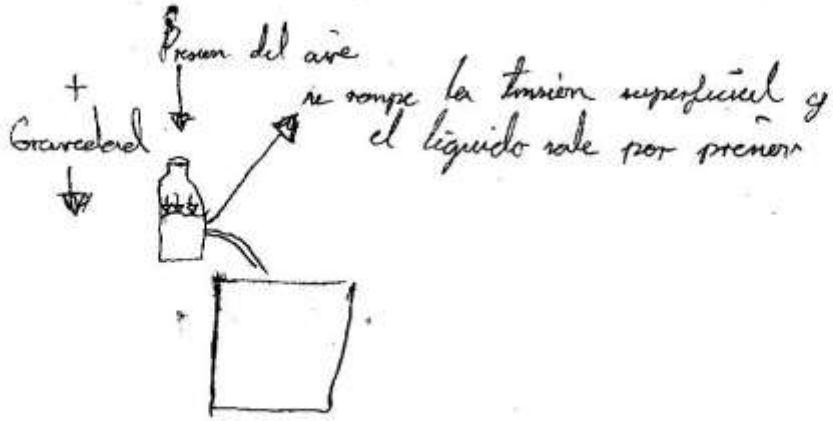
Estudiante 4. 15 años.

1. La presión del aire de la atmósfera empuja al agua, que por la presión rompe su tensión superficial.
2. Al tajarla, la presión atmosférica cae sobre la tapa y sobre el líquido se reduce lo suficiente para que no se rompa la tensión del agua.

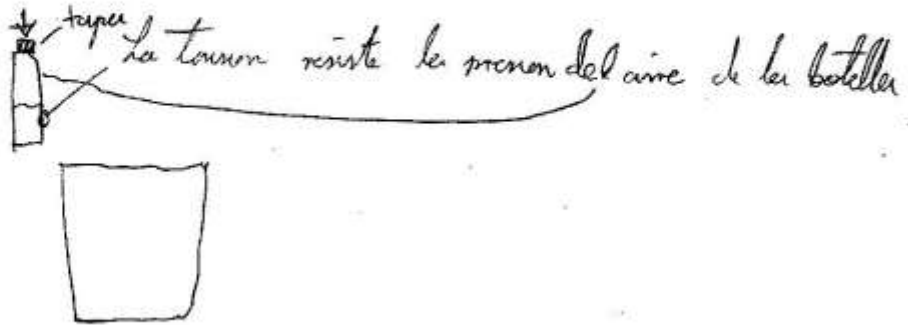
Comentarios.

Heurísticos o reglas simplificadoras en la formación de las concepciones espontáneas	Hay contigüidad espacial y temporal. La covariancia cualitativa sigue presente.
Supuestos simplificadores que conducen a nociones de causalidad	Hay agentes activos e intencionales: la presión del aire, la presión del agua y la tensión superficial de ésta.
Dimensión de complejidad del modelo causal	El mecanismo está centrado en la función de las presiones, de manera sencilla. El patrón es de causalidad múltiple lineal: A causa B causa C. Es determinista, ya que la consecuencia es inevitable y tiene 3 agentes centrales. La presión del aire, la del agua y la tensión superficial.
Congruencia entre la explicación y la predicción	La presión atmosférica no desaparece, pero deja de actuar dentro de la botella, y la relación entre la presión del agua y la tensión superficial prevalece. Hay congruencia en los modelos.

Dibujos



P. atmosférica



Estudiante 5. 15 años.

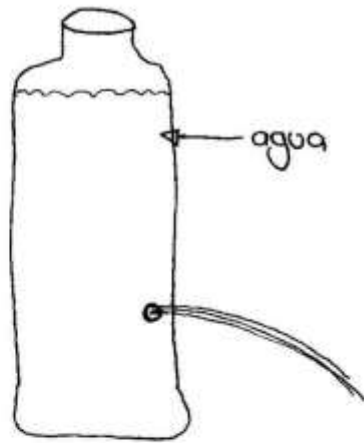
1. Porque la presión atmosférica ejerce una fuerza sobre el agua, y hace que ésta tenga una presión que la obliga a salir por el agujero.
2. Si la botella estuviera al ras no escurriría el agua por el orificio ya que no hay presión atmosférica. Si la botella tiene un pequeño espacio con aire, el chorro escurre en menor manera porque hay menos presión.

Comentarios.

Heurísticos o reglas simplificadoras en la formación de las concepciones espontáneas	Contigüidad espacial y temporal de la explicación. Covariancia cualitativa presente; las variables relevantes tienen lugar cuando se produce el efecto.
Supuestos simplificadores que conducen a nociones de causalidad	Causalidad debida a agentes activos y es secuencial (presión seguida de fuerza)
Dimensión de complejidad del modelo causal	El mecanismo está centrado en la función de la presión, que genera la fuerza y que propicia otra presión, ésta del agua. Su causalidad es múltiple lineal (A causa B causa C) Es determinístico, ya que las consecuencias de la actuación de los agentes son inevitables, y hay 3 agentes centrales en la explicación.
Congruencia entre la explicación y la predicción	Si desaparece la presión atmosférica, hace un efecto cascada sobre las otras variables. Se utiliza el esquema de explicación para predecir. Es congruente.

Dibujos

P ↓ ↓ ↓ ↓ presión atmosférica



no hay presión atmosférica



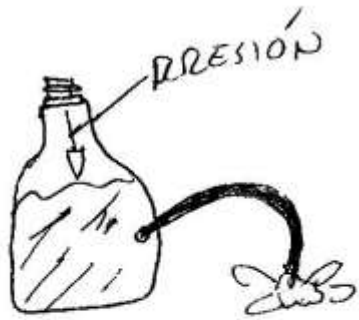
Estudiante 6. 15 años.

1. Por la presión del agua, aparte, hablando en términos químicos, el agua no tiene forma definida, toma la forma del recipiente que la contiene, y si la botella tiene un hoyo, es cuando el agua intenta "llenar" esa parte y así se sale.
2. Si se tapa la botella, entonces existe menos presión, por lo cual el agua sale con menos fuerza, pero, volviendo a que adopta la forma del recipiente se sigue escurriendo.

Comentarios.

Heurísticos o reglas simplificadoras en la formación de las concepciones espontáneas	Contigüidad espacial y temporal. La covariancia cualitativa se expresa en dos aspectos: la presión y la consideración de la indefinición de la forma que toma el agua.
Supuestos simplificadores que conducen a nociones de causalidad	Causalidad lineal, unidireccional y debida a agentes intencionales.
Dimensión de complejidad del modelo causal	Dos agentes centrales en la explicación. La indefinición de la forma del agua es clave que afecta el resultado de la explicación. Es determinístico, con causalidad múltiple lineal, que se manifiesta simultáneamente y centrado en la función, aunque no hay un mecanismo elaborado que permita profundizar en la explicación.
Congruencia entre la explicación y la predicción	Hay congruencia, en la baja de presión, y justifica la escasa salida de agua que predice con su indefinición de la forma del agua.

Dibujos



AGUA SIN FORMA



ADOPTA FORMA DE RECIPIENTE



ME LOS PRESIÓN

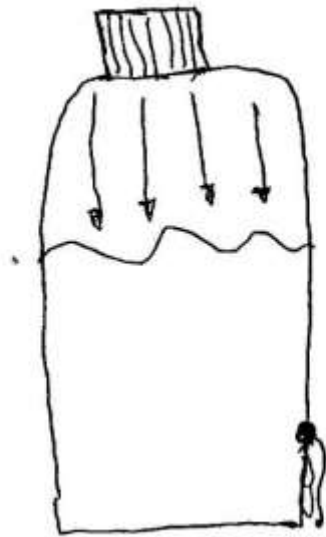
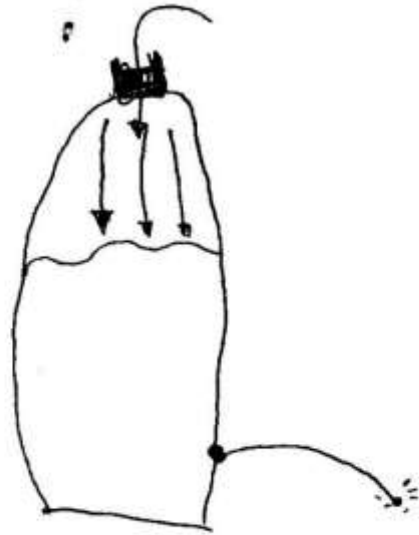
Estudiante 7. 15 años.

1. Por la presión ejercida por el vacío de la botella. Y de ahí depende la fuerza con la que sale, en cualquier punto de la botella.
2. Tapada la botella, la presión ejercida por la de la botella solamente va a ir menos fuerza, y el agua dejará de salir.

Comentarios.

Heurísticos o reglas simplificadoras en la formación de las concepciones espontáneas	Contigüidad espacial y temporal de la explicación. Hay variables relevantes que hacen que el efecto se produzca. Por lo tanto, hay covariancia cualitativa. En la última afirmación puede haber covariancia cuantitativa, aunque no es explícita.
Supuestos simplificadores que conducen a nociones de causalidad	Un agente activo e intencional, causalidad lineal y unidireccional.
Dimensión de complejidad del modelo causal	Mecanismo de explicación adquirida: la entidad o fenómeno descrito es la presión, con causalidad simple lineal, determinística, sus consecuencias son inevitables y tiene un solo agente central.
Congruencia entre la explicación y la predicción	Utiliza al mismo agente central para hacer la predicción, y consecuentemente lo disminuye cuantitativamente. Hay congruencia.

Dibujos



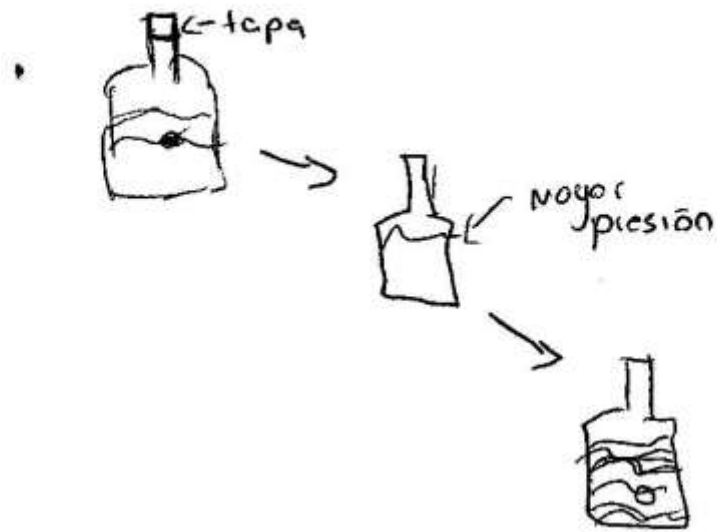
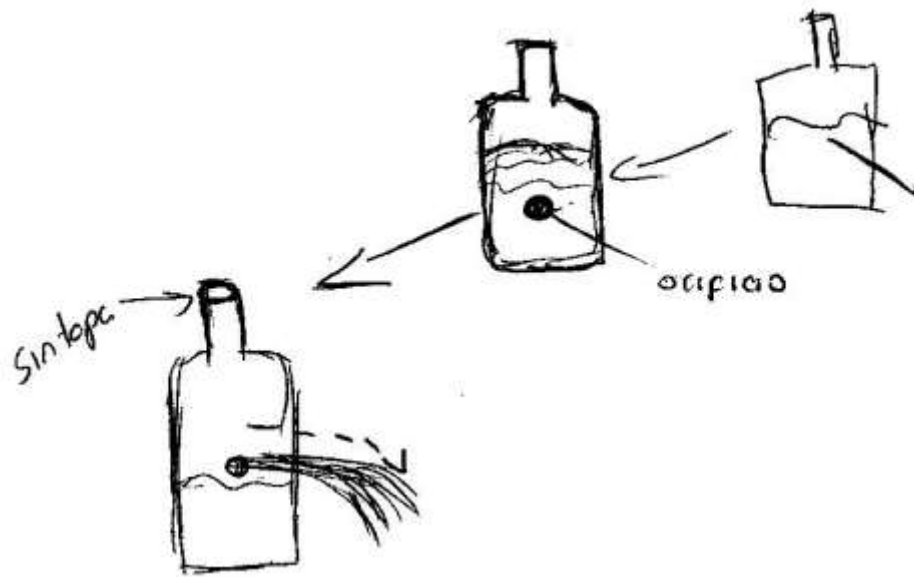
Estudiante 8. 15 años.

1. Porque tiene un orificio por donde el agua sale de la botella. Al abrirse éste en el recipiente que contiene al agua, obviamente, el líquido se escapa.
2. Al cerrarse aumentará la presión sobre el líquido, y por tanto no se saldrá el agua.

Comentarios.

Heurísticos o reglas simplificadoras en la formación de las concepciones espontáneas	No parece establecer la explicación un contacto físico entre la causa y el efecto, más bien es lógico. Sí hay contigüidad temporal, pero espacial no. No se percibe covariancia cualitativa, ya que no hay variables relevantes que vinculen la causa con el efecto. Consecuentemente la covariancia cuantitativa tampoco se presenta.
Supuestos simplificadores que conducen a nociones de causalidad	En la explicación solamente hay un agente: el orificio. La causalidad es unidireccional.
Dimensión de complejidad del modelo causal	El mecanismo es de generalización superficial. La causalidad es simple y lineal, es determinista, sin ruido y tiene un solo agente central.
Congruencia entre la explicación y la predicción	En la predicción, se introduce la variable de la presión, que es intencional y cuantitativa, hacia el sistema. No hay congruencia.

Dibujos



Estudiante 9. 15 años.

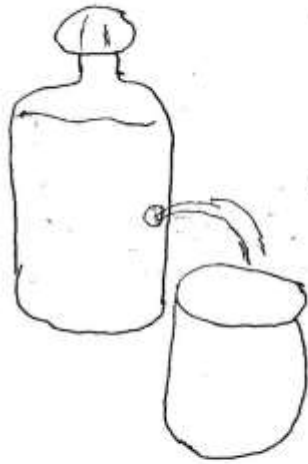
1. Por la presión que ejerce al estar encerrada y busca una salida, si la salida está abierta, sale más cantidad de agua, saldría un chorro.
2. La cantidad de agua que sale de la botella sería menos pero con la misma presión esa no se modificaría.

Comentarios.

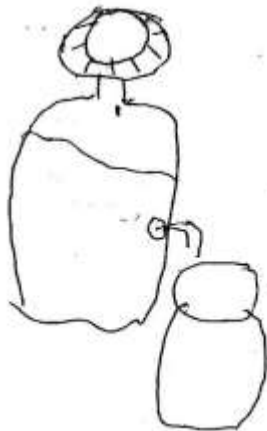
Heurísticos o reglas simplificadoras en la formación de las concepciones espontáneas	Se centra en la relación entre la presión y la salida. Hay contigüidad espacial y temporal. Explícitamente hay covariación cuantitativa. "Salida más abierta, sale un chorro"
Supuestos simplificadores que conducen a nociones de causalidad	Agentes activos e intencionales. "busca una salida", la presión y el agua. Es unidireccional y lineal. Si encuentra el agua una salida saldrá con más cantidad.
Dimensión de complejidad del modelo causal	Generalización superficial, describe la regularidad del hecho. Causalidad simple lineal, determinista con ruido, el factor de la salida modifica la explicación y tiene un agente central: la presión.
Congruencia entre la explicación y la predicción	No modifica al agente central pero sí predice un cambio. No hay congruencia entre la explicación y la predicción.

Dibujos

Si la botella estuviera destapada mas agua



Si la botella estuviera tapada menos agua



Estudiante 10. 15 años.

1. El agua sale por la presión que hay dentro de la botella, dependiendo de la cantidad del líquido que hay, si hay mucho, la presión aumenta. También depende de la ubicación del hoyo en la botella.
2. Si tapo la botella, va a salir el agua con mayor presión por la falta de oxígeno, y porque es el único orificio por el cual la presión se puede liberar.

Comentarios.

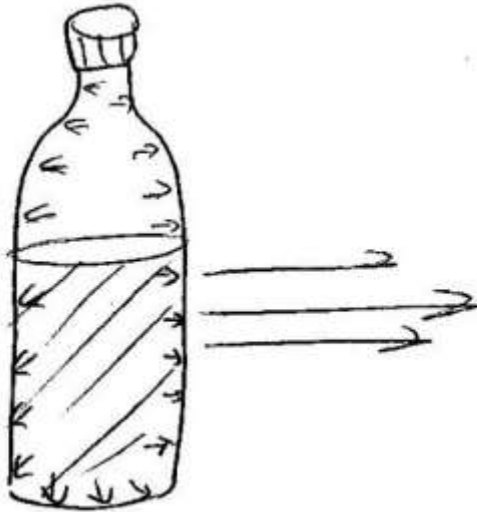
Heurísticos o reglas simplificadoras en la formación de las concepciones espontáneas	Contigüidad espacial en la explicación, ya que toma en cuenta lo que pasa dentro de la botella nada más. Covariación cuantitativa, al relacionar la cantidad de agua con la presión.
Supuestos simplificadores que conducen a nociones de causalidad	Agente activo e intencionado, la presión. Causalidad lineal.
Dimensión de complejidad del modelo causal	El mecanismo es de generación superficial, al mencionar a la presión como la causa de la salida de agua, pero sin profundizar. La causalidad es múltiple, pero simultánea. Es determinístico con ruido, ya que introduce la posición del orificio como un factor. Dos agentes centrales: la cantidad de agua y la presión sustentan su explicación.
Congruencia entre la explicación y la predicción	No se observa congruencia entre explicación y predicción. El estudiante introduce en la predicción una variable adicional: el oxígeno, y atribuye su conclusión a una relación cuantitativa entre las variables consideradas.

Dibujos

SIN TAPA



CONTAPA



Estudiante 11. 15 años.

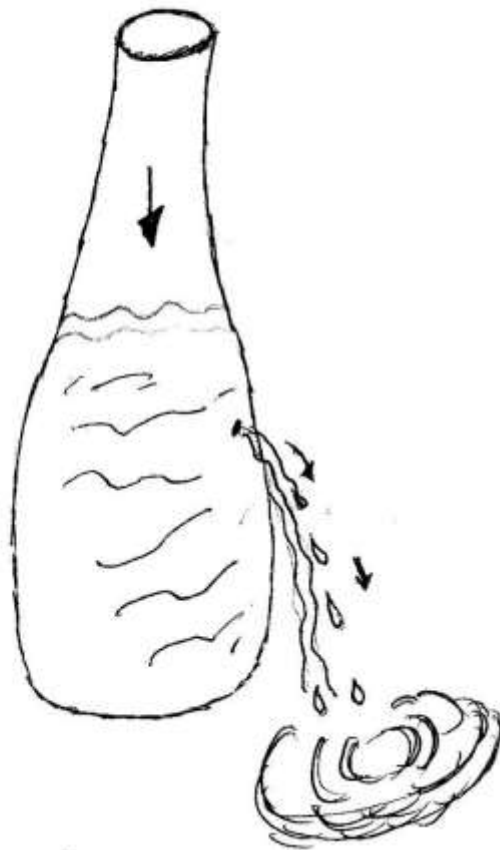
1. El agua empieza a salir porque la botella tiene un orificio, y como está abierta hay una fuerza que la empuja hacia abajo, y eso provoca que el agua salga con fuerza.
2. Si la botella estuviera cerrada, el agua iba a salir muy poco y despacio, porque como la botella estaba cerrada, la presión iba a estar ahí y eso impedía a que saliera el agua como en el primer experimento.

Comentarios.

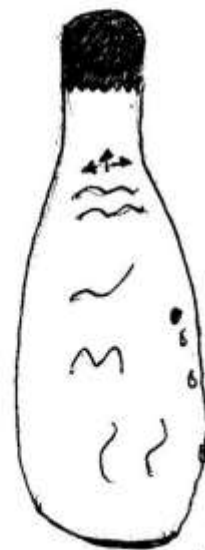
Heurísticos o reglas simplificadoras en la formación de las concepciones espontáneas	Contigüidad espacial y temporal, ahora entre una fuerza y el agua. No se encuentra covariación. Semejanza entre causa y efecto.
Supuestos simplificadores que conducen a nociones de causalidad	Hay un agente activo, una fuerza, que sirve para construir la explicación. Es explícitamente unidireccional la manera en que esta fuerza actúa.
Dimensión de complejidad del modelo causal	Explicación centrada en la función de la fuerza. Es lineal y simple, en el patrón de interacción, es determinística, y tiene un solo agente central.
Congruencia entre la explicación y la predicción	En la predicción introduce una variable adicional, sin hacer ninguna variación a lo explicado. No identifica dónde actúa la presión. Probablemente confunde presión con fuerza. No se encuentra congruencia en la predicción con la explicación.

Dibujos

①



②



Estudiante 12. 15 años.

1. Porque tiene un punto de escape en donde la presión y el aire ejercidos sobre la botella se salen ocasionando obviamente la salida del agua
2. Si tapamos la botella, el agua sale mucho más lentamente ya que el aire no puede salir. Por consiguiente tarda más tiempo en salir el agua.

Comentarios.

Heurísticos o reglas simplificadoras en la formación de las concepciones espontáneas	Covariación cualitativa en la explicación, se relaciona la presión y el aire con la salida de agua, pero no dice cómo.
Supuestos simplificadores que conducen a nociones de causalidad	Agentes activos e intencionales aparecen en esta explicación. Es directa su causalidad, además de unidireccional.
Dimensión de complejidad del modelo causal	Generaliza superficialmente, su causalidad es múltiple lineal, determinístico simple y con dos agentes centrales. Funcionalmente le da al aire propiedades para interaccionar con el agua de la botella.
Congruencia entre la explicación y la predicción	Para predecir, se enfoca en una de las variables, y determina su imposibilidad de salir, implicando lo mismo para el agua. Hay congruencia con la explicación.

Dibujos



Estudiante 13. 15 años.

1. Porque tiene un orificio y hay una presión que lo impulsa a salir por él.
2. En la botella tapada habrá menos presión y el agua saldrá muy poco. (Serán gotas)

Comentarios.

Heurísticos o reglas simplificadoras en la formación de las concepciones espontáneas	Covariación cualitativa: orificio y presión son los causantes, pero no dice cómo.
Supuestos simplificadores que conducen a nociones de causalidad	Directa, unidireccional y construida con un solo agente activo e intencional.
Dimensión de complejidad del modelo causal	Generaliza superficialmente, limitándose a la regularidad del sistema. Su causalidad es simple y lineal. A presiona a B. Es determinístico y tiene un solo agente central. La presión.
Congruencia entre la explicación y la predicción	Congruente la predicción. Utiliza su única variable y la mueve cualitativamente para ajustar su modelo mental.

Dibujos



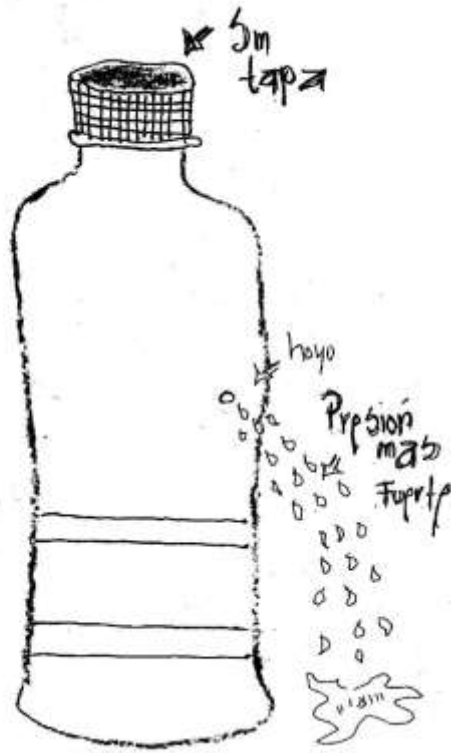
Estudiante 14. 17 años.

1. Se sale el agua porque la botella tiene un hoyo en el costado y es así que deja escapar el agua que contiene, porque hay mucha presión sobre el agua, y está entrando oxígeno por arriba.
2. Si estuviera tapada, saldría el agua con menos presión, porque no hay tanto oxígeno dentro de la botella.

Comentarios.

Heurísticos o reglas simplificadoras en la formación de las concepciones espontáneas	Contigüidad espacial. El hoyo es la causa de la salida del agua y luego atribuye el efecto a la presión.
Supuestos simplificadores que conducen a nociones de causalidad	Agentes activos e intencionales en la explicación, la presión y el oxígeno. Causalidad lineal y directa.
Dimensión de complejidad del modelo causal	Generaliza superficialmente, al hacer la descripción de la presencia de las variables, pero sin explicar el efecto de cada una de ellas. Es determinística y considera dos agentes de causación.
Congruencia entre la explicación y la predicción	Congruente de manera incompleta la predicción, ya que omite una de las variables que utiliza para la explicación. Razona con cantidades, aunque en el heurístico no se aprecia la presencia en la explicación de alguna covariación cuantitativa.

Dibujos



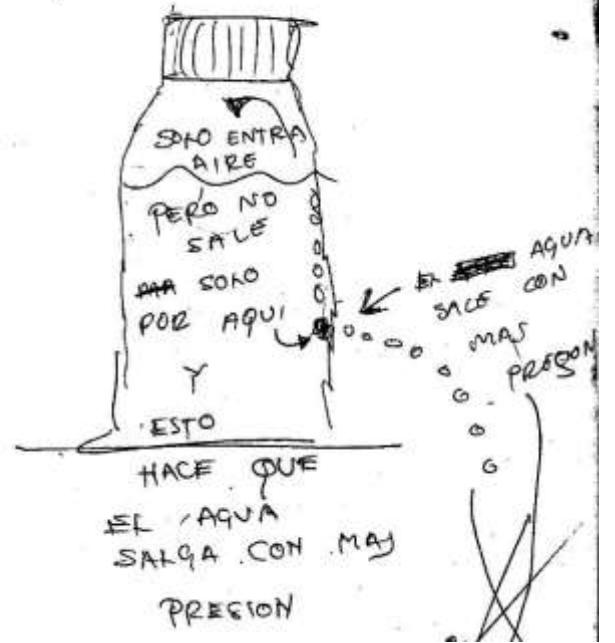
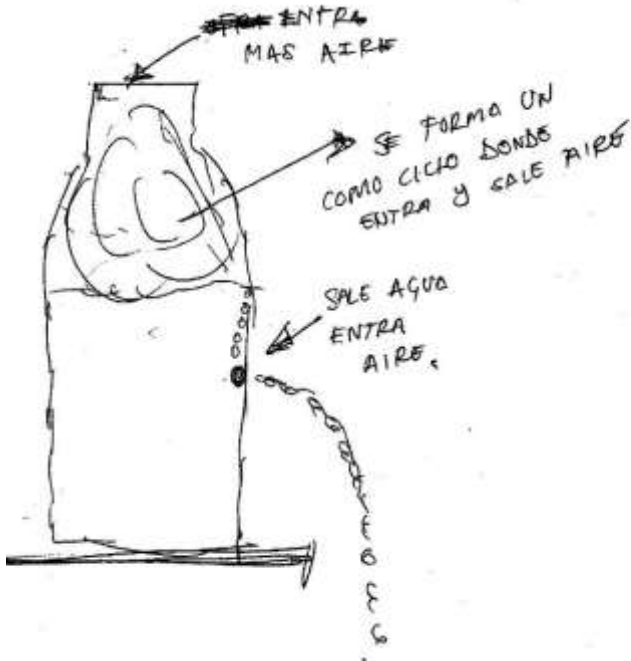
Estudiante 15. 17 años.

1. Entra aire en la botella y se forma uno como ciclo donde entra y sale aire. En el orificio también entra aire, se nota por las burbujas que entran en la botella. Por eso sale agua del orificio.
2. Si tapamos la botella, sólo entra aire por el orificio, pero no sale. Esto hace que el agua salga con más presión.

Comentarios.

Heurísticos o reglas simplificadoras en la formación de las concepciones espontáneas	Hay covariancia cualitativa en esta explicación. Explicita variables relevantes (entra y sale aire en un ciclo) que se presentan al producirse el efecto (sale el agua)
Supuestos simplificadores que conducen a nociones de causalidad	La entrada y salida de aire constituye un agente activo e intencional que explica la salida de agua. Adicionalmente la causalidad es lineal y unidireccional.
Dimensión de complejidad del modelo causal	Se construye la explicación con elementos comunes, en lugar de los elementos que lo subyacen. (aire en lugar de presiones) Causalidad reentrante, cíclica (entra aire por la boca de la botella y por el orificio). Es determinístico con ruido (la entrada del aire por el orificio) y tiene un agente central, el aire.
Congruencia entre la explicación y la predicción	Hay congruencia entre la explicación y la predicción. Utiliza la variable y construye una implicación lógica, a partir de la imagen mental creada por su explicación (aire que no sale, que empuja al agua)

Dibujos



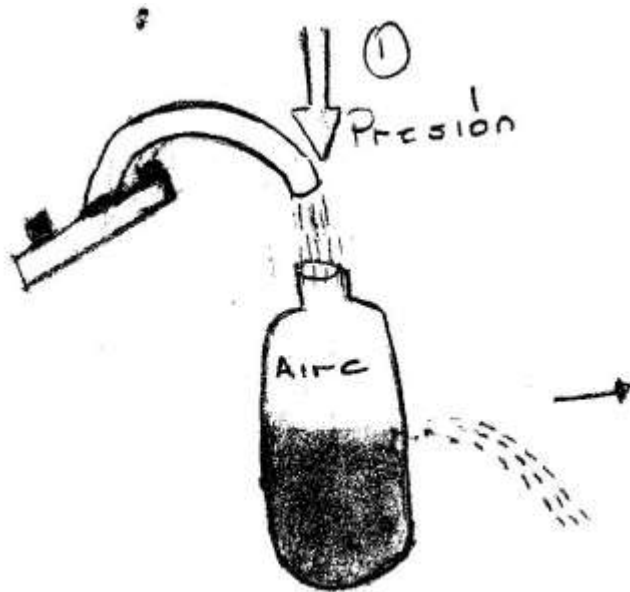
Estudiante 16. 17 años.

1. Lo que vi fue una botella, la cual tiene un orificio pequeño, en la cual fue llenada con agua de llave y empezó a salir agua por el orificio, esto se debe a que se ejerce una presión. Ésta se ejerce debido a la entrada de aire o a la presión que hace que el agua salga por medio del aire.
2. Cuando se tapa la botella, el chorro de agua dejará de salir con tanta fuerza a presión y saldrá gotita a gotita. Esto sucede por la falta de aire que había en la botella, o que permitía la entrada de aire cuando estaba abierta.

Comentarios.

Heurísticos o reglas simplificadoras en la formación de las concepciones espontáneas	Se observa covariancia cualitativa en su explicación, hay variables relevantes (aire y presión) que producen el efecto, aunque no lo menciona cuantitativamente.
Supuestos simplificadores que conducen a nociones de causalidad	La causalidad es unidireccional, construida con características perceptibles y centralizada en los agentes
Dimensión de complejidad del modelo causal	Generalización superficial, al considerar indistintamente al aire y a la presión como mecanismos. Causalidad múltiple lineal por la presencia de dos variables, determinístico, al considerar consecuencias inevitables.
Congruencia entre la explicación y la predicción	Congruencia con la explicación, al utilizar uno de los agentes para la predicción, la falta de aire.

Dibujos



②



Mano
No permite
la entrada de
aire, y
esto hace
que el
chorro de agua
disminuya

Estudiante 17. 16 años.

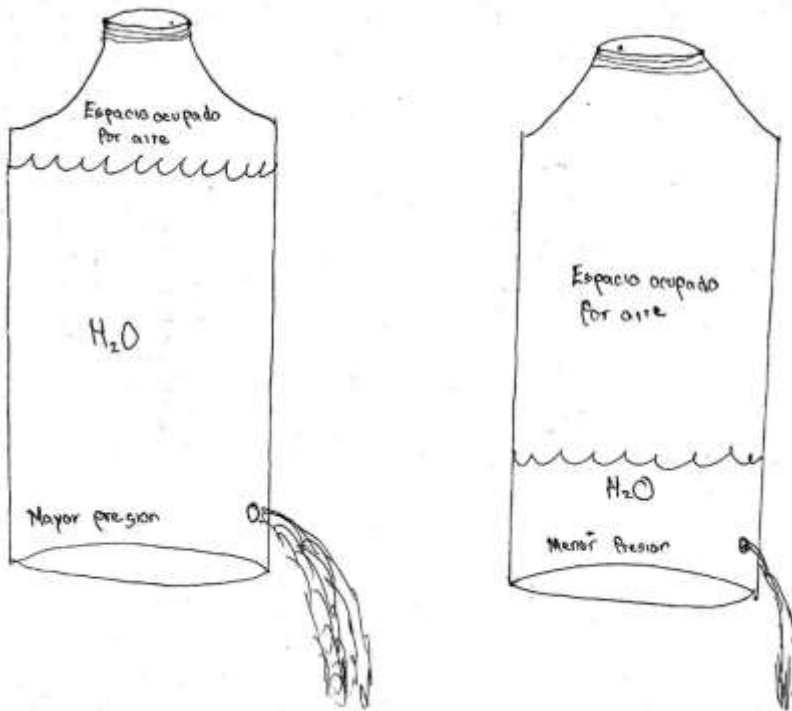
1. Lógicamente, por cualquier orificio puede salir el agua pero depende de la forma en la que está almacenada para que salga aunque el orificio sea del mismo tamaño. En este caso el agua sale porque la botella está destapada y el espacio vacío lo ocupa el aire.
2. Si estuviera tapada no saldría. También depende de la presión del agua porque si fuera otro líquido, con un orificio del mismo tamaño no saldría la misma cantidad. No sale el agua porque no puede entrar aire que ocupe su lugar y si eso pasara se haría un vacío.

Comentarios.

Heurísticos o reglas simplificadoras en la formación de las concepciones espontáneas	Utiliza la condición del problema para explicar la salida del agua (botella destapada) Utiliza la contigüidad espacial para justificar las variables vacío y aire.
Supuestos simplificadores que conducen a nociones de causalidad	Causalidad directa, unidireccional y construida con características perceptibles y obvias.
Dimensión de complejidad del modelo causal	Hay generalización superficial, ya que describe la regularidad sin profundizar el mecanismo. La causalidad es simple y lineal. Es determinista, y el agente central es el aire.
Congruencia entre la explicación y la predicción	Es congruente su predicción al final, aunque introduce una nueva variable explicativa: la presión. No dice qué pasaría con el vacío al que hace referencia.

Dibujos

Botella Destapada



Botella tapada



Estudiante 18. 17 años.

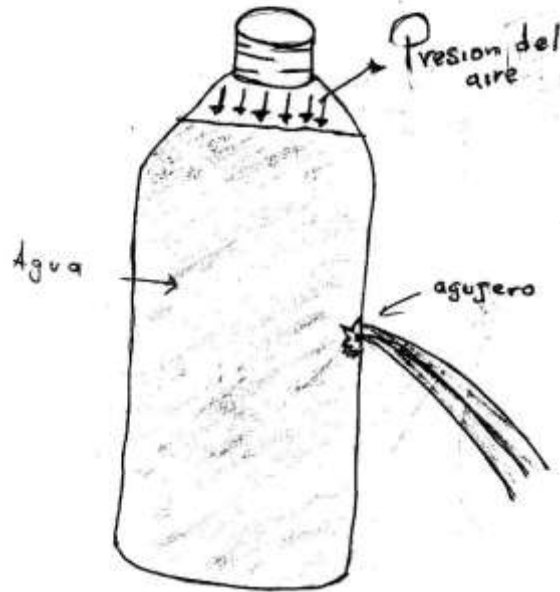
1. El agua sale porque a través de la boca de la botella, el aire presiona al agua, propiciando su salida a través del agujero.
2. Si se tapa la botella, el aire dentro de ella se vuelve expandible, se expande a lo largo de la botella, pero la presión del aire es menor. El chorro entonces deja de salir poco a poco.

Comentarios.

Heurísticos o reglas simplificadoras en la formación de las concepciones espontáneas	Contigüidad espacial y temporal. Los eventos suceden próximos en el tiempo, y las variables casi pueden estar en contacto.
Supuestos simplificadores que conducen a nociones de causalidad	Causalidad lineal, directa, unidireccional y construida con características obvias.
Dimensión de complejidad del modelo causal	Generaliza superficialmente, es determinística y tiene un solo agente central.
Congruencia entre la explicación y la predicción	Se observa un problema en la predicción cuando menciona el aire que se expande, pero es congruente cuando hace disminuir la presión.

Dibujos

SIN BOTELLA
TAPA / DESTAPADA



CON BOTELLA
TAPA / TAPADA



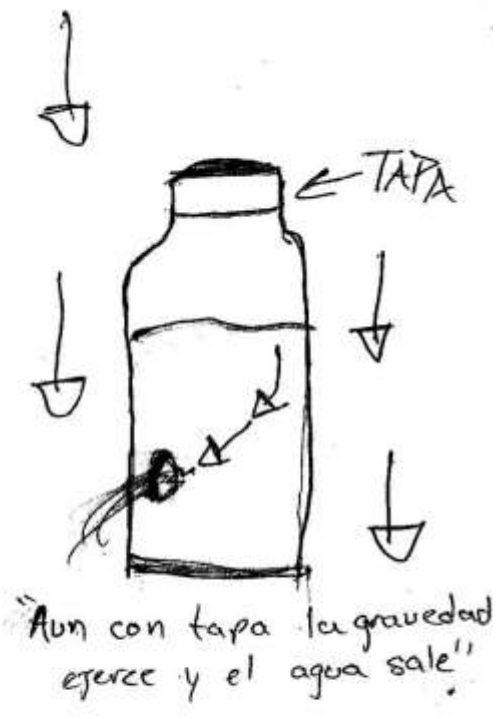
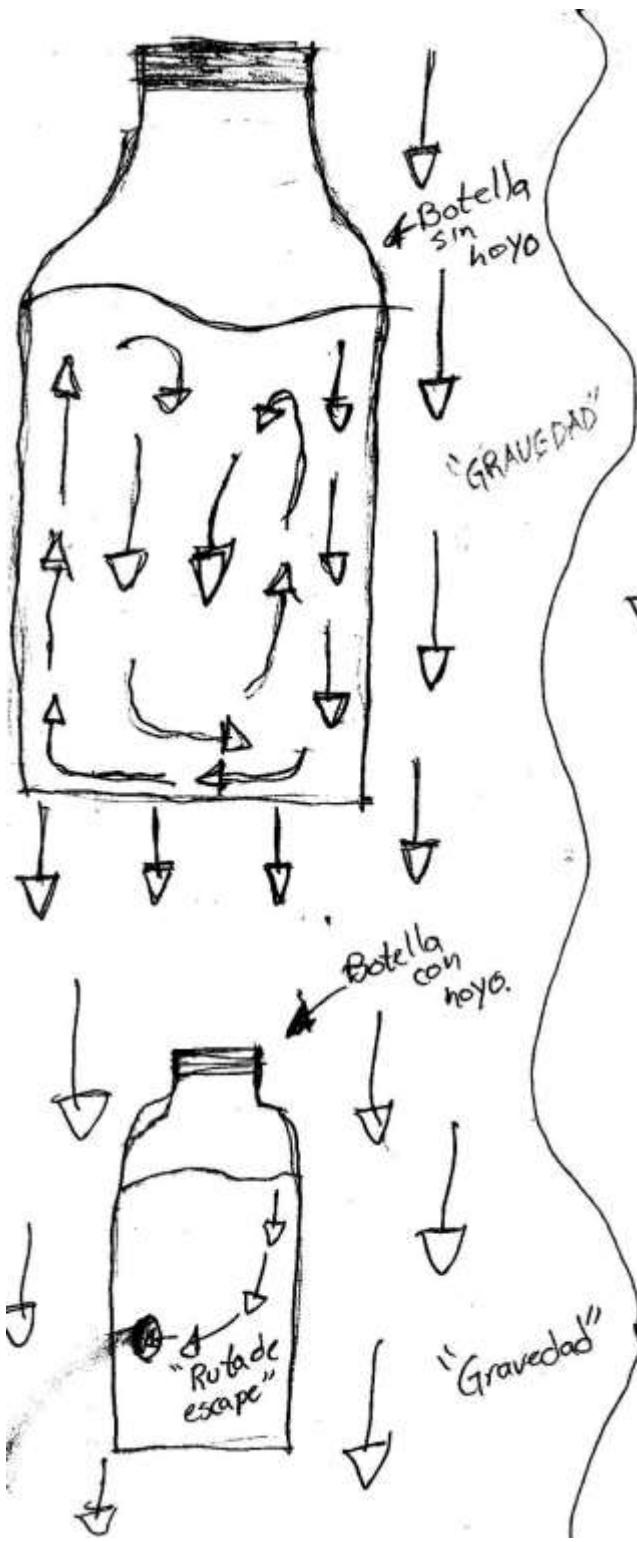
Estudiante 19. 17 años.

1. Yo pienso que sobre el agua se ejerce la fuerza de gravedad... y cuando la botella no tiene el hoyo, el agua no tiene forma de escape... Pero en este caso, al tener la botella un hoyo ésta encuentra una ruta de escape... y por eso sale agüita por el hoyito.
2. Aún con la tapa, la gravedad sigue ejerciéndose y el agua debe salir igual...

Comentarios.

Heurísticos o reglas simplificadoras en la formación de las concepciones espontáneas	Contigüidad espacial con la gravedad. La fuerza se ejerce sobre el agua. Esto ocurre simultáneamente, hay contigüidad temporal igualmente.
Supuestos simplificadores que conducen a nociones de causalidad	Causalidad lineal, directa, unidireccional y construida con características obvias.
Dimensión de complejidad del modelo causal	Generaliza superficialmente, es determinística y tiene un solo agente central.
Congruencia entre la explicación y la predicción	Congruencia evidente: la gravedad sigue actuando y por ello su pronóstico.

Dibujos



Estudiante 20. 16 años.

1. El agua sale porque la presión no la puede retener y porque ha de tener propiedades específicas de la materia para poder fluir de esa manera.
2. La botella no deja salir el agua porque está tapada, y la presión es la que actúa ahora. Sí puede retenerla.

Comentarios.

Heurísticos o reglas simplificadoras en la formación de las concepciones espontáneas	Covariancia cualitativa entre la causa y el efecto. La presión no retiene al agua y las propiedades específicas de la materia, que la hacen fluir.
Supuestos simplificadores que conducen a nociones de causalidad	La explicación está construida con variable perceptible, la presión, pero menciona otra que no logra discernir. Es lineal, directa y unidireccional.
Dimensión de complejidad del modelo causal	El mecanismo tiene de superficial pero también de explicaciones adquiridas: alguna propiedad o entidad hace que el agua salga. Es determinística, pero con ruido. El agente es central, la presión.
Congruencia entre la explicación y la predicción	La predicción es congruente: La presión no actuaba antes o no podía actuar, y ahora sí, cuando la botella está tapada.

Dibujos

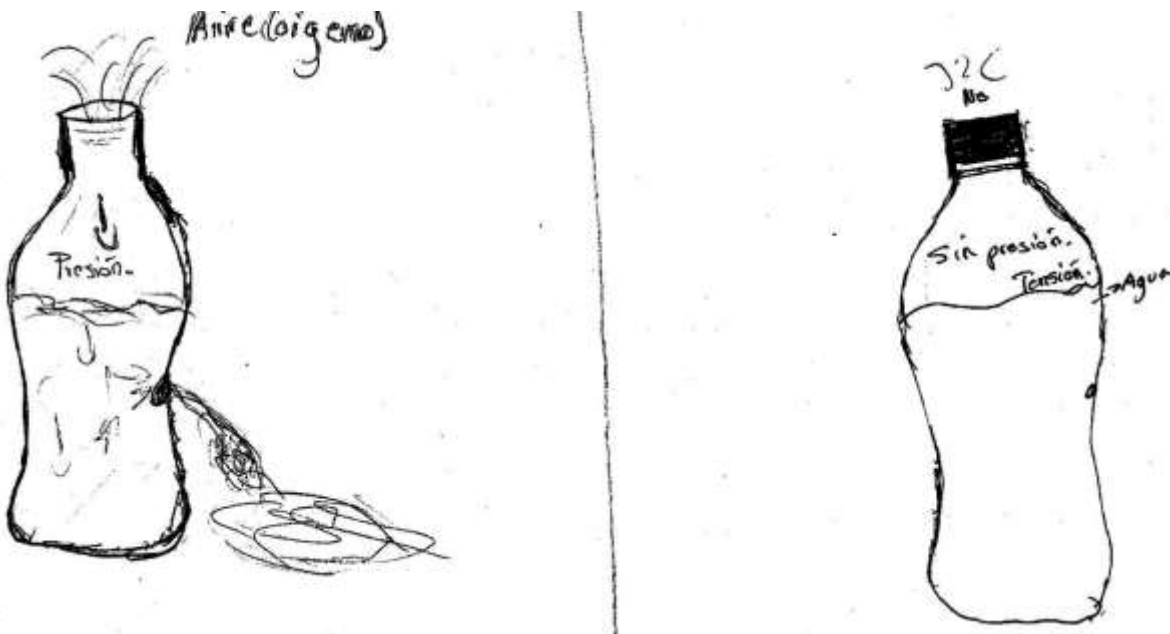


Estudiante 21. 17 años.

1. El agua sale por el orificio ya que por la boca de la botella que está abierta, el oxígeno empuja (presiona) al agua, esto ocasiona que el agua busque por donde liberarse, por el orificio.
2. La botella al estar cerrada, el aire no ejerce presión sobre el agua, y queda sin movimiento (tensión), y no escapará por el orificio.

Heurísticos o reglas simplificadoras en la formación de las concepciones espontáneas	Covariancia cualitativa entre la causa y el efecto. Contigüidad espacial y temporal de la explicación.
Supuestos simplificadores que conducen a nociones de causalidad	La explicación está construida con variable perceptible, el oxígeno que empuja. Es lineal, directa y unidireccional.
Dimensión de complejidad del modelo causal	El mecanismo refiere a un fenómeno que hace que el sistema se comporte. Es una causalidad simple lineal. El oxígeno es una entidad activa. Es determinista ya que las consecuencias de la acción del agente central son inevitables. Hay dos agentes centrales. El oxígeno y la presión.
Congruencia entre la explicación y la predicción	La predicción es congruente: La presión desaparece al taparse la botella, aunque la explicación sobre el movimiento no corresponde al otro agente.

Dibujos



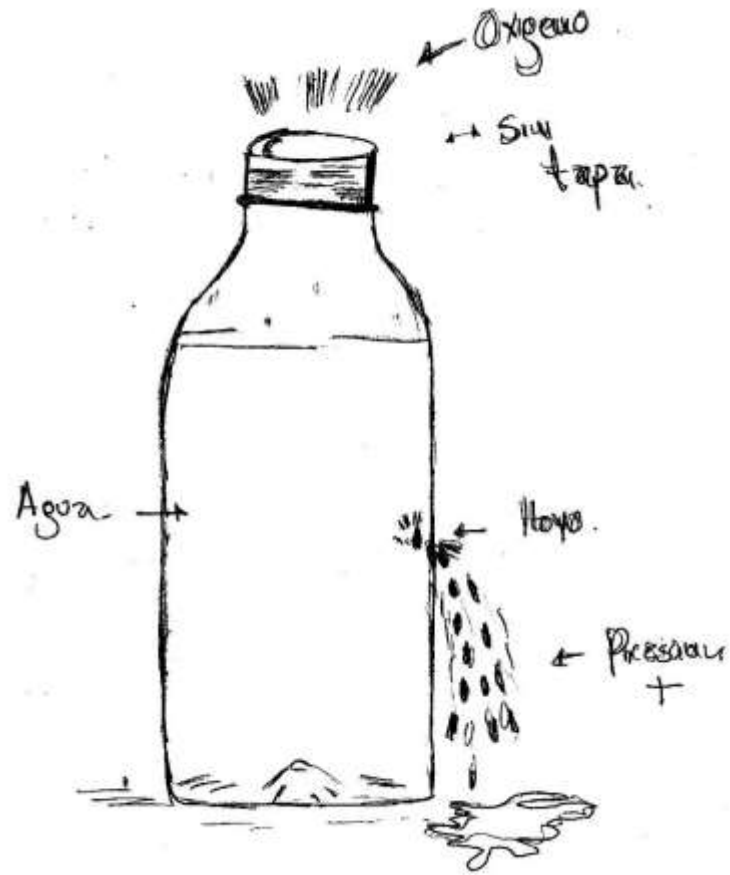
Estudiante 22. 16 años.

1. La perforación que tiene la botella hace que el agua salga, pero también influye el oxígeno: éste hace que tenga un poco más de presión.
2. Si la botella estuviese tapada, sería un poco más difícil salir, claro que no va a salir toda, sólo hasta el nivel del hoyo. Saldría menos porque no hay oxígeno que entre por la boca de la botella, eso hace que la presión disminuya.

Comentarios.

Heurísticos o reglas simplificadoras en la formación de las concepciones espontáneas	Covariancia cualitativa en la explicación: hay variables relevantes, el oxígeno y la presión; y se producen siempre que se produce el efecto: la salida de agua.
Supuestos simplificadores que conducen a nociones de causalidad	Causalidad simple lineal, unidireccional, centralizada y directa.
Dimensión de complejidad del modelo causal	Generaliza superficialmente, para el mecanismo: Es determinista y sólo tiene un agente central y directo.
Congruencia entre la explicación y la predicción	Congruente, ya que maneja al agente central que con su presencia, afecta directamente al resultado predicho.

Dibujos



Estudiante 23. 17 años.

1. Debido al orificio con el que cuenta la botella, hace que al llenar ésta y sobrepasando el mismo, pueda liberar el agua debido a la presión con la que cuenta. Ésta cuenta con una presión liberada por un orificio, el cual hace que el agua sea arrojada por la fuerza y la cantidad que ésta ejerce o tiene después de llenarla.
2. Si se tapa la botella, el agua también saldrá, pero de manera débil, ya que ésta no cuenta con el oxígeno suficiente para liberar el líquido y aplicándole una fuerza sería todo lo contrario pues ésta hace que retome una presión suficiente para liberarla.

Comentarios.

Heurísticos o reglas simplificadoras en la formación de las concepciones espontáneas	Contigüidad temporal en la explicación. Hay covariancia cualitativa, ya que las variables relevantes están presentes: la presión, el orificio y el agua.
Supuestos simplificadores que conducen a nociones de causalidad	Causalidad simple lineal. La acción de la presión del agua hace que ésta salga. Es unidireccional y centralizada.
Dimensión de complejidad del modelo causal	Generalización superficial. Es determinista y tiene un agente central: la presión.
Congruencia entre la explicación y la predicción	No se observa congruencia entre la explicación y la predicción. Se utiliza otro agente (el oxígeno) para predecir.

Dibujos



La presión que tiene no es suficiente para liberar el agua de una manera rápida.



Al aplicar una fuerza hace que la presión suba y la arroje más rápidamente.

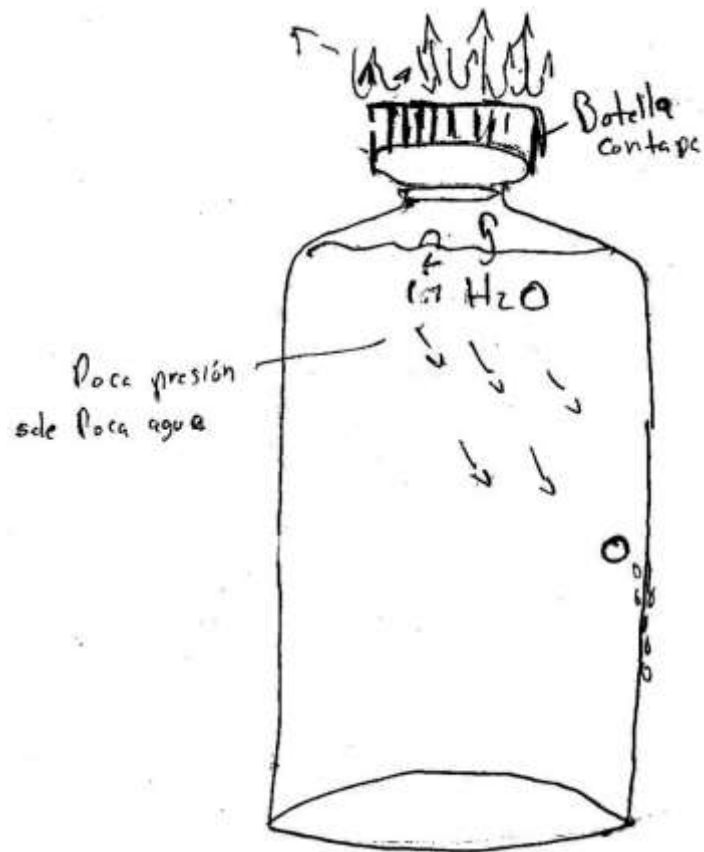
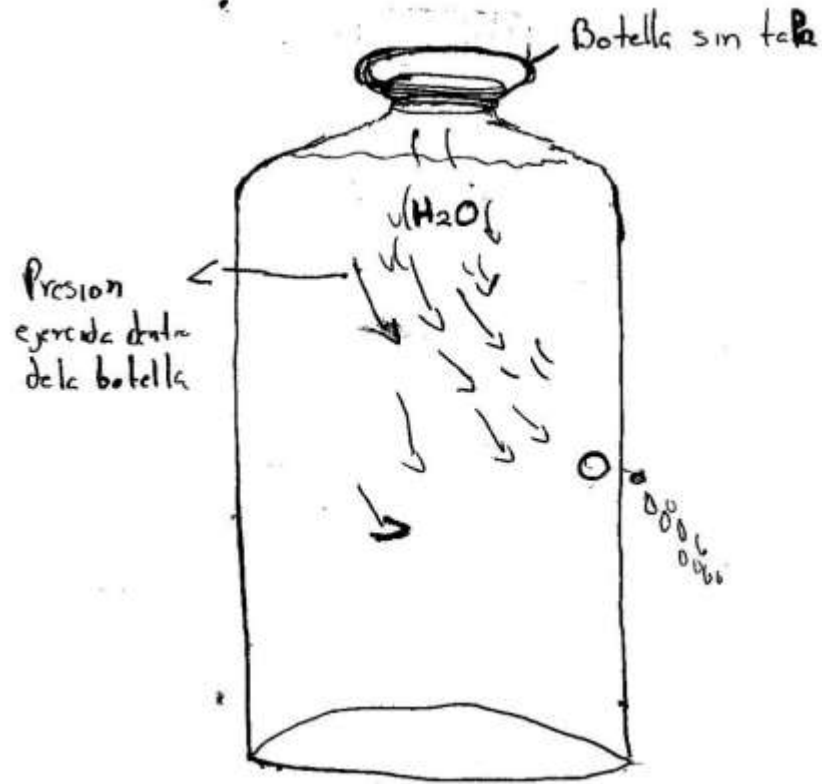
Estudiante 24. 16 años.

1. El agua sale por la presión que se ejerce dentro de la botella, y esto hace que expulse el agua, porque por el orificio desemboca toda la presión existente, dentro de la botella, y la misma presión que ejerce el agua, y también el agua rebasa el nivel del hoyo y el agua empuja a que salga.
2. Si se tapa la botella, el agua saldrá muy poco por el orificio, ya que sólo hay poca presión dentro de la botella, y cuando se acabe la que hay dentro (presión) no va a salir nada de agua.

Comentarios.

Heurísticos o reglas simplificadoras en la formación de las concepciones espontáneas	Contigüidad espacial y temporal. Relación muy directa entre las variables que propician el efecto, y todo esto ocurre simultáneamente.
Supuestos simplificadores que conducen a nociones de causalidad	Causalidad lineal y de un solo agente: la presión. Es directa, unidireccional y construida con características perceptibles.
Dimensión de complejidad del modelo causal	El mecanismo es de explicación adquirida, la entidad que utiliza para la explicación es la presión ejercida dentro de la botella. Su causalidad es simple y lineal, y es determinística. Tiene un solo agente central.
Congruencia entre la explicación y la predicción	Predicción congruente, basado en el mismo agente y el mismo mecanismo de acción. Resuelve el problema, pero las bases de la predicción son sensoriales y poco físicas.

Dibujos



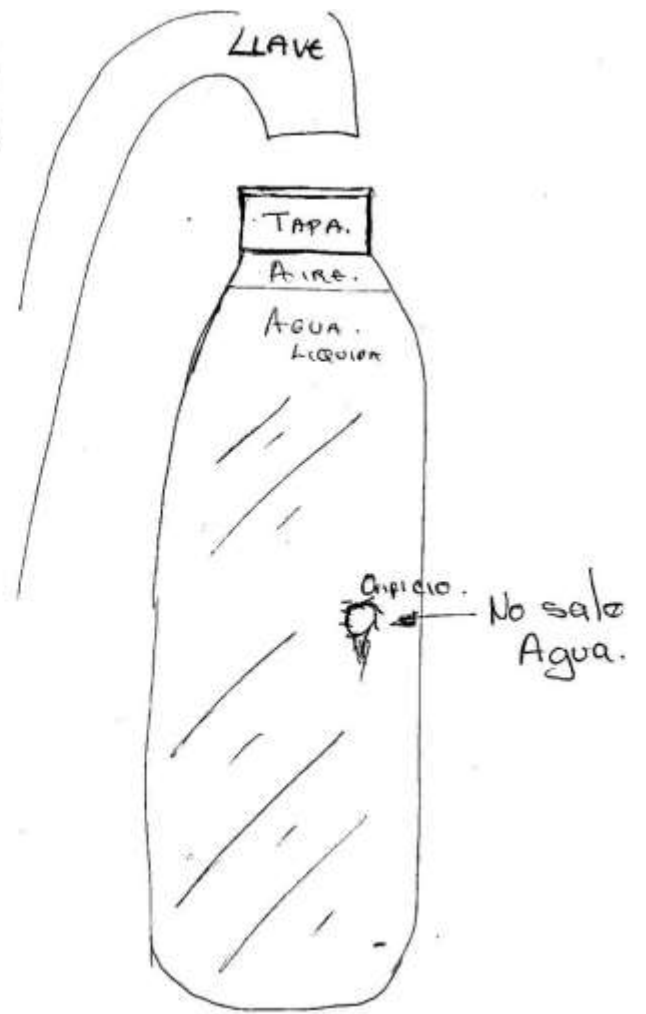
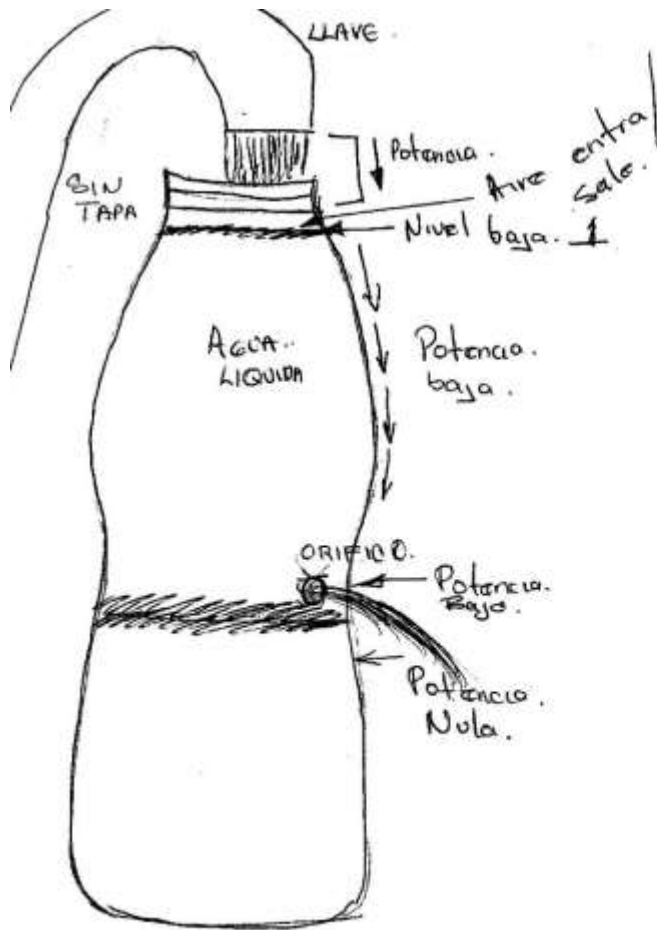
Estudiante 25. 16 años.

1. El agua sale rápidamente porque no es viscosa, y tiene la facilidad de salir rápidamente. El agua fluye de la botella por el orificio, pues la botella se encuentra destapada, y hay aire de por medio y eso hace que haya fluido. Aquí hay presión por todos los puntos.
2. Con la botella tapada, hay aire en el cuello de la botella, y eso hace que no haya presión y se mantenga el agua dentro de la botella.

Comentarios.

Heurísticos o reglas simplificadoras en la formación de las concepciones espontáneas	Hay semejanza entre causa y efecto: el agua sale rápido porque no es viscosa y por ello se le facilita salir rápidamente. Hay contigüidad espacial y temporal. Las variables mencionadas están en contacto en la explicación.
Supuestos simplificadores que conducen a nociones de causalidad	La explicación está centralizada en la viscosidad y en la presión. Es unidireccional y construida con características perceptibles y obvias.
Dimensión de complejidad del modelo causal	El mecanismo tiene generalización superficial. Simplemente la viscosidad y la presión intervienen, pero no dice cómo. Tiene causalidad múltiple lineal, es determinística y tiene 3 factores clave que afectan el resultado de la explicación.
Congruencia entre la explicación y la predicción	El aire atrapado en la botella deja de presionar, y como decía que en todos puntos hay presión, entonces el agua ya no sale. Hay congruencia en la predicción con la explicación.

Dibujos



Estudiante 26. 17 años.

1. Cuando tenemos una botella con un orificio y le ponemos agua, pasa lo siguiente:
El agua comienza a salir debido a la gravedad y la distancia a la que sale el agua depende de la cantidad de agua. Cuanto más agua tiene la botella, más lejos sale el chorro. Cuando hay menos agua, la fuerza con al que sale el chorro es menor y por lo tanto menor la distancia. El agua sale porque el aire hace presión. La botella nunca está vacía, si hablamos en términos muy físicos.
2. Si tapamos la botella, considero que ocurre lo mismo ya que sigue existiendo la misma cantidad de aire, ya que éste por ser fluido se expande y ocupa más y más espacio, así que no cambia la cantidad de aire.

Comentarios.

Heurísticos o reglas simplificadoras en la formación de las concepciones espontáneas	Hay covariancia cuantitativa en la explicación entre la cantidad de agua y la distancia que alcanza el chorro. Se encuentra también contigüidad espacial y temporal.
Supuestos simplificadores que conducen a nociones de causalidad	Hay atisbos de que la causalidad la puede manifestar en agentes pasivos o no intencionales, los menciona, pero no establece su naturaleza. <i>La botella nunca está vacía.</i> La explicación es unidireccional y directa sin pasos intermedios.
Dimensión de complejidad del modelo causal	El mecanismo es de explicaciones adquiridas. La gravedad, la cantidad de agua y la presión del aire hacen que el agua salga. La causalidad es múltiple lineal. El sistema es determinístico y tiene varios agentes.
Congruencia entre la explicación y la predicción	Cuando menciona que la cantidad de aire no cambia, construye que ese aire sigue presionando igual al agua. La conclusión es errónea, pero es congruente.

Dibujos

Botella sin tapa

①



Botella con tapa.

②

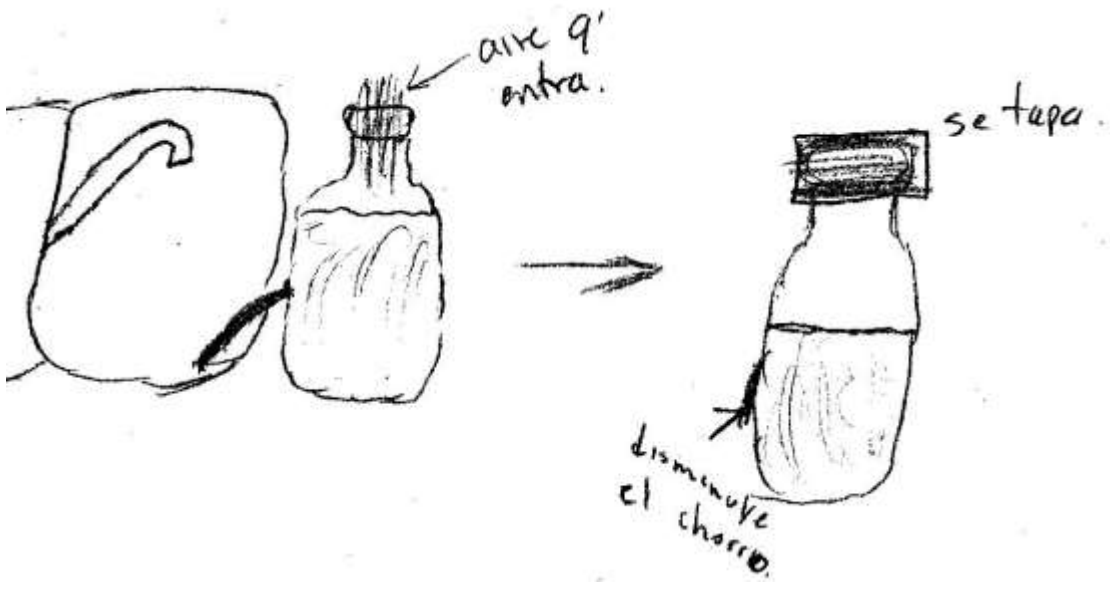


Estudiante 27. 17 años.

1. Algo tiene que ver con que el agua es un líquido y es fácil de que salga por ese orificio pero entonces algo más tiene que ver con esto pues tal vez podría ser la gravedad, que hace que el aire entre y por lo tanto la densidad sea mayor y así entonces el agua es expulsada por el orificio pequeño.
2. Si tapamos la botella, tal vez no se saldría porque ya no hay aire y supongo que la densidad ya no ocasionaría que saliera el líquido. La densidad del agua se hace mayor y presiona para que no salga por el orificio.

Heurísticos o reglas simplificadoras en la formación de las concepciones espontáneas	Covariancia cualitativa en la explicación, entre la facilidad de que el agua salga con la certeza de que es líquida. Contigüidad espacial en las variables, que son varias.
Supuestos simplificadores que conducen a nociones de causalidad	Hay agentes que establecen una causalidad activa e intencional: la gravedad que produce aumento de densidad.
Dimensión de complejidad del modelo causal	El sistema explicativo es determinístico, su causalidad es múltiple lineal. Se puede ver causalidades enlazadas, A causa B causa C. Alguna entidad o fenómeno se infiere cuando se menciona que el agua es un líquido. Hay 4 agentes centrales: el agua, la gravedad, la densidad y el aire.
Congruencia entre la explicación y la predicción	El aire es un agente que se modifica en la predicción. Al faltar éste, vuelve la cadena de implicaciones. La densidad ahora es la responsable de que el líquido no salga. Esquema predictivo congruente con la explicación.

Dibujos



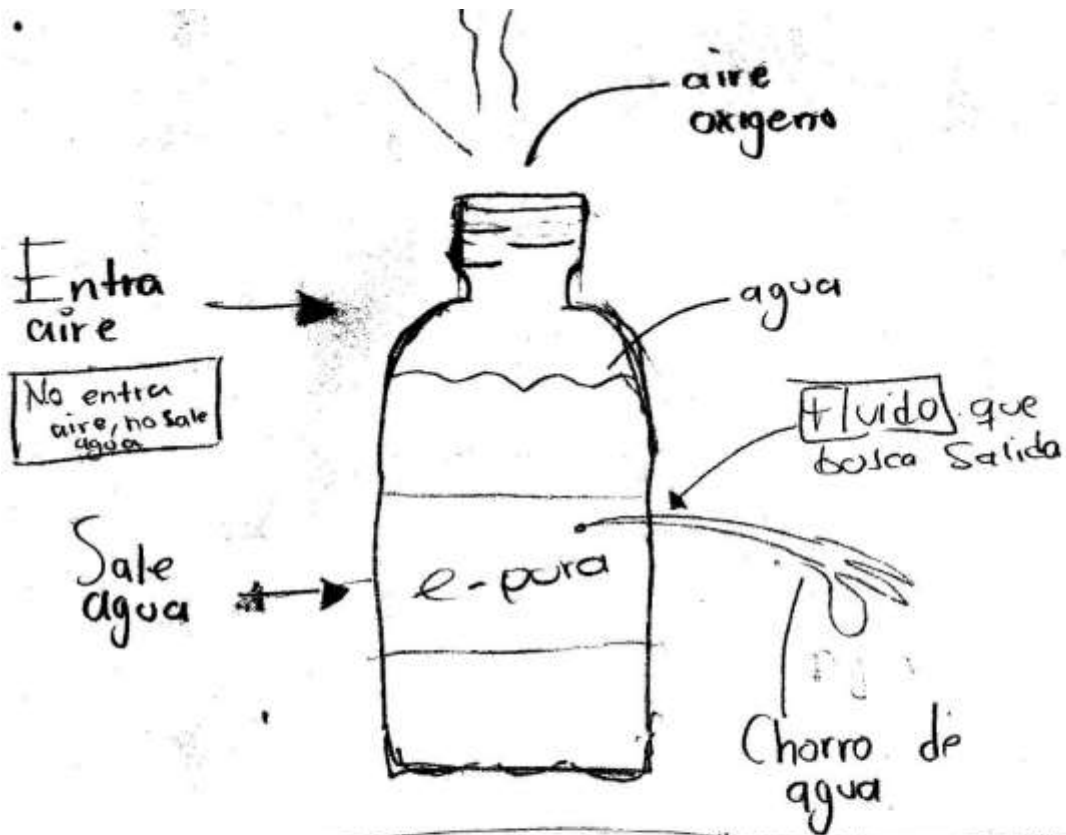
Estudiante 28. 17 años.

1. Pienso que como no estaba tapada la botella, el peso del agua no era detenido por ninguna fuerza o presión y por tal motivo el agua se salía. Está entrando aire y oxígeno. El agua es un fluido que busca salida, por tanto sale el chorro de agua.
2. Si la botella estuviese tapada, el agua aun así se saldría, pero en menor cantidad, puesto que debido a la suavidad del plástico, la botella se flexionaría para liberar el contenido, como con una bolsa de plástico. Si no entra aire, el agua no sale. No sale tanta agua porque no hay presión del aire.

Comentarios.

Heurísticos o reglas simplificadoras en la formación de las concepciones espontáneas	Covariancia cualitativa en la explicación, entre el peso del agua y la presión. Contigüidad espacial en las variables, que son varias.
Supuestos simplificadores que conducen a nociones de causalidad	El peso constituye una causalidad activa e intencional, centralizada con pocos agentes.
Dimensión de complejidad del modelo causal	El sistema explicativo es determinístico, su causalidad es múltiple lineal. Alguna entidad o fenómeno se infiere cuando se menciona que el agua es un fluido que “busca” salida. Aquí mismo se puede ver que la explicación está centrada en la función: Entra aire y oxígeno, y el agua busca salida.
Congruencia entre la explicación y la predicción	La flexión de la botella es manejada como una nueva explicación. La explicación tiene elementos que empatan con lo perceptible por los sentidos, y no utiliza conceptos. En la predicción utiliza a la presión como agente activo, y por lo tanto, es congruente con la explicación.

Dibujos



NOTA: COMO UN SUBMARINO



Esto pasaria
Si la botella
estuviera tapada
puesto a que
no hay presión
de aire

Estudiante 29. 17 años.

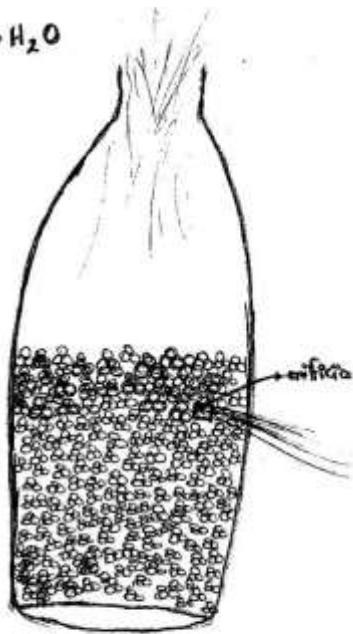
1. El agua sale a causa de la presión que ejercen unas moléculas sobre otras, buscando acomodarse y al encontrar un orificio en la botella, la fluidez del agua y la cantidad de ésta influyen debido a que la cantidad supera la altura a la que se encuentra el orificio.
2. El agua no saldrá con la botella tapada, ya que ha perdido la presión, su fluidez debido a la ausencia de aire que era un componente esencial para la salida de ésta.

Comentarios

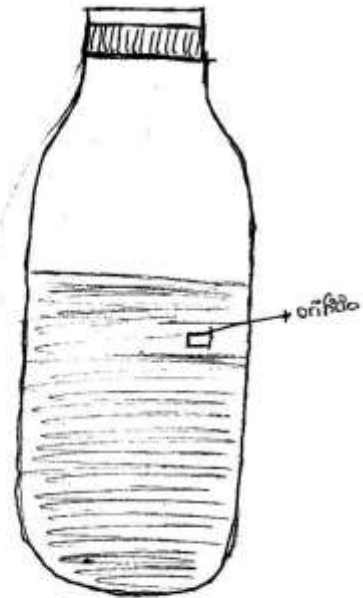
Heurísticos o reglas simplificadoras en la formación de las concepciones espontáneas	Covariancia cualitativa en la explicación. Se produce el efecto por la presencia de las causas: presión, fluidez de agua y la cantidad de ésta.
Supuestos simplificadores que conducen a nociones de causalidad	Causalidad secuencial, (tiene un esbozo de proceso paso a paso) construida con variables perceptibles (por ejemplo, la fluidez) tiene agentes activos e intencionales, la presión, la fluidez, la cantidad del agua.
Dimensión de complejidad del modelo causal	Generaliza superficialmente, su causalidad es simple y lineal, es determinística y tiene dos agentes que influyen en el proceso y resultado.
Congruencia entre la explicación y la predicción	La predicción hace uso de una de las variables para ser construida, y lo hace con congruencia. Sin embargo, hace uso de la ausencia de aire, que no estaba en la explicación, y la maneja como esencial, y no dice por qué es esencial.

Dibujos

$\text{B} \rightarrow \text{H}_2\text{O}$



Dibujo 1



Dibujo 2

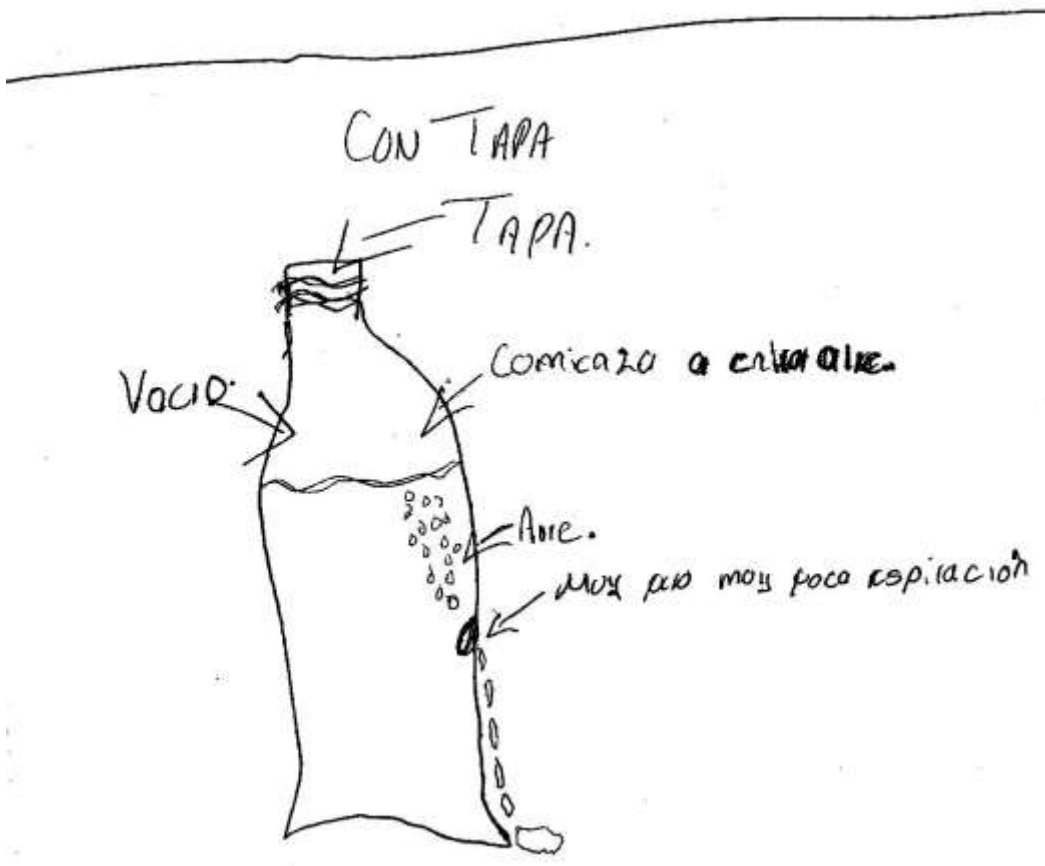
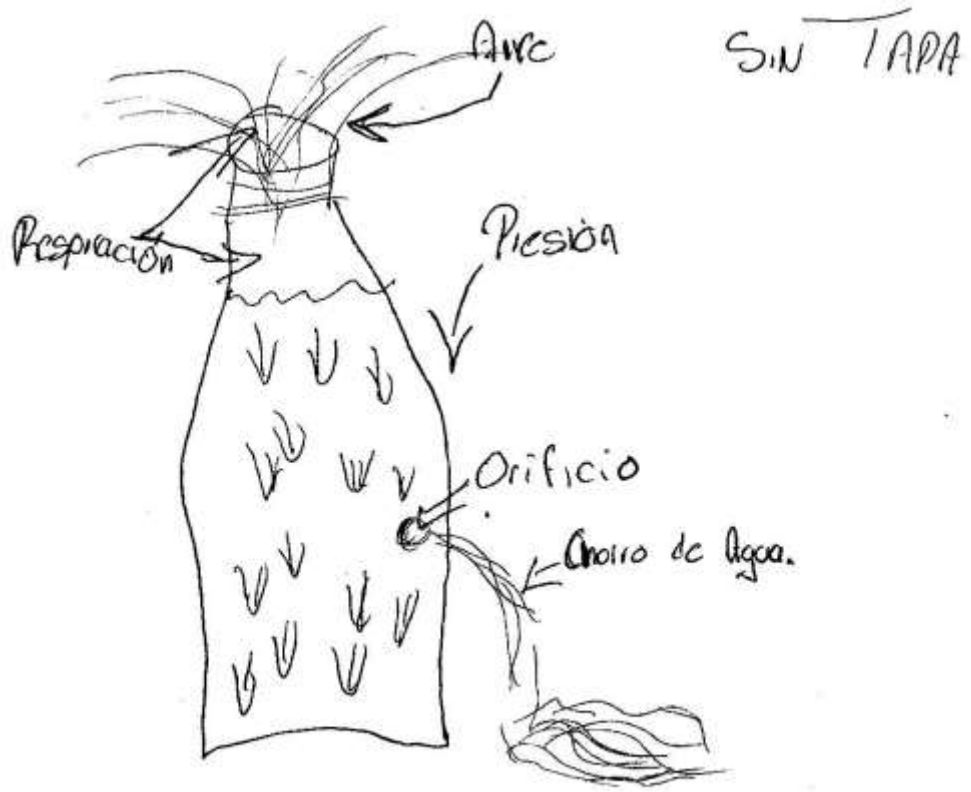
Estudiante 30. 17 años.

1. El agua sale por el orificio por el motivo de que el agua está siendo presionada por la botella y necesita salir. En concreto el agua ejerce una presión y la salida más cercana es el orificio.
2. Si se cierra la botella, el agua va a salir con un mínimo de presión ya que por el mismo orificio por el que sale va a tener una ligera respiración, entonces apenas si va a salir un ligero goteo.

Comentarios.

Heurísticos o reglas simplificadoras en la formación de las concepciones espontáneas	Covariancia cualitativa. Las variables que se producen siempre que se produce el efecto son la presión y el orificio como tal.
Supuestos simplificadores que conducen a nociones de causalidad	Causalidad construida con características perceptibles y obvias, con agentes activos e intencionales, centralizada con pocos agentes.
Dimensión de complejidad del modelo causal	Causalidad determinística, con un agente central, la presión del agua. Causalidad simple lineal. Generalización superficial.
Congruencia entre la explicación y la predicción	La explicación no es compleja, pero la predicción tiene base en el mismo concepto que aquella. La predicción es congruente.

Dibujos



Capítulo 7

Resultados, conclusiones e implicaciones para la enseñanza y el aprendizaje de las ciencias.

7.1 Resultados y conclusiones.

El análisis de las respuestas de los estudiantes de esta muestra revela una prevalencia en la congruencia entre las explicaciones y sus correspondientes predicciones. De las 30 evidencias recolectadas, se encuentran 25 cuyos esquemas predictivos son congruentes con los esquemas explicativos, basados en los criterios de la utilización de heurísticos, los supuestos simplificadores sobre las nociones de causalidad y las dimensiones de complejidad de los modelos causales. A 5 de los estudiantes, los etiquetados con los números 8, 9, 10, 11 y 23 no se encontraron congruencias entre los modelos. Se puede atribuir este hecho a la incompatibilidad de la explicación con el modelo predictivo que estaba actuando en la mente de los estudiantes. En la mayor parte de los casos, introdujeron variables que no habían considerado en sus esquemas explicativos, y es de hacer notar que sus explicaciones no diferían mucho de las de sus compañeros que fueron congruentes en sus esquemas.

En cuanto a los niveles de los esquemas explicativos, se encontró que éstos yacen en los primeros niveles de justificación heurística, de causalidad y de complejidad dimensional: es decir, el pensamiento de los estudiantes entrevistados atiende a las circunstancias ya planteadas en el sustento teórico del presente trabajo: construcciones personales basadas en modelos mentales arraigados y representaciones culturales sobre la realidad; no son reflexivos, tienen cierta lógica y le permiten al estudiante resolver su mundo, y que evidentemente no alcanzan a explicar correctamente el problema planteado.

Los esquemas explicativos más avanzados estarían en los niveles de causalidades múltiples lineales, con 4 agentes como máximo, y dispuestos de tal manera que inciden en la explicación en turnos, como en una cadena de causas.

Es de hacer notar que algunos estudiantes predicen congruentemente que el agua seguiría saliendo de la botella aun tapada. Esto justifica la robustez de las preconcepciones y de la “lógica” con la que se construyen las predicciones de un fenómeno dado.

7.2 Implicaciones para la enseñanza y el aprendizaje de las ciencias.

Resulta de fundamental importancia la indagación de los esquemas explicativos y predictivos de los estudiantes en contextos áulicos. La sistematización y planeación de actividades de indagación de lo que los estudiantes ya saben o construyen en sus estructuras cognitivas, con propósitos didácticos es ahora una necesidad imperiosa para la educación en ciencias y para la educación en general.

La transformación consecuente de los esquemas explicativos, o su avance en los niveles taxonómicos aquí presentados, o en cualesquiera otros, es el reto para los diseños de clase, el planteamiento de estrategias y métodos de aprendizaje y enseñanza. Las propuestas actuales en el campo de la investigación en educación han de ser acompañadas por un conjunto de evidencias empíricas que muestren lo aquí expuesto y consecuentemente, se sometan a las pruebas experimentales para mostrar sus beneficios.

La propia investigación ha mostrado que los preconceptos, y consecuentemente los esquemas explicativos y predictivos, son muy difíciles de modificar. Ciertamente el trabajo en el aula ha de promover el intercambio y la evaluación de las ideas a modo de someterlas al análisis social entre los compañeros, con la mediación del profesor. Es de gran importancia el diseño experimental en problemáticas de contexto real, a modo que a fuerza de la evidencia demostrativa o de construcción de saberes procedimentales, pueda ayudar al cambio conceptual y a la mejora de las estructuras cognitivas de los estudiantes.

Para finalizar, los métodos y las estrategias para la enseñanza de la física han de sufrir sistémicamente por una transformación en las escuelas. Los estudios de caso, los proyectos o el aprendizaje basado en problemas, pueden ser alternativas viables que permitan a los chicos evolucionar sus esquemas de pensamiento hacia modelos más cercanos a los que plantea la ciencia, y que adicionalmente, estas maneras de pensar vayan permeando en nuestras sociedades, a fin de que los jóvenes de ahora, en el futuro, sean ciudadanos críticos y participativos en una sociedad dominada por la ciencia y tecnología, y que paradójicamente, en nuestros tiempos, los ciudadanos estén cognitivamente tan alejados de ellas.

Referencias.

- Arons, A. (1970) *La evolución de los conceptos de la física*. Trillas, México.
- Benlloch, M. (1997) *Desarrollo cognitivo y teorías implícitas en el aprendizaje de las ciencias*. Visor, España.
- Bernal, J. (2007) *La ciencia en la historia*. Editorial Científico Técnica, México.
- Besson, U. (2004). Some features of causal reasoning: common sense and physics teaching. *Research in Science & Technological Education*, 22(1), 113-124.
- Bunge, M. (2005) *La ciencia, su método y su filosofía*. DeBolsillo, México.
- Brillouin, L. (1969) *La información y la incertidumbre en la ciencia*. UNAM, México.
- Concari, S. (2001). *Las teorías y modelos en la explicación científica: Implicancias para la enseñanza de las ciencias*. *Ciência & Educação*, v.7, n.1, p.85-94.
- Carretero, M (1997). *Construir y enseñar las ciencias experimentales*. Aique, Argentina.
- Driver, R. Guesne, E. y Tiberghien, A. (1999) *Ideas científicas en la infancia y la adolescencia*. Morata, España.
- Furió, C. y Guisasola, J. (2001). *La enseñanza del concepto de campo eléctrico basada en un modelo de aprendizaje como investigación orientada*. *Enseñanza de las Ciencias*, 19(2), pp. 319-334.
- García, R. (1999). *La explicación en Física*. In: Piaget, J. (Ed.) *Tratado de lógica y conocimiento científico. IV Epistemología de la física*, Buenos Aires: Paidós.
- Karmiloff- Smith, A. (1996) *Beyond modularity: A developmental perspective on cognitive science*. Massachusetts Institute of Technology. USA.
- Koestler, A. (2007) *Los sonámbulos. Historia de la cambiante visión del hombre acerca del Universo*. Consejo Nacional para la cultura y las Artes, México.
- Nagel, E. (2006) *La estructura de la Ciencia*. Paidós, España.
- Laudan, L. (1993) *La ciencia y el relativismo: controversias básicas en la filosofía de la ciencia*. Alianza Editorial, España.
- Llancaqueo, et. al. (2003) *El concepto de campo en el aprendizaje de la Física y en la investigación en educación en Ciencias*. *Revista electrónica de Enseñanza de las Ciencias* 2(3) 227-253.
- Moreira, M. A., & Greca, I. M. (2003). *Cambio conceptual: Análisis crítico y propuestas a la luz de la teoría del aprendizaje significativo*. *Conceptual change: critical analysis and proposals in the light of the meaningful learning theory*. *Ciência & Educação*, 9(2), 301-315.
- Nickerson, R., Perkins, D. y Smith, E. (1987). *Enseñar a pensar. Aspectos de la aptitud intelectual*. Paidós, España.

- Palmer D (2001) *Students' alternative conceptions and scientifically acceptable conceptions about gravity*. *Int J Sci Edu* 23(7):691–706.
- Piaget, J. (1971) *Psicogénesis e historia de la Ciencia*. Siglo XXI, México.
- Popper, K. (2008) *La lógica de la investigación científica*. Tecnos, España.
- Pozo, J. y Gómez, M. (1998) *Aprender y enseñar ciencia*. Morata, España.
- Pozo, J., et.al. (1992) *Las ideas de los alumnos sobre la ciencia como teorías implícitas*. *Infancia y aprendizaje*, 15(57), 3-21.
- Rodrigo, M. J. (1997). *La construcción del conocimiento escolar* (pp. 177-191). J. Arnay (Ed.). Barcelona: Paidós.
- Viennot, L. (2001) *Reasoning in Physics: The part of common sense*. Kluwer academic publishers, USA.
- Viennot, L., & Rainsou, S. (1999). *Design and evaluation of a research-based teaching sequence: the superposition of electric field*. *International Journal of Science Education*, 21(1), 1-16.
- Vosniadou, S., Brewer, W. (1992) *Mental models of the Earth: A study of Conceptual Change in Childhood*. *Cognitive Psychology*, 24, 535-585.