

LA ANALOGÍA COMO HERRAMIENTA EN LA GENERACIÓN DE *IDEAS PREVIAS* †

Hernán Miguel
Universidad de Buenos Aires - Universidad CAECE
herny@mail.retina.ar

Resumen

La adquisición de nuevos conceptos está fuertemente relacionada con las ideas y conocimientos previos. Este comentario no es novedoso y en el área educativa se han hecho esfuerzos en la dirección del diagnóstico y detección de estas ideas previas. Sin embargo, todavía sigue habiendo un trecho por recorrer entre las recomendaciones y las prácticas en relación al diseño de las clases en función de esas ideas previas. En el presente trabajo distinguiremos dos tipos de conocimientos previos y nos ocuparemos de uno de ellos que nos parece de relevancia singular para los conceptos que se desean abordar en el proceso de aprendizaje. Centraremos nuestra atención en aquellos conceptos que se refieren a procesos o características estructurales y que además no son observables directamente e incluso no son detectables con ayuda de instrumentos con los que el estudiante esté familiarizado. Dadas estas dos características, sostendremos que se deberá implementar una tarea preliminar antes de abordar el estudio de tales características y tal tarea tendrá el objetivo de generar ideas previas, también de características estructurales pero de fácil acceso epistemológico, que puedan servir de andamiaje para los conceptos que finalmente deseamos abordar. También sostendremos que para lograr la generación de ideas previas tan específicas, la analogía se mostrará una herramienta exitosa. El análisis será realizado sobre la base de un caso de ejemplo en que se desarrollan todas las etapas mencionadas.

1. Introducción

Al momento de ocuparnos de la adquisición de conocimientos es de fundamental importancia tener en cuenta los conocimientos previos del estudiante. Esta recomendación es bastante habitual y se han hecho esfuerzos en la dirección del diagnóstico y detección de estas ideas previas.¹ Sin embargo, todavía sigue habiendo un trecho por recorrer entre las recomendaciones y las prácticas en lo que se refiere al diseño de las clases en función de esas ideas previas. Por ejemplo, si los estudiantes no poseen ninguna manera de describir un fenómeno, ya sea porque les es desconocido hasta el momento, ya sea porque describen sólo partes de ese fenómeno (que, por su complejidad, recién abordan en esa etapa de la instrucción), entonces ¿cómo debe diseñarse la clase? ¿Qué herramientas pondremos en juego? ¿Podemos en estos casos darnos el lujo de recurrir a la manera tradicional de dar la clase, habida cuenta de que no se dispone del bagaje de conocimientos previos que clasifique bien o mal el fenómeno a estudiar?

No estamos afirmando que los conocimientos previos de los estudiantes no estén presentes al momento de interpretar la descripción del fenómeno que relata el docente. Todo lo

† Publicado en *El caldero de la escuela* 73 pp 85-97. Escuela de la Orientación Lacaniana, Buenos Aires (Oct. 1999).

¹ Véase, por ejemplo, Paloma Varela Nieto *et al.* (1993).

contrario. Son precisamente esos conocimientos previos los que permiten algún tipo de interpretación del discurso docente. Pero debemos distinguir entre: (1) un marco general de conocimientos previos que permite la concatenación de los relatos y la descripción y comprensión de los diversos contenidos conceptuales tratados correlativamente, y (2) otro tipo de conocimiento previo cuyos efectos son dirigir tales interpretaciones de un modo más coercitivo y específico.

El marco general de conocimientos previos mencionado permite entablar la relación docente-alumno, provee la condición de posibilidad de la situación de enseñanza-aprendizaje, y en todo caso es el marco inevitable de interpretación en todo diálogo.

En cambio el segundo tipo de conocimiento previo, que podríamos llamar “de relevancia singular”, es aquel que de hecho permite la adquisición del conocimiento o bien la obstaculiza. Este tipo de conocimiento es de relevancia singular en tanto su presencia condiciona la adquisición del conocimiento de ciertos contenidos conceptuales y no actúa del mismo modo sobre otros para los que aún sigue siendo relevante.

Este conocimiento previo es el que nos debe ocupar y preocupar al momento del diseño, la planificación y la puesta en práctica de la actividad docente. En particular nos ocuparemos del caso en que para un determinado fenómeno no se ha detectado un conocimiento previo de relevancia singular.

Apoyamos la tesis del constructivismo² según la cual la adquisición del conocimiento es posible en la medida de su anclaje a conocimientos anteriores. Asimismo entendemos que al hablar de “conocimientos previos” nos referimos al conocimiento de relevancia singular y no a un marco general de comprensión de los relatos acerca de fenómenos nuevos. Siguiendo esta línea de pensamiento, afirmaremos que en los casos en que para ciertos contenidos conceptuales no exista tal tipo de conocimientos relevantes, deberemos generarlos antes de introducir los relatos sobre los fenómenos a estudiar. También sostendremos que las analogías pueden cumplir con este objetivo intermedio. Y por último sostendremos que este objetivo intermedio tiene repercusiones muy positivas para la adquisición del conocimiento.³

En este trabajo presentamos un ejemplo para describir de qué manera se logra la tarea de generar ideas previas para ser utilizadas como anclaje de los contenidos conceptuales que se desean desarrollar en un curso. Luego analizaremos cuáles son las características que hacen que sea necesario este objetivo intermedio, más allá de una convicción teórica general sobre la necesidad de la vinculación de los nuevos contenidos con el conocimiento previo. De este modo quedará determinado cierto criterio para decidir cuáles de los contenidos conceptuales merecen este tratamiento, y de este análisis también surgirán las características que debe cumplir la analogía.

Finalmente discutiremos los alcances de la analogía, las ventajas de su uso y la manera en que el estudiante debe comprender la relación de analogía en tanto tal, para que el conocimiento nuevo sea genuinamente diferente del conocimiento análogo que se ha generado como paso intermedio.

² Véase, por ejemplo, David Ausubel, (1968).

³ A lo largo de este trabajo mencionamos “la adquisición del conocimiento” y “los relatos docentes”. Esto podría interpretarse como una posición contraria al constructivismo, al que sin embargo adherimos. La posición se hace más clara si distinguimos entre contenidos conceptuales, por un lado y estrategia para su adquisición, por el otro. Apoyamos la tesis del constructivismo como estrategia para la adquisición de ciertos contenidos conceptuales. La estrategia consiste en formar un “andamiaje” sobre la base de los conocimientos previos del estudiante hacia los conocimientos cuya adquisición constituye el objetivo. No apoyamos un constructivismo según el cual el estudiante construya cualquier conocimiento compatible con la experimentación y quede en ese estado cognitivo. Robert Pardo (en comunicación personal) nos ha señalado este punto y agradecemos sus valiosas opiniones que nos guiaron en la formulación de esta nota.

2. Un botón de muestra

Este ejemplo fue tomado de un libro para la enseñanza de Física en las escuelas medias.⁴ El libro abarca temas de astronomía, mecánica, fuentes de energía y gravitación. Al comienzo de casi todos los capítulos se encuentran actividades previas al desarrollo de los temas, llamadas “Yo sé que ya sabes...”. Estas actividades se dirigen a detectar el nivel de comprensión que los estudiantes ya tienen sobre esos temas y el conocimiento previo de relevancia singular para esos temas.

En la actividad previa correspondiente al capítulo sobre fuentes de energía nos encontramos con el siguiente ejercicio a ser realizado por los estudiantes (pág. 156).

“Una población de arañas vive en un bosque y ha empezado a tejer sus telas alrededor del borde del mismo y por encima de la copa de los árboles de manera que para entrar y para salir hay que atravesar una telaraña. El bosque todavía no está totalmente envuelto en telarañas pero cada vez está más rodeado de ellas. Cierta cantidad de gusanos se interna día a día en el bosque y allí muchos de ellos se transforman en mariposas que viven durante meses. Los gusanos no tienen problema en entrar y salir porque pasan por los espacios de las telarañas pero las mariposas tienen bastante dificultad para salir del bosque.

- a) *¿Crees que día a día aumenta la cantidad de gusanos que hay en el bosque?*
- b) *¿Crees que día a día aumenta la cantidad de mariposas que hay en el bosque?*
- c) *¿Qué podrían hacer las arañas si no quisieran que cambiara la cantidad de gusanos y mariposas que en promedio día a día hay en el bosque?*
- d) *Si las arañas dejaran de tejer sus telas y mantuvieran las que hay, ¿se solucionaría el último problema?”*

Una vez realizado éste y otros ejercicios de la actividad previa, se desarrollarán a lo largo de varias clases los distintos temas del capítulo. Es de destacar el carácter desconcertante de la temática de esta actividad en relación con el tema del capítulo. Discutiremos esto en la sección 5 de este trabajo.

El capítulo comienza con el estudio de la fotosíntesis. Así, se agudiza más aún el desconcierto, ya que la conexión entre el ejercicio descrito y los contenidos conceptuales para los que esta actividad es relevante se posterga hasta haber transcurrido varias clases. También discutiremos esta característica en la sección 5.

Luego del desarrollo de varios temas (unas diez páginas más adelante) se estudia el efecto invernadero. El texto que describe este fenómeno es como sigue (pág. 167).

“El problema que enfrentamos hoy con respecto a este tipo de generadores de energía [con base en los combustibles fósiles] es que los residuos de la combustión han llegado a niveles que afectan no solamente las zonas cercanas a las plantas generadoras sino también al planeta en general. La producción de dióxido de carbono en la combustión, sumada a la deforestación producida por el hombre ha conducido a un aumento de la densidad de este gas en la atmósfera que afecta la temperatura global del planeta.

El dióxido de carbono (CO₂) deja pasar la radiación ultravioleta que llega del Sol y que calienta la tierra. Pero no deja pasar hacia el espacio la radiación infrarroja (calor) que el terreno irradia durante la noche. De esta manera se produce una acumulación de calor, gradual pero sin pausa, ya que en cada noche el terreno no llega a eliminar toda la energía recibida durante el día. Esto se conoce como “efecto invernadero”.

Para todo docente de física, el ejercicio citado de la actividad previa cobra ahora un sentido didáctico que no habría adquirido nunca si no se lo hubiera podido resignificar⁵ como herramienta para la comprensión del efecto invernadero. Vale la pena comentar aquí que el autor hizo la prueba de presentar el texto de la actividad a varios colegas, con la indicación de

⁴ Hernán Miguel (1997).

⁵ Nótese el proceso de *après coup* por el que el discurso posterior interviene en el significado del discurso previo. Véase Gerardo Arenas (1998) Pág. 80 y ss.

que ella se encontraba entre las actividades previas del capítulo de fuentes de energía. La mayoría de ellos no encontraba por qué se incluía esa actividad allí. Esto muestra que incluso para los docentes no es trivial establecer el vínculo de analogía partiendo solamente de la actividad ubicada en el foco de la atención, y esta característica es una virtud ya que permite eludir totalmente las resistencias que el estudiante pudiera tener con respecto al estudio de esa materia en particular.

Al final del capítulo se presenta otra actividad que contiene el siguiente ejercicio (pág. 169):

“En la sección “Yo sé que ya sabes...” había un ejercicio sobre las arañas del bosque. Ese ejercicio es una analogía del efecto invernadero. Los elementos de la analogía (bosque, telarañas, gusanos, mariposas, etc.) corresponden a los elementos del efecto invernadero (radiación ultravioleta, calor, dióxido de carbono, centrales térmicas, etc.).

a) Indica los pares de elementos análogos que encuentres. Por ejemplo: telaraña-dióxido de carbono.

b) ¿Cuál proceso natural toma el dióxido de carbono de la atmósfera?

c) ¿Cómo podríamos seguir usando centrales térmicas sin que se produjera el efecto invernadero?

d) ¿Cómo podríamos aumentar la cantidad de centrales térmicas sin que se produjera ese efecto?

e) En la analogía de las arañas, ¿Había algún proceso en el bosque que eliminara las telarañas?”.

En este momento se pide expresamente que se establezca una relación de analogía entre el fenómeno de gusanos y mariposas en el bosque por un lado, y el efecto invernadero por el otro. Es recién aquí cuando el contenido conceptual de interés para el curso (esto es, el efecto invernadero), puede ligarse explícitamente con estructuras de pensamiento preexistentes en el alumno. Sin embargo estas estructuras fueron generadas en la resolución del ejercicio sobre el bosque. Es decir que hemos establecido las estructuras que necesitábamos como ideas previas para la comprensión del efecto invernadero. Y recién luego de ello, podemos anclar el conocimiento acerca del efecto invernadero a las ideas previas del alumno.

El proceso de aprendizaje parece haber seguido un camino espiralado en el que el estudio del efecto invernadero permite la culminación en la abstracción de la estructura en la que se encontraban los elementos del bosque, para luego aplicar tal estructura a los nuevos elementos del efecto invernadero y lograr la comprensión del fenómeno.⁶

3. La adquisición del conocimiento

Podemos distinguir entre distintos tipos de conocimiento que el estudiante enfrenta durante el proceso de aprendizaje: 1) el conocimiento de entidades (objetos simples o compuestos, cosas perceptibles por los sentidos o inferibles a partir de ciertas pistas: mesas, sillas, moléculas, electrones, etc.); 2) el conocimiento de las propiedades que se presentan en esas entidades (color, fragilidad, textura, densidad, calor específico, conductividad eléctrica, carga eléctrica, etc.); 3) el conocimiento de las relaciones entre entidades (tamaño, dureza, flotabilidad, solubilidad, fuerza eléctrica, etcétera).

Cuando nuestro objeto de estudio es un sistema más o menos complejo de entidades, además de conocer las propiedades de cada parte (entidades que componen el sistema) y las

⁶ Nótese el juego que se encuentra aquí acerca del fenómeno de *après coup* mencionado en la nota anterior. Al estudiar el fenómeno del bosque se establece un marco que condiciona *avant coup* la interpretación del efecto invernadero; luego, al abordar el efecto invernadero se produce una significación *après coup* del fenómeno del bosque que permite terminar de realizar la abstracción; finalmente esta estructura vuelve a producir un efecto de resignificación del efecto invernadero. En este recorrido helicoidal puede identificarse el proceso dialéctico mencionado por Gerardo Arenas (1999).

relaciones entre esas partes, es de mucho interés conocer propiedades del sistema como un todo. Además se nos hace indispensable la comprensión de diferentes procesos que se llevan a cabo en ese sistema como una forma particular de interacción entre las partes.

Por ejemplo, al estudiar la fotosíntesis debemos tener en cuenta ciertas entidades: Sol, planta, dióxido de carbono, agua, etc.; también debemos considerar las partes que componen estas entidades teniendo en cuenta sus propiedades: carbono, hidrógeno, oxígeno, partes de la hoja involucradas en la captación de la energía radiante, etc.; otros aspectos a tener en cuenta son las relaciones entre estas partes: afinidad química entre los elementos, interacción de la radiación con la materia, etc.; y finalmente habría que dar cuenta de un proceso que se lleva a cabo entre todos estos componentes y que llamamos “fotosíntesis”.⁷

Al referirnos a un proceso en donde intervienen partes de un sistema, nos encontramos con dos dificultades que no aparecían en el estudio de las entidades aisladas.

Una de las dificultades es la que se refiere a las propiedades estructurales, es decir aquellas propiedades que se pueden adjudicar al sistema como un todo y en las cuales están involucradas todas sus partes en virtud de algunas de sus propiedades y relaciones. Por ejemplo, al referirnos a la respiración de una planta (proceso totalmente independiente de la fotosíntesis) estamos aludiendo a una propiedad estructural de la planta, una propiedad de la planta como sistema complejo. Del mismo modo, para un ejemplo más simplificado, podemos decir que la fragilidad de un cristal es una propiedad estructural del cristal. No es una propiedad de ninguna de sus partes sino que surge de la organización en que sus partes se articulan para componer el sistema que llamamos “cristal”.

Otra dificultad, al referirnos a procesos que tienen lugar en cierto sistema, es que en la misma noción de proceso está implícito un desarrollo temporal de relaciones entre partes. En nuestro ejemplo de la fotosíntesis, la radiación proveniente del Sol (filtrada por la atmósfera, cabría agregar) incide sobre la hoja de la planta; algún pigmento de la hoja (la clorofila es uno de ellos) absorbe energía de esa radiación; ese pigmento libera energía produciendo calor, fluorescencia o una reacción química (fotosíntesis). Vemos que en la misma descripción, por cierto muy abreviada, hemos introducido un cierto ordenamiento temporal en el que se relatan diferentes interacciones cuya yuxtaposición da lugar al proceso global de la fotosíntesis.

Con respecto a las relaciones estructurales se abre un panorama de discusión bastante interesante y a la vez complejo, como es el problema de si las propiedades estructurales son reducibles a las propiedades de sus partes y las relaciones que se entablan entre ellas. De ser así, se podrían estudiar como se estudia el peso de un sistema: si cada manzana es de 200 gramos y colocamos cinco manzanas en la bolsa, el contenido de la bolsa será de 1 kilogramo. Pero si las propiedades estructurales no son reducibles a propiedades y relaciones de las partes del sistema, deberemos desarrollar un nivel de descripción para el sistema como un todo pero teniendo en cuenta la estructura de ese todo. Es decir que no servirá tener una descripción de la planta como último componente para hablar de la fotosíntesis, ya que debemos tomar la fotosíntesis como propiedad estructural y para eso es preciso también hacer mención de la forma en que se articulan las partes de la planta para dar lugar al proceso de fotosíntesis. Entonces nos vemos obligados a desarrollar una descripción que es diferente a las habituales descripciones de entidades. No podemos dar una descripción en función de sus partes y tampoco podemos dar una descripción como si la planta fuera el objeto último del análisis. Debemos dar una descripción de la planta como sistema no reducible a sus partes pero con propiedades que dependen de su constitución interna.

Con respecto al segundo aspecto, el de la temporalidad de los procesos y su descripción en términos de diferentes interacciones intermedias, surge el problema de que no siempre la temporalidad en la descripción es acompañada de una temporalidad en las interacciones. Por

⁷ La fotosíntesis es un proceso muy interesante por su complejidad. Para una descripción detallada, véase Helen Curtis, y N. Sue Barnes (1995).

ejemplo, en el proceso de fotosíntesis, la incidencia de radiación solar sobre un pigmento y su absorción por parte del pigmento no son interacciones temporalmente distintas. La absorción se da en el mismo instante en que la radiación incide. Algo parecido sucede con la descripción mucho más simple de que cuando el martillo ejerce fuerza sobre el clavo aparece una fuerza de igual intensidad y dirección pero de sentido contrario que el clavo ejerce sobre el martillo. Muchas veces esta descripción ha dado lugar a la equívoca idea de que la acción es previa a la reacción. Para evitar que la descripción sugiera tal idea errónea, los físicos han cambiado la descripción por esta otra: *siempre que un objeto interactúa con otro, las fuerzas aparecen de a pares; a estas fuerzas las llamamos “par de interacción”; una de las fuerzas del par es ejercida por uno de los objetos (martillo) sobre el otro (clavo), mientras que la otra componente del par es ejercida por el otro objeto (clavo) sobre el primero (martillo); además ambos componentes del par tienen la misma intensidad y dirección, mientras que tienen sentido opuesto y diferente punto de aplicación.*

Esta reformulación conlleva un esfuerzo mucho mayor que la descripción original y su implementación requiere un trabajo especial en cuanto a estrategias de enseñanza que no desarrollaremos aquí. Sencillamente mostramos cómo la temporalidad en la descripción podría omitirse dado que no hay ninguna temporalidad en el proceso. Si nuestra descripción relata cierta temporalidad, no vemos por qué el estudiante no adjudicará esta temporalidad a los procesos mismos.

Hay una manera en que la temporalidad en la descripción tiene un justificativo distinto que la temporalidad de las interacciones mismas. Este justificativo parece hallarse en la causalidad. Por ejemplo, la descripción de que la radiación solar incide en el pigmento y *entonces* parte de esta radiación es absorbida, parece justificada por una noción de causalidad que esclarece cuál de los eventos es causa y cuál es efecto. Esta descripción pretende expresar que la incidencia de radiación solar causa que el pigmento absorba energía y que esta relación no es simétrica: la absorción de energía por parte del pigmento no causa la incidencia de radiación solar.

Vemos que en una descripción como la anterior, el término “entonces” no pretende definir una relación temporal sino una causal. Pero lo que vuelve a enturbiar las aguas es que la noción de causalidad está bastante asociada, para casi todas las personas, con la de precedencia temporal. De manera que darle un sesgo causal a la descripción también induce fuertemente el sesgo de la temporalidad.

De este modo, las descripciones de procesos pueden incluir términos que dan cuenta de la temporalidad que efectivamente tiene lugar entre una interacción y otra (entre la absorción de energía por parte del pigmento y la obtención de glucosa como producto de la reacción química hay, de hecho, una diferencia temporal) o también pueden incluir términos que, aun pareciendo temporales, han sido incluidos con la finalidad de resaltar la causalidad entre eventos (como el referido anteriormente entre incidencia y absorción de la radiación). Estos últimos deberían distinguirse de los primeros para evitar que el estudiante ubique eventos simultáneos en instantes diferentes.

Ni siquiera nos hemos ocupado de esclarecer qué cosa es la causalidad. A poco de adentrarnos en esa tarea, muchos más serán los recaudos a tomar al construir descripciones de tales procesos. Valga por ahora la advertencia de que muchos procesos naturales han sido tradicionalmente entendidos como causales en el ámbito de la enseñanza mientras que no son entendidos de este modo en el ámbito de la ciencia. Como ejemplos, tenemos el problema ya mencionado del principio de interacción (anteriormente llamado “principio de acción y reacción”) y, más arraigado todavía (ya que todavía no ha sufrido la metamorfosis lingüística

que evitaría el sesgo causal), en el principio de masa,⁸ donde parece entenderse (erróneamente) que la fuerza es la causa y la aceleración es el efecto de esa causa.

En resumen, podemos decir que la adquisición de conocimientos sobre procesos que pueden entenderse como propiedades estructurales de sistemas complejos, debe ser tratada atendiendo a una serie de consideraciones que la hacen cualitativamente diferente de la adquisición del conocimiento de entidades simples, propiedades y relaciones.

4. ¿Por qué la pinza y no la tenaza?

Tomemos por ejemplo el caso de la propiedad estructural que tiene un puente de hierro de resistir cierto peso debido a la manera en que se han articulado sus partes: cada perfil de hierro es capaz de resistir un peso menor, pero debido a la estructura que se ha conformado, el puente en su conjunto resiste mucho más. Otro ejemplo interesante es el arco romano: la manera en que se colocan las piedras hacen que las fuerzas de compresión se “descarguen” sobre los muros que sostienen el arco, y de este modo se puede seguir edificando por encima de un portal con un margen de seguridad muy alto. Tanto la resistencia del puente como la resistencia del arco romano son propiedades estructurales. Ambas propiedades se detectan como una capacidad de sostener pesos hasta cierto límite. Para probar cuál es el límite de resistencia en ambos casos se puede diseñar un experimento sencillo y las variables que se ponen en juego en este experimento son observables y de fácil medición. Diríamos que la resistencia del puente o del arco romano son características que están dentro del campo de lo concreto, de lo accesible por la experiencia directa, en todo caso pertenecen al ámbito de lo observable.⁹

Volvamos el caso de la fotosíntesis. Aquí la propiedad estructural está un tanto más alejada de lo concreto, ya que diríamos que la fotosíntesis se produce gracias a que las plantas poseen ciertas características que la hacen posible. La característica estructural de la planta que hace posible la fotosíntesis es precisamente la totalidad de interacciones que aparecen en la descripción de la fotosíntesis. Así, proceso y propiedad estructural se acercan tanto como se quiera definiendo la propiedad como la capacidad de realizar ese proceso. De hecho, esto mismo pasa con la resistencia del puente, que es la propiedad por la cual el puente tiene la capacidad de resistir.

Sin embargo, en la fotosíntesis el test es todo el proceso, mientras que en la resistencia del puente el test consiste en hacer siempre la misma medición con pesos mayores. Es decir que medir la característica de que la planta tenga o no la propiedad por la cual se produce la fotosíntesis parece una tarea cualitativamente más compleja. Existen diferentes tipos de interacciones intermedias en el desarrollo del proceso, y nuevamente aparece la temporalidad que en el caso de la resistencia del puente no parece tener relevancia.¹⁰

⁸ Según este principio, todo cuerpo sometido a una fuerza neta, experimenta una aceleración que es proporcional a esa fuerza. Es habitual encontrar una enunciación con mayor connotación causal. Véase, por ejemplo, Paul Hewitt (1995). En la presentación de este principio (pág. 44) encontramos: “Una fuerza *provoca* una aceleración” (el subrayado es nuestro).

⁹ Nos vemos tentados de mencionar aquí que no será tan simple decidir si la propiedad de resistencia del puente o del arco es una propiedad observable, ya que se trata de un término disposicional como la fragilidad. Una propiedad disposicional es aquella que se define en función de cómo reaccionaría el objeto frente a ciertas pruebas. Lo interesante del caso de la resistencia y de la fragilidad es que cuando sabemos exactamente cuál es el valor de esa resistencia, seguramente ya no contamos con el puente o el arco, ya que el test consiste en colocar cada vez más peso hasta ver cuál es el límite a partir del cual se rompe. Entonces, si medimos la resistencia nos quedamos sin puente. Si queremos conservar el puente debemos estimar o calcular la resistencia mediante alguna teoría que articule las demás mediciones con el valor de esa resistencia. De ese modo, no parece que sea una propiedad perteneciente al mundo de lo observable a menos que sea retrospectiva, y en cualquier otro caso ella se obtiene como un resultado proveniente de alguna teoría aplicada a ese tipo de materiales.

¹⁰ No parece que el tiempo que tarda el puente en desplomarse a partir de que depositamos mayor peso que el que resiste sea una característica a tener en cuenta para el valor de la resistencia. Es como si dijéramos que la

El proceso en sí mismo no puede equipararse con una medición más o menos simple de resultados experimentales concretos. Pero todas las interacciones intermedias podrían ponerse a prueba experimentalmente. Si bien es cierto que cada una de las interacciones puede presentar un nivel de representación teórica importante al momento de ponerlas a prueba experimentalmente (piénsese en la manera de poner a prueba la tasa de absorción de energía por parte de un pigmento), igualmente las interacciones aisladas no presentan un proceso novedoso que no esté relacionado con conocimientos relevantes previos.

Lo que queremos mostrar es que cada una de las etapas que completan el proceso de fotosíntesis puede estudiarse separadamente y en ninguna de estas etapas parece imposible conectar los nuevos contenidos conceptuales con conocimientos previos existentes en el estudiante. Podemos relacionar la absorción de energía radiante por parte del pigmento con el efecto del tostado de la piel, en el que un pigmento es capaz de absorber parte de la energía radiante y producir una reacción química cuyo resultado es el cambio de color de la piel. O también con el proceso por el cual la luz que incide en la retina produce cambios químicos que cambian la polarización de la membrana del nervio óptico. O con el proceso por el cual la radiación captada por la piel produce a través del mismo fenómeno una señal sensitiva de calor.

Pero hay veces en que el proceso que deseamos estudiar tiene aspectos que no pueden ser anclados a conocimientos previos, ya sea porque involucran interacciones nuevas, jamás estudiadas, ya sea porque algunas de las partes no son comparables a las entidades previamente conocidas y, por lo tanto, ninguna propiedad estructural similar ha sido estudiada en algún otro sistema anterior.

Más aún, podría darse el caso en que además de que tales interacciones o entidades son nuevas, la característica estructural se ubica en el campo de la comprensión teórica del proceso y no puede accederse a ella mediante una inspección experimental.

Éste es el caso del efecto invernadero.

El efecto invernadero presenta todas las características puntualizadas hasta aquí como obstáculos para su anclaje en conocimientos preexistentes en los estudiantes. Se hace entonces imprescindible un paso intermedio que pudiera ser alcanzado sin necesidad de enfrentar las dificultades mencionadas.

Para ello sugerimos seguir el siguiente procedimiento. Buscar un sistema que cumpla con una propiedad estructural equivalente a la que deseamos estudiar. Para ello deberá encontrarse un sistema que contenga tantos tipos de entidades como las que se encuentran en el sistema a estudiar. Que esas entidades interactúen de un modo análogo al que se da entre las partes que deseamos estudiar, es decir que a cada relación entre las entidades del sistema a estudiar, podamos hacerle corresponder una relación entre las entidades correspondientes del sistema elegido.¹¹

Y, fundamentalmente, que el proceso encontrado en ese sistema análogo sea suficientemente cercano a la experiencia concreta o a los conocimientos previos como para no enfrentar las dificultades del contenido que constituye nuestro verdadero objetivo.¹²

propiedad por la cual un barco flota (el agua que desplaza) depende de cuanto tardaría en hundirse en caso de no flotar.

¹¹ Lo que está en juego aquí es la identidad de estructuras. Es decir que entre los elementos de un primer conjunto y los de un segundo conjunto, y también entre las relaciones que se dan entre los elementos del primero conjunto y las que se dan entre los del segundo, hay una correspondencia biunívoca y esta correspondencia preserva las relaciones. Para una caracterización detallada véase Thomas Moro Simpson (1975), §14. Por otra parte, encontraremos un análisis con mayor énfasis en el proceso de abstracción de la estructura y una discusión sobre la identidad *parcial* de estructuras en Gerardo Arenas (1999).

¹² Esta última característica es mencionada por Timothy J. Newby y Donald Stepich (1987). Para más referencias sobre el uso de las analogías en educación véase María José González Labra (1997).

Es decir que nuestro objetivo intermedio es que los estudiantes comprendan procesos aproximadamente concretos que se dan en sistemas aproximadamente familiares a la experiencia. Este proceso de aprendizaje intermedio generará estructuras de pensamiento nuevas que se agregan al marco general, pero además consistirán en una base de analogía sobre la cual podremos anclar el conocimiento deseado.

En nuestro ejercicio del bosque, la cantidad creciente de telarañas producía una acumulación de mariposas, ya que los gusanos podían salir libremente del bosque pero las mariposas tenían obstaculizada la salida. En el efecto invernadero, la cantidad creciente de dióxido de carbono producía una acumulación de calor, ya que la radiación visible podía salir libremente de la atmósfera pero la radiación infrarroja, no.

Uno de los aspectos más importantes en el análisis y resolución del problema del bosque es que es posible la metamorfosis del gusano en mariposa. Esta metamorfosis tiene un carácter totalmente observable. No hace falta conjeturar este fenómeno sino que puede ser comprendido fácilmente desde el conocimiento previo de los estudiantes. En el efecto invernadero, es de fundamental importancia la “metamorfosis” de la radiación visible en infrarroja, lo cual es un proceso muy alejado del rango de experimentos al que usualmente se puedan referir los conocimientos previos. La comprensión de tal “metamorfosis” requiere de un nivel muy profundo de estudio de las teorías de la interacción entre la radiación y la materia, la estructura del átomo y otras consideraciones igualmente alejadas del conocimiento de objetos concretos.

Lo que se logra con el ejemplo del bosque es que se produzcan estructuras de pensamiento que permitan comprender un proceso temporal complejo (tal como el de la acumulación de mariposas) como resultado de varias etapas en las cuales se dan interacciones concretas y fácilmente comprensibles. Una vez logrado esto, podremos presentar el relato sobre el efecto invernadero. Notoriamente, se producirá una conexión con lo conocido, en este caso el proceso global del bosque, y el fenómeno del efecto invernadero habrá podido ser comprendido sin tener que enfrentar las dificultades propias del conocimiento de entidades y procesos teóricos (en contraposición con entidades y procesos observables).

En otras palabras, cuando los contenidos a estudiar están alejados de la experiencia concreta, ya sea en lo que se refiere a alguna de sus partes o en lo referido a algunas de sus interacciones o procesos intermedios, sugerimos el uso de esta herramienta. No estamos diciendo que ella no podría ser útil en otras ocasiones, ni tampoco que pueda ser utilizada sin más en los casos en que se dan estas características. Por un lado puede aprovecharse esta herramienta en otras ocasiones exitosamente. Por otro lado habrá que tener en cuenta las recomendaciones de la sección siguiente para su implementación. Si bien podríamos adoptar aquí una posición muy conservadora y sugerir solamente que en algunos casos dará resultado y que en otros no, o que podrían darse diferencias en la aplicación y que eso opacaría los resultados, y toda una serie de salvedades que debilitarían las tesis presentadas, preferimos sostener lo que es nuestra convicción: en todos los casos en que se presenten las dificultades mencionadas, la herramienta de la analogía como generadora de ideas previas será exitosa.

5. Cerrando la estrategia

Algunas consideraciones adicionales son importantes en la implementación de esta técnica. Es necesario que los estudiantes exploren la extensión de la analogía. En caso de que la analogía elegida tenga puntos de quiebre, será importante que no reduzcan el proceso estudiado finalmente (efecto invernadero, en nuestro ejemplo) al proceso estudiado en la etapa intermedia del aprendizaje (problema del bosque). De hecho, la ruptura de una analogía es índice de que hay dos estructuras en juego y que una de ellas ha sido aproximada por la otra. Por lo tanto, el límite que marca el final de la analogía también marca el comienzo de la identificación de estructuras realmente nuevas. Por otra parte, si los estudiantes logran

abstraer la estructura de modo tal que encuentran que varios fenómenos son instancias de la misma estructura formal, habrán sin duda obtenido otro tipo de rédito cognitivo.¹³ En este caso no se habrá tomado la analogía solamente como herramienta para la comprensión sino como el camino hacia la abstracción de estructuras formales que sirvan como marco general de reducción de diferentes instancias empíricas.

De hecho, muchas aplicaciones distintas de un mismo tipo de resolución de problemas podrían ser tratadas como una analogía en este sentido. Por ejemplo, la oscilación de un resorte y la de un péndulo con amplitudes pequeñas son dos casos de aplicación de la misma ecuación que se refiere al movimiento oscilatorio armónico. Diremos entonces que son distintas instancias del mismo tipo de proceso. Pero no ha sido esto lo que nos llevó a diseñar un sistema análogo para generar ideas previas. Todo lo contrario. Hemos buscado procesos diferentes regidos por diferentes leyes e incluso provenientes de diferentes disciplinas, pero que presentan un isomorfismo estructural.¹⁴

Es entonces importante preguntarse además en qué puntos se separan ambos problemas.

También será importante tratar con los elementos homólogos de la analogía. ¿En qué sentido la mariposa es homóloga a la radiación infrarroja? ¿Tiene la radiación infrarroja un tiempo de vida como las mariposas? ¿Se puede contabilizar la radiación infrarroja del mismo modo en que contabilizamos las mariposas?

La búsqueda del quiebre de la analogía es un paso importante en la identificación de un proceso realmente nuevo. Si hemos logrado que el problema del bosque facilite la comprensión del efecto invernadero, no habremos terminado de recorrer el camino si los estudiantes no notan la diferencia entre el proceso de metamorfosis de las mariposas y el proceso de absorción y re-emisión en diferente frecuencia por parte del terreno.¹⁵ Así como sostenemos que es exitoso el uso de la analogía, también sostenemos que es indispensable la búsqueda del punto en el que la analogía se pierde. En ese punto un conocimiento nuevo se abre camino haciendo pie en el terreno firme de lo análogo y en sus diferencias.

Es interesante notar un rédito colateral en el uso de las analogías en la manera en que lo hemos planteado. Si pudiéramos abstraer el modelo de interacción entre partes que componen el proceso estudiado, entonces veríamos que el modelo abstracto puede tener dos interpretaciones: una en donde las entidades abstractas del modelo corresponden a bosque, telaraña y mariposa, y en esta interpretación el modelo se transforma en una descripción del proceso que tiene lugar en el bosque; otra interpretación en la que a las entidades abstractas se le asignan los significados de atmósfera, dióxido de carbono y radiación infrarroja. Poner en evidencia esta doble interpretación de un mismo modelo abstracto permite generar en los estudiantes la idea de que se puede tener un conocimiento estructural del proceso y que quizás, con las limitaciones de la analogía, otros procesos naturales estén bastante bien representados utilizando el mismo modelo abstracto.¹⁶ De este modo se entabla un puente entre las ciencias fácticas y las ciencias formales: por un lado a través de la abstracción de relaciones estructurales que están presentes en diferentes sistemas de la naturaleza (ésta es la tarea de axiomatización), y por otro lado mediante la búsqueda de sistemas o procesos que

¹³ Agradezco a Gerardo Arenas el señalarme que éste sería un rédito adicional.

¹⁴ Aquí “isomorfismo” debe entenderse como la misma forma de relación entre variables aun cuando son diferentes los tipos de variables, es decir como identidad de estructuras, tal como lo mencionamos en nota 11. En este sentido decimos que dos correlaciones lineales son isomorfas aun cuando una de ellas se refiera a un proceso biológico y la otra se refiera a un proceso económico.

¹⁵ Recordemos que parte de la radiación visible que llega al terreno es absorbida y re-emitida en forma de radiación infrarroja.

¹⁶ En este punto no se busca el quiebre de la analogía sino que se aprovecha todavía la posibilidad de interpretación múltiple de los términos del modelo abstracto. Por supuesto, encontrar dos interpretaciones para las cuales el modelo resulta explicativo es posible en la medida que la especificación de los términos no es exhaustiva. De otro modo encontraríamos los límites de la analogía.

sean instancias empíricas de tales estructuras abstractas (en este caso el proceso es el de la interpretación y búsqueda de modelos).¹⁷ Esta relación de doble vía será útil en la articulación de la matemática con las disciplinas que, sin ser formales, hacen uso de ella (como es el caso de la economía).

6. Conclusiones

Sostenemos que no todo conocimiento previo es un material apto para la adquisición de nuevos conocimientos. Distinguimos, dentro del cuerpo de conocimiento con que cuenta el estudiante, marcos generales de interpretación, por un lado, y conocimientos de relevancia singular, por el otro.

Los conocimientos de relevancia singular son aquellos que se muestran aptos para ser interrelacionados con los contenidos a adquirir. Por lo tanto, será menester diagnosticar su presencia para detectar la posibilidad del anclaje de los nuevos conocimientos a las ideas previas.

En caso de que no existieran tales conocimientos relevantes, proponemos generarlos como etapa intermedia del aprendizaje.

Para la construcción de tales conocimientos de relevancia singular, será de especial utilidad el uso de analogías. Estas analogías deberán mostrar un isomorfismo estructural pero con la condición de que sus propiedades estructurales y las interacciones entre sus partes sean cognoscitivamente más accesibles. En particular, se preferirán aquellas analogías cuyas propiedades estructurales tengan mayor conexión con la experiencia concreta.

Luego de haber comprendido los procesos involucrados en la analogía, se podrán abordar los temas de difícil acceso y que resultarán de un aspecto totalmente análogo al caso ya estudiado. En ese proceso las dificultades se habrán disuelto y los estudiantes podrán adquirir una comprensión más profunda de los procesos teóricos involucrados.

El proceso de aprendizaje a través de esta herramienta didáctica deberá abarcar un análisis de las diferencias entre el caso concreto que sirvió de base y el contenido teórico cuya dificultad motivó la estrategia. Este estudio de los límites de la analogía asegurará que se distingan como contenidos efectivamente novedosos.

Finalmente, se obtiene una ventaja adicional en lo que respecta a la facilitación de la capacidad de abstracción y el uso de modelos como representación que esclarece la relación entre las ciencias formales y las ciencias fácticas.

¹⁷ Interpretar un sistema axiomático consiste en asignar significado fáctico a los elementos y relaciones mencionadas en sus axiomas. Utilizamos aquí el término “modelo” para designar esa porción del universo fáctico que presenta un isomorfismo con el sistema axiomático, de modo que al ser interpretado se obtiene una teoría para la que no hallamos contraejemplos. Desde un punto de vista más ambicioso, diríamos que es la porción de la naturaleza para la cuál la teoría *no tiene* contraejemplos. Nótese que aquí el término “modelo” no tiene el significado de “abstracción” o “aproximación” que suele dársele en otros contextos.

Referencias

- Arenas, G. (1998) *Estructura lógica de la interpretación*. Atuel-Anáfora. Buenos Aires.
- (1999) “Apología de la analogía” *El Caldero de la Escuela* **73**, Oct. 99, pp 98-106.
- Ausubel, D. (1968) *Educational Psychology. A Cognitive View*. New York. Holt, Reinhart and Winton.
- Curtis, H. y Barnes, N. S. (1995) *Biología*. Editorial Médica Panamericana. Buenos Aires.
- González Labra, M. J. (1997) *Aprendizaje por analogía: Análisis del proceso de Inferencia Analógica para la adquisición de nuevos conocimientos*. Editorial Trotta, Madrid.
- Hewitt, P. (1995) *Física conceptual*. Addison-Wesley Iberoamericana, Wilmington.
- Miguel, H. (1997) *El universo de la física. Un juego de la mente con la naturaleza*. Editorial El Ateneo. Buenos Aires.
- Newby, T. y Stepich, D. (1987): “Learning Abstract Concepts: The Use of Analogies as a Mediational Strategy”, *Jour. of Instructional Development* **10** (2) pp. 20-26.
- Simpson, Th. M. (1975), *Formas lógicas, realidad y significado*. EUDEBA, Buenos Aires.
- Varela Nieto, P., et al. (1993), *Iniciación a la física en el marco de la teoría constructivista*. Ministerio de Educación y Ciencia. Madrid.