

Los fenómenos y sus causas. Una oportunidad para aprender a hacer ciencia y ejercitar la imaginación

Lorenzo Hernández Villalobos

IES Floridablanca, Murcia y Dpto. de Didáctica de la Matemática y de las CC. Experimentales de la Universidad de Almería. bernandezvillalobos@gmail.com

[Recibido en febrero de 2013, aceptado en junio de 2013]

El inicio de una investigación científica puede ser una pregunta enfocada a conocer la causa o causas de un fenómeno, es decir, a explicar el porqué de dicho fenómeno. Estas preguntas suelen ser las más difíciles de responder y es común confundir correlación con causalidad. Este error produce múltiples concepciones alternativas en el alumnado y fomenta numerosas falacias argumentativas que suelen aparecer en los medios de comunicación. El análisis de situaciones causa-efecto puede ser una buena herramienta para poner a prueba las concepciones alternativas, fomentar el sentido crítico del alumnado, dar conocer una faceta del trabajo científico y, a la vez, fomentar el uso de la imaginación. Con esta finalidad, en este artículo, se presenta una serie de actividades para analizar situaciones de causa-efecto y se propone una experiencia cotidiana para trabajar el control de variables.

Palabras clave: causa y efecto; correlación; concepciones alternativas; control de variables; falacias argumentativas.

The cause of phenomena. An opportunity to learn science and exercise the imagination

The beginning of a scientific research can be a question aimed at discovering the cause of a particular phenomenon, i.e., explaining the reason of it. These are often the toughest questions to answer, frequently leading to cases of correlation being mistaken for causation. This error results in students' manifold alternative conceptions and foments numerous logical fallacies that often appear in the media. The analysis of cause-effect situations can be an effective tool in order to test these multiple conceptions, foster critical thinking in students, publicize a facet of scientific work, and at the same time, encourage the use of imagination. With this purpose in mind, this paper presents a series of activities to analyse cause-effect situations and proposes an everyday experience to work on control variables.

Keywords: cause and effect; correlation; alternative conceptions; argumentative fallacies; control variables.

Introducción

En muchas ocasiones la investigación científica surge de una pregunta inicial. Detrás de esta pregunta hay una idea que se puede, o no, abordar científicamente. Por ejemplo, si nos preguntamos *¿qué es la vida?* podemos afrontar la respuesta filosófica o biológicamente.

Hay preguntas enfocadas a mejorar nuestra capacidad de adaptación al entorno, ampliar nuestras posibilidades de acción o de elección (las prácticas). Son preguntas enfocadas a una cierta utilidad: ¿Cómo podemos mejorar el rendimiento de un motor? ¿Cómo podemos reducir la contaminación? Otro tipo de cuestiones están enfocadas a averiguar cómo es el mundo que nos rodea (las descriptivas): ¿Cuál era la disposición de los continentes hace 1000 millones de años? ¿Cuántas estrellas hay en nuestra galaxia? Y un tercer tipo de preguntas, que se encargan de intentar explicar los hechos, es decir, entenderlos. Son las que normalmente empiezan con un *por qué*. ¿Por qué las manzanas caen al suelo y la Luna no cae del cielo? ¿Por qué los nietos se parecen más a los abuelos que a los padres? Estas son las que buscan respuestas explicativas sobre el mundo, son las que buscan las causas de un fenómeno y son, por tanto, las más difíciles de contestar o cambiar la respuesta considerada como correcta. Las respuestas a estas preguntas hacen que razonemos de manera más sencilla y fructífera sobre un

fenómeno. Está en manos de muy pocos científicos indagar y avanzar en la respuesta a este tipo de preguntas y nos conduce a la cuestión de si la ciencia puede explicar los porqués. Según Zamora Bonilla (2013), *“la filosofía de la ciencia considera que un hecho está explicado cuando se ha deducido a partir de leyes científicas (Carl Hempel), cuando se ha ofrecido una descripción apropiada de su historia causal (Wesley Salmon) o cuando se muestra como un caso particular de leyes más generales, que abarcan muchos otros casos en apariencia diferentes (Philip Kitcher). También se considera que algunos hechos- sobre todo en biología- son explicados cuando se pone de manifiesto su función o cuando-en las ciencias humanas-se ponen en conexión con las intenciones o los valores de los agentes implicados”* (p. 50).

Otros autores, como Hull (1959), consideran que la explicación científica revela la conexión entre fenómenos; observa uniformidades, regularidades, donde antes parecía existir cosas únicas e incomprensibles; puede mostrar que el acontecimientos aparentemente diversos son en realidad de la misma clase; puede armarnos para prever o dominar fenómenos de un tipo en virtud de su semejanza con otros de tipo más familiar; pero nunca pretende darnos una razón última de nada.

Así, para explicar por qué ciertas cosas son como son, tenemos que utilizar a modo de premisa en nuestro razonamiento alguna otra descripción. Si queremos explicar por qué las órbitas de los planetas obedecen a las leyes de Kepler, emplearemos como premisa la ley newtoniana que describe cómo se atraen los cuerpos (Zamora Bonilla, 2013). A la vez, la teoría general de la relatividad explica por qué los cuerpos obedecen con gran aproximación la ley de la gravedad. Por cada avance científico llegamos a una nueva pregunta fundamental que no puede ser explicada. Pero el fin de la ciencia no es explicar el universo en su totalidad sino explicarlo cada vez mejor.

Es en la búsqueda de este tipo de respuestas causales donde resulta más sencillo caer en el error de confundir correlación y causalidad y donde surgen gran cantidad de ideas previas sobre el mundo, así como de falacias argumentativa en los medios de comunicación.

Este artículo se centra en casos de causa-efecto para realizar actividades donde el alumnado ejercite la imaginación, pueda distinguir correlación y causalidad y aprenda a controlar variables como medio para conocer la causa de un fenómeno.

La imaginación y la ciencia

“La imaginación es más importante que el conocimiento”.

Albert Einstein

A la hora de enseñar qué es la ciencia y cómo se elabora, resulta necesario hacer hincapié en el papel que juega la imaginación y la creatividad en dicho proceso. Probablemente uno de los aspectos más olvidados en las aulas sea el de la creatividad como elemento imprescindible en la gestación de teorías científicas [...]. ¿No se necesita imaginación para pensar que una fuerza actúe a millones de kilómetros de distancia, para suponer que el tiempo se dilata o para pensar en la singularidad del Big-Bang? (Gómez Crespo et al., 2012). Esto es debido, seguramente, a que la imaginación y creatividad siempre se han relacionado con las artes y las letras donde ambas cualidades son esenciales. En estas ramas, la creación es única e irrepetible: si no hubieran existido Leonardo da Vinci, Picasso, Mozart, Shakespeare o Cervantes, nunca hubiera existido La Gioconda, El Guernica, La Flauta Mágica, Romeo y Julieta o el Quijote. Por el contrario, se suele pensar que la actividad científica consiste en descubrir y explicar lo que ya existe. Los científicos no crean la Tierra esférica, sino que descubren que es así; no crean los electrones, sino que descubren que existen y cómo se comportan. Pero en el hecho científico hay, sin embargo, dos planos: uno es lo descubierto-ya sea un teorema, una ley universal, una galaxia o un elemento químico-, y otro es la forma en que se hace o se justifica

el descubrimiento (Durán, 2010). Antes o después habríamos ingeniado un experimento que demostrara que la Tierra gira, pero quizá no hubiera sido con el sencillo péndulo de Foucault; quizá hubiéramos descubierto la carga del electrón, pero quizá no con el brillante experimento de la gota de aceite de Millikan; o quizá hubiéramos descubierto la ecuación que rige la atracción de los planetas, pero no calculando la caída de la Luna hacia la Tierra. Los científicos descubren el comportamiento y la estructura la naturaleza, pero crean la manera de hacerlo, una manera única, original y genial que es irrepetible. En este sentido, son creadores del mismo modo que los artistas, escritores o músicos y, por tanto, la imaginación juega un papel fundamental en la creación científica. De hecho, la ciencia (física, química, matemáticas...) no es más que una manifestación extraordinaria de la capacidad creativa de la mente humana.

Imaginación para ciudadanos y científicos

La imaginación es importante para nuestra vida (de hecho es una de las cosas que nos diferencian de los animales) ya que nos da la habilidad de pensar en cosas que no están presentes en nuestros sentidos, conjugar concepciones de posibilidades alternativas (y, por tanto, ser capaces de tener empatía), salir de nuestra forma de ver las cosas o revisar el pasado para anticipar el futuro.

Pero también, en toda creación, ya sea científica o artística, la imaginación es la fuente de todo el proceso creativo e innovador. La imaginación, definida por la RAE como *la facilidad para formar nuevas ideas, nuevos proyectos, etc.*, nos lleva a la creatividad, que va un paso más allá, ya que *es el proceso de tener ideas originales que tienen valor*. Una persona puede ser muy imaginativa y nunca inventar nada de valor. Y la creatividad nos lleva a la innovación, que *es poner en práctica las buenas ideas*.

Por tanto, el punto de partida para la innovación (la i de I+D+i) es la imaginación, y de ahí la importancia de fomentarla.

¿Por qué es difícil saber la causa (o causas) de un fenómeno?

“Los hechos pertenecen todos al problema, no a la solución”.

L. Wittgenstein

La ciencia es un intento de explicar los fenómenos naturales (hechos del mundo) y para ello, las distintas ciencias, usan métodos diferentes para construir conocimiento científico. En muchos casos lo que se pretende es identificar la causa o conjunto de causas que explican un fenómeno (Jiménez Aleixandre, 2010), es decir, los *porqués*. ¿Qué causa el cáncer de pulmón? ¿Qué causa que una piedra caiga al suelo? ¿Qué causa que las partículas tengan masa (bosón de Higgs)? ¿Qué causa el movimiento de los continentes? ¿Qué causa la evolución de las especies? ¿Qué puede causar el cambio climático?

El conocer la causa (o causas) de un fenómeno no es nada fácil debido a que los fenómenos en sí mismos son más complejos de lo que parecen. De hecho, no es difícil confundir la causa con el efecto o viceversa (ver [Anexo II](#)). Y son complejos debido a que detrás de cada fenómeno: hay una o varias causas; hay condiciones que lo hacen posible; hay circunstancias concomitantes; hay antecedentes y semejanzas, que no están a primera vista; hay consecuencias y derivaciones, que tampoco están a la vista; etc. Además: un hecho se distingue de otros en tiempo y espacio; puede ser o no de tipo mental, interno o externo a nosotros; puede ser un hecho cultural o artificial o que sea natural; puede ser contingente o que sea obligado o como derivado necesariamente de unos antecedentes; puede ser vital o inorgánico; puede ser social, colectivo, individual o suelto; etc.

Si no es suficiente, los fenómenos no se dan aislados, coexisten con otros fenómenos. Casi podría decirse que no hay ningún hecho en el mundo que sea absolutamente aislado del resto. Es exagerado decir que para conocer un fenómeno habría que conocer todo el resto del universo; sin embargo, sí parece razonable pensar que, al menos, debemos conocer el conjunto de los demás fenómenos circunstanciales, próximos o que mantienen alguna relación de influencia mutua. Por todo esto es fundamental realizar una buena observación para distinguir los caracteres y circunstancias que son significativos de los que no lo son.

Correlación no es causalidad

Por todo esto, no es de extrañar que el ciudadano no especializado en ciencia, o el alumnado de secundaria y bachillerato, caiga en el error, al ver dos fenómenos relacionados (que uno se produce tras otro), de deducir que uno es la causa del otro, llegando incluso a usarlo como falacia argumentativa. Esta habilidad de hacer correlaciones para entender que una cosa lleva a la otra es algo vital para la supervivencia y en nuestra vida cotidiana la usamos continuamente: Si aprietas un botón del mando, cambia el canal. Si plantas una semilla, crece. Si brilla el sol, hace calor, etc. Pero buena parte de las concepciones alternativas se forman, de modo espontáneo, en el intento de dar significado a las actividades cotidianas y se basan esencialmente en el uso de reglas de inferencia causal aplicadas a datos recogidos mediante procesos sensoriales y perceptivos (Pozo y Gómez Crespo, 2009).

El ser humano aprende por correlaciones, pero una correlación no implica una causalidad. En muchos casos, titulares de prensa y estudios científicos presentan equivocadamente las correlaciones como causas.

Por ejemplo, un titular de El País dice “*Los niños que comen más pan son más delgados*” (Girona, 2010) o en BBC Mundo “*La contaminación “sube la presión”*” (AA.VV, 2010).

Así, la interpretación de un estudio, incluso aunque sea serio, debe ser cauta.

Pero podemos entender fácilmente que este razonamiento nos puede llevar a conclusiones absurdas. Por ejemplo, Blastland y Dilnot (2009) plantean la siguiente situación: si estudiamos la relación que existe entre la intensidad de la música que se escucha con el acné podemos deducir que “*La música alta causa acné*” (p.240), siendo la causa la adolescencia y no la música alta. O si hacemos un estudio donde medimos el color amarillo de los dedos con el cáncer de pulmón podemos deducir que como “muchas personas con cáncer de pulmón tienen también manchas amarillas en los dedos [...] las manchas amarillas en los dedos provocan cáncer de pulmón” (Rosenthal, 2005, p. 138). Una situación aún más absurda es pensar que *si el gallo canta antes de salir el sol, el canto del gallo es la causa de que amanezca todos los días*.

Esta premisa (que una correlación no implica una causa) se debe tener en cuenta tanto en cualquier ciencia, para realizar una investigación y obtener conclusiones, como en nuestra vida cotidiana, para defendernos de noticias, titulares de prensa engañosos, dichos cotidianos (te ha dado un corte de digestión porque te has bañado después de comer, por lo que la causa del corte de digestión es el baño) y para no tomar decisiones equivocadas. Pero además, es una buena excusa para practicar la imaginación en el aula proponiendo posibles causas de un fenómeno propuesto. El hecho de imaginar otras posibles causas de un mismo fenómeno nos llevará a dudar de la causa propuesta abriendo el abanico de posibilidades.

Causa y efecto como concepción alternativa y su uso como falacia argumentativa

Según Pozo y Gómez Crespo (2009) nuestro pensamiento causal cotidiano nos conduce a errores o “falsas soluciones”, como muestran las concepciones alternativas presentadas en la Tabla 2, a modo de ejemplo de las reglas asociadas que rigen nuestro pensamiento causal cotidiano.

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.

Pero la relación causa-efecto conlleva un mayor peligro ya que es común encontrarla como falacia argumentativa en los medios de comunicación. Un caso llamativo es la regla contigüidad temporal, que correspondería con la falacia llamada *post hoc*, es decir, si un acontecimiento sucede después de otro, el segundo es consecuencia del primero. Por ejemplo: “Los cines llenan tras el cierre de Megaupload” (Alemany, 2012). O, en el caso de la homeopatía: *me tomo las pastillas homeopáticas y me encuentro mejor, por tanto las pastillas hacen que me sienta mejor*. En estos casos, no se tienen en cuenta las subidas y bajadas aleatorias que se puede producir en la venta de entradas en el cine o la mejoría o empeoramiento de nuestra salud sin que la causa sea las pastillas homeopáticas sino la regresión a la media.

Por tanto, el interés por pensar sobre las causas de un fenómeno es doble: por un lado, evitar las concepciones alternativas y, por otro, estar alerta ante las falacias argumentativas que comúnmente aparecen en los medios de comunicación o en la sociedad en general.

Una propuesta para ejercitar la imaginación a través de casos de causa-efecto

Contextualización

Esta propuesta se presenta para el alumnado de 3º de la ESO durante el desarrollo de la unidad correspondiente al “Método Científico” del currículo de Física y Química.

Objetivos

- Que el alumnado use la imaginación en un aula de ciencia, relacione la necesidad de imaginar con hacer ciencia.
- Que el alumnado imagine posibles causas diferentes a un mismo fenómeno, a través de la propuesta y análisis de casos de causa-efecto.
- Valorar la importancia de controlar variables en ciencia y en la vida cotidiana.

- Fomentar la *otra forma de mirar* de la ciencia que no es la de nuestro sentido común.
- Fomentar el sentido crítico del alumnado ante el mundo que nos rodea y los medios de comunicación.
- Plantear situaciones abiertas, donde no haya una única solución al problema planteado.
- Que el alumnado use el pensamiento científico¹ en situaciones cotidianas (ver [Anexo I](#) para consultar el uso del pensamiento científico para resolver problemas sociales reales).

Procedimiento

En lugar de usar una metodología por transmisión de conocimientos, la actividad se ha llevado a cabo en tres fases donde se ha propuesto al alumnado una serie de actividades para que usen la imaginación.

- Inventar (imaginar) casos de causa-efecto correlacionados cuya conclusión fuera ridícula. Se puede usar como ejemplo el caso de *La música alta causa acné*.

Tabla 2. Ejemplos de causalidad absurda propuestos por el alumnado.

Correlación	Causalidad
Cuando se emiten partidos de fútbol hay mayor mortalidad.	El fútbol es la causa de que mueran más personas.
Las personas que pasan más horas con el ordenador portátil apoyado en las piernas son menos fértiles.	Los portátiles producen infertilidad.
Las mujeres que se maquillan mueren a una edad más temprana.	El maquillaje causa muerte prematura.
Las personas que comen más chocolate tienen mayor índice de alopecia.	Comer chocolate produce alopecia.
El alumnado zurdo tiene un mayor fracaso escolar.	La mano con que un alumno escribe influye en su rendimiento escolar.
Las personas rubias tienen un índice menor en los test de inteligencia.	El color del pelo influye en la inteligencia de una persona.
Las personas que tienen menos vida social obtienen mejores notas.	Las personas son más listas cuanto menos vida social tienen.
Las personas que viven en el centro de la ciudad son más propicias al suicidio.	Vivir en la ciudad aumenta la posibilidad de suicidio.
Las personas que viven más años tienen la línea curva de la mano más larga.	La línea curva de la mano indica los años de vida.
Observar un lápiz durante un tiempo prolongado hace que las personas se duerman.	Los lápices causan sueño.
Las plantas crecen más rápido si se le pone música clásica, mientras que si se les pone música heavy metal disminuye su crecimiento.	El tipo de música influye en el crecimiento de las plantas. Las plantas tienen gusto musical.
Las personas que cuentan ovejas se duermen antes.	Contar ovejas produce sueño.
Las personas que tienen la espalda torcida suelen tener escoliosis.	La espalda torcida produce escoliosis.
Las personas con más índice de masa corporal sacan mejores notas.	La masa corporal influye en las notas académicas.
Las personas que ven la televisión hasta altas horas de la madrugada tienen ojeras.	Ver la televisión provoca ojeras.
Las personas que leen muchos libros tienen mayor peso.	Los libros engordan.

¹ En este contexto se entiende el pensamiento científico como el método por el cual se obtienen explicaciones sistemáticas y controlables, muchas veces en contradicción con las explicaciones cotidianas que la mayoría de las veces están basadas en el sentido común y/o en la experiencia personal.

- Imaginar causas diferentes a las indicadas en las siguientes titulares y estudios:

En esta segunda fase el alumnado debía de imaginar diferentes causas a las indicadas en distintos titulares con el objetivo de pensar sobre causas alternativas que puedan producir un mismo efecto.

Tabla 3. Causas alternativas propuestas por el alumnado para distintos titulares y estudios.

“Un reciente estudio a largo plazo de los estudiantes de medicina de la Universidad de Toronto concluyó que los delegados de clase de la facultad de Medicina vivían una media de 2,4 años menos que otros licenciados de otra facultad” (Rosenthal, 2005, p. 139).
<i>Causa alternativas del alumnado:</i> Puede ser que la persona que se convierte en delegado sea, como término medio, extremadamente trabajadora, seria y ambiciosa. Puede que ese estrés adicional, más que ser delegado, contribuya a una esperanza de vida menor.
“Multitud de estudios actuales señalan que las personas que más televisión ven también tienen, como promedio, una probabilidad mayor de cometer delitos violentos” (Rosenthal, 2005, p. 139); por tanto, la televisión es mala y que vuelve a la gente más violenta.
<i>Causa alternativas del alumnado:</i> puede que las personas que ven más horas la televisión procedan de entornos desfavorecidos y de familias disfuncionales que suelen ver más la televisión porque carecen de dinero para otras diversiones. Depende del tipo de programas que ven en la televisión, no de la televisión en sí.
“Las personas con manos grandes tienen mejor habilidad lectora; por tanto, deberían introducirse ejercicios para fortalecer las manos en los colegios” (Blastland y Dilnot, 2009, p. 242).
<i>Causa alternativas del alumnado:</i> La habilidad lectora puede estar relacionada con la edad, de tal modo que a mayor edad mayor tamaño de la mano.
“Cuanto más hermanos mayores tiene un niño, más tendencia tiene a sacar malas notas en los exámenes escolares. En conclusión, el orden de nacimiento determina la inteligencia” (Blastland y Dilnot, 2009, p. 243).
<i>Causa alternativas del alumnado:</i> Cuanto más hermanos, más personas hay en casa y hay mayor distracción. Los padres no pueden dedicar el mismo tiempo y dinero a un hijo que cuando hay dos o tres.
“Las niñas que estudian en colegios sólo femeninos obtienen mejores notas que las niñas de colegios mixtos; en conclusión, las escuelas segregadas son mejores para las niñas” (Blastland y Dilnot, 2009, p. 243).
<i>Causa alternativas del alumnado:</i> Los colegios femeninos suelen ser colegios privados, más exigentes con sus alumnas. Además, al ser privados, seleccionan al alumnado y los malos estudiantes son expulsados. Suelen ser colegios privados y los padres pagan dinero para que estén sus hijas, por tanto, son padres que les exigen y controlan más a sus hijas.

- Realización del experimento de la “Coca-Cola y los caramelos Mentos²” para controlar variables.

Probar una correlación es relativamente sencillo, pero probar la causalidad es realmente complicado. En ciencia, para probar causalidad se lleva a cabo un estudio sistemático y riguroso de posibles variables que puedan afectar a través de experimentos controlados y estrictos criterios de evaluación. En cambio, en nuestra vida cotidiana reducimos el espacio de búsqueda mediante un atajo cómodo que nos facilite una solución aproximada (Pozo y Gómez Crespo, 2009).

² Mentos es una marca de golosinas fabricada por la empresa italiana Perfetti Van Melle, vendida en varios países. Se venden en paquetes con catorce pastillas. Su nombre se debe a que uno de los primeros sabores fueron de menta.

Existen multitud de experimentos donde poder realizar con el alumnado experimentos controlados. A continuación se describe el experimento de la “Coca-Cola y los Mentos” que tiene un carácter cotidiano y llamativo para el alumnado.

- *Título:* Mentos y Coca-Cola.

- *Objetivo:* Comprobar qué es lo que hace subir a la Coca-Cola.

- *Materiales:* Para realizar nuestro experimento necesitamos Coca-Cola, azúcar, sal, arena y caramelos Mentos.

- *Pregunta planteada:* ¿Qué puede provocar ese surtidor de espuma al poner en contacto los Mentos y la Coca-Cola?

Posibles causas (Eichler, Patrick, Harmon & Coonce, 2007; Tamayo, 2007):

- Uno de los compuestos de los Mentos reacciona con el anhídrido carbónico (CO_2) del agua.
- Hay algún tipo de reacción entre la cubierta exterior de los Mentos y la Coca-Cola.
- La Coca-Cola sale de la botella al añadir los Mentos porque una reacción entre ambos provoca la liberación de gas
- Algo en el recubrimiento de los Mentos provoca una reacción con la Coca-Cola light que libera CO_2 .
- Los ingredientes del recubrimiento de los Mentos reaccionan formando burbujas y aumentando la presión, lo que provoca que la Coca-Cola salga disparada de la botella.
- De alguna manera, los Mentos extraen CO_2 de la Coca-Cola
- La cubierta de los Mentos reacciona con el ácido fosfórico de la Coca-Cola, haciendo que el CO_2 se libere rápidamente.

- *Procedimiento:* Llenamos medio tubo de ensayo con Coca-Cola (se recomienda que esté fría) y luego dejamos caer unos caramelos Mentos. Vemos que inmediatamente el gas escapa del refresco. Se repite el experimento usando la misma cantidad de Coca-Cola pero añadiendo ahora otro compuesto: azúcar, sal o arena. Se observa que se obtiene el mismo resultado por tanto se rechaza la causa de la reacción química, al menos, como la única posible causa ([ver vídeo explicativo](#)).

- *Explicación:* Según Díaz Escalera (2009), la Coca-Cola contiene un gas disuelto: el dióxido de carbono. Para que el gas escape del refresco es necesario que se formen unas burbujas del tamaño adecuado y para formar dichas burbujas es necesario separar las moléculas de agua que están fuertemente unidas. Los caramelos Mentos, el azúcar, la sal y la arena logran separar las moléculas de agua y permiten la formación de las burbujas de gas que escapan del refresco. Se cree que la superficie de los caramelos Mentos (llena de poros) favorece la formación de las burbujas. Otro factor está en la goma arábiga que forma parte de los caramelos y que reduce la tensión superficial del refresco favoreciendo la salida de las burbujas.

Temporalización

Cada actividad se ajusta a una hora, por lo que tres sesiones son suficientes para trabajar estos conceptos.

Evaluación

La evaluación se divide en distintas partes. Una primera parte consiste en realizar la evaluación con las actividades propuestas, de tal modo que podemos valorar el nivel de concreción de las propuestas alternativas de los estudiantes:

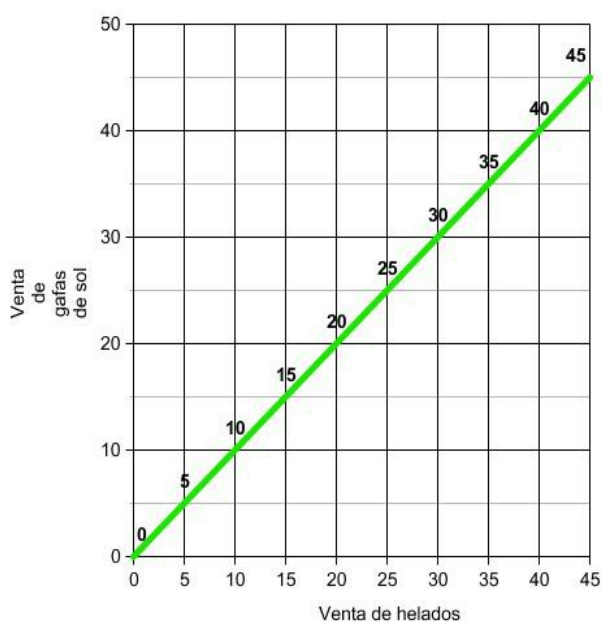
Evaluación parte A: ¿Planeta casos de causa-efecto absurdos o lógicos? ¿Usa variables medibles?

Evaluación parte B: ¿Planeta posibles causas alternativas coherentes o posibles?

Evaluación parte C: ¿Plantea diferentes causas de por qué sube la Coca-Cola al añadir los Mentos?

Para evaluar en el examen las actividades de causa-efecto se puede formular ejercicios como los siguientes:

1. *Iker Jiménez, presentador del programa de misterio Cuarto Milenio, da paso a unas imágenes idílicas del entorno de Chernóbil décadas después del accidente. La flora es exuberante y la fauna de lo más variada y abundante. El presentador, en tono de misterio, planteaba si la radiactividad no tendría efecto beneficioso a largo plazo, porque aquel paraíso no existía ni antes del accidente ni entonces en el resto de Ucrania.*
 - a) Plantea una causa diferente a la que plantea el presentador (la radioactividad) para explicar la aparición de vegetación en la zona.
2. *Observa el siguiente gráfico y responde:*



En el eje “y” se ha representado la *venta de gafas de sol* y en el eje “x” la *venta de helados*. La gráfica refleja una correlación entre ambas variables. Responde:

- a) ¿Se puede deducir que la causa del aumento de la venta de gafas de sol es debido a la venta de helados? ¿Por qué?
- b) Propón una causa alternativa que pueda producir el aumento de las ventas.

En el caso del control de variables se puede plantear la siguiente situación:

3. *En la Eurocopa del 2012 surgió “el debate del 9”. La polémica surgió cuando España ganó 4-0 a Irlanda, jugando con un nueve (Fernando Torres), tras empatar con Italia 1-1, jugando con*

un falso nueve (Cesc Fábregas). Algunos jugadores manifestaron que el césped estaba largo y seco contra Italia y corto y húmedo contra Irlanda, favoreciendo este último el juego de España. Tras estos resultados, algunos periodistas deportivos afirmaron que era mejor jugar con un nueve.

- ¿Es la conclusión de los periodistas rigurosa? Argumenta si la conclusión del periodista es correcta.

Relación del estudio causa-efecto y el control de variables con el currículo de 3º de ESO

El estudio de las causas que conllevan efecto, proponiendo actividades donde el alumnado tenga que usar la imaginación y controlar variables, está relacionado con los siguientes objetivos y competencias:

Objetivos de la etapa:

- Desarrollar destrezas básicas en la utilización de las fuentes de información para, con sentido crítico, adquirir nuevos conocimientos, así como una preparación básica en el campo de las tecnologías, especialmente las de la información y la comunicación. (Real Decreto 1631/2006)

Objetivos Generales del Área de Ciencias de la Naturaleza:

- Comprender la importancia de utilizar los conocimientos de las ciencias de la naturaleza para satisfacer las necesidades humanas y participar en la necesaria toma de decisiones en torno a problemas locales y globales a los que nos enfrentamos.
- Aplicar, en la resolución de problemas, estrategias coherentes con los procedimientos de las ciencias, tales como la discusión del interés de los problemas planteados, la formulación de hipótesis, la elaboración de estrategias de resolución y de diseños experimentales, el análisis de resultados, la consideración de aplicaciones y repercusiones del estudio realizado y la búsqueda de coherencia global.
- Obtener información sobre temas científicos, utilizando distintas fuentes, incluidas las tecnologías de la información y comunicación, y emplearla, valorando su contenido, para fundamentar y orientar trabajos científicos.
- Adoptar actitudes críticas fundamentadas en el conocimiento para analizar, individualmente o en grupo, cuestiones científicas y tecnológicas.
- Comprender y utilizar las estrategias y los conceptos básicos de las ciencias de la naturaleza para interpretar los fenómenos naturales, así como para analizar y valorar las repercusiones de desarrollos tecnocientíficos y sus aplicaciones.

Objetivos de Física y Química para 3º de la ESO.

- 1) Observar analíticamente el entorno y describir científicamente los hechos observados.

Competencias:

Este tipo de actividades también contribuyen a desarrollar distintas competencias básicas.

Competencia en el conocimiento y la interacción con el mundo físico. Es la competencia más directamente relacionada con la actividad ya que nos permite entender cómo avanza la ciencia y justificar los procesos naturales.

Competencia social y ciudadana. La ciencia tiene un papel importante para preparar a futuros ciudadanos que, probablemente, tengan que tomar decisiones que afecten a otros. La

alfabetización científica permite juzgar, con cierto conocimiento, las implicaciones que pueden tener nuestras actuaciones. El estudio de casos de causa-efecto fomenta la toma de decisiones teniendo en cuenta distintos puntos de vista.

Competencia para aprender a aprender. El aprendizaje sobre la forma de trabajar en la ciencia es una magnífica herramienta para ayudar a adquirir esta competencia.

Autonomía e iniciativa personal. La realización de la actividad pone el énfasis en la adquisición de un espíritu libre y crítico.

Problemas detectados en el aula

Al realizar la propuesta de estas actividades, en algunas ocasiones, se observa que para algunos alumnos resulta más difícil hacer una correlación absurda que una lógica. Por ejemplo, un alumno relaciona *fumar con el color de los dientes*, siendo esta correlación bastante lógica ya que gran parte de las personas fumadoras suelen tener los dientes amarillentos.

Otra dificultad encontrada es que, en ocasiones, el alumnado propone parámetros que no varían. Por ejemplo, un alumno propone *el estudio del nivel de caligrafía y la profesión médica*, pudiendo llegar a la conclusión de que los médicos no escriben bien.

Otra situación común es cuando el alumnado plantea variables que no se pueden medir objetivamente como, por ejemplo, la belleza.

A la hora de realizar la actividad se considera recomendable resaltar estos aspectos:

- 1) Hay que hacer hincapié, en la actividad A, que deben ser dos variables correlacionadas pero que la conclusión sea absurda, no lógica.
- 2) Las variables deben ser medibles y, por supuesto, tienen que variar.

Conclusiones

Tras la realización de las actividades y el posterior examen realizado a 58 alumnos, donde se propuso el *ejercicio 1*, un 70.7% del alumnado propuso una causa alternativa, dando casi siempre la causa alternativa más obvia: *“Después del accidente, al quedar la región deshabitada, la vegetación y la fauna pudieron crecer sin la influencia del ser humano”*.

El otro 29.3% no realizó correctamente el ejercicio por varios motivos: O usó la propia radioactividad como causa: *“La radiactividad hizo que lloviera mucho y así las tierras empezaran a ser más fértiles y crecieron plantas y los animales empezaron a poblar la zona”*; o contestó algo absurdo: *“Después del accidente llovía y pudieron crecer las plantas y animales”*, dando a entender que antes del accidente no llovía en la zona.

Lo más interesante de la realización de dichas actividades abiertas es que el alumnado, al imaginar causas distintas, es consciente de que existen varias respuestas correctas para un mismo problema, por lo que, si queremos descubrir la causa de un fenómeno, resulta necesario recopilar todas aquellas causas que lo produzcan y evaluarlas. El modo de la evaluación de las posibles causas resulta esencial ya que de ella se tomarán decisiones científicas, sociales o cotidianas, que influirán en nuestras vidas. Desde este punto de vista, se fomenta el sentido crítico propio de la ciencia.

Referencias bibliográficas

- AA.VV. (2010, 18 de mayo). La contaminación “sube la presión”. *BBC Mundo*. [En línea]
- Alemany, L. (2012, 24 de enero). Los cines llenan tras el cierre de Megaupload. *ElMundo.es*. [En línea]
- Blastland, M. y Dilnot, A (2009). *El tigre que no está. Un paseo por la jungla de la estadística*. Madrid: Turner Noema.
- Díaz Escalera, M. (2009, 21 de octubre). El secreto de los caramelos Mentos. [En línea] <http://fq-experimentos.blogspot.com.es/2009/10/el-secreto-de-los-caramelos-mentos.html>
- Durán, A.J. (2010). *La poesía de los números. El rol de la belleza en matemáticas*. España: RBA.
- Eichler, J. F., Patrick, H., Harmon, B., & Coonce, J. (2007). Mentos and the scientific method: A sweet combination. *Journal of Chemical Education*, 84 (7), 1120-1123.
- Estupinyá, P. (2010). *El ladrón de cerebros. Compartiendo el conocimiento científico de las mentes más brillantes* (3rd ed.). España: Debate. 2011.
- Gómez Crespo, M.A., Martín Díaz, M.J. y Gutiérrez Julián, M. (2012). El papel de la imaginación y la creatividad en la construcción del conocimiento científico. *Alambique*, 72, 20-27.
- Girona, C. (2010, 17 mayo). Los niños que comen más pan son más delgados. *El País*. [En línea]
- Hull L.W.H. (1959). *Historia y filosofía de la ciencia* (1ª ed. en español). España: Crítica S.L. 2011.
- Jiménez-Aleixandre, M.P. (2010). *10 ideas clave. Competencias en argumentación y uso de pruebas*. Barcelona: Graó.
- Lavista Ferres, J.M. (2010). Experimentar para probar ideas. Conferencia TEDx. Rosario (Argentina). [En línea]
- Pozo, J. I. y Gómez Crespo M.A. (2009). *Aprender y enseñar ciencia. Del conocimiento cotidiano al conocimiento científico*. Madrid: Morata. Sexta edición.
- Real Decreto 1631/2006, de 29 de diciembre, por el que se establecen las enseñanzas mínimas correspondientes a la Educación Secundaria Obligatoria. BOE núm. 5 (2006).
- Rosenthal, J. S. (2005). *A cara o cruz. El sorprendente mundo de las probabilidades*. Barcelona: Metatemas. TusQuets editores. 2011.
- Tamayo, R. (2007, 26 de junio). Mentos, CocaCola y el método científico. Descargado de <http://curiosoperoinutil.com/2007/06/26/mentos-cocacola-y-metodo-cientifico/>
- Zamora Bonilla, J. (2013). *¿Puede La ciencia explicarlo todo?* Investigación y Ciencia (436), 50.

Anexo I: Ejemplos para evidenciar como la ciencia se usa para resolver problemas sociales reales.

Es importante, a la hora de enseñar ciencia al alumnado, transmitir la idea de que el pensamiento científico no es sólo útil para hacer ciencia sino que nos sirve para resolver problemas en nuestra vida cotidiana, laboral y/o social y ser críticos ante la realidad que se nos presenta en los medios de comunicación. Para ello, resulta útil ilustrar algunos ejemplos reales donde se usó la investigación científica para resolver problemas sociales.

Ejemplos llamativos del uso del pensamiento científico en casos reales³:

1. “El caso de Amazon y la página del carrito de la compra”. (Lavista Ferres, 2010).
En el año 2000 un empleado de Amazon tuvo la siguiente idea: propuso que en la página del “carrito de compras” hacer recomendaciones relacionadas con el producto que se había comprado. Esto podía tener el inconveniente de que cualquier distracción que se le presentara al usuario podría hacer que dejara de comprar el producto. El vicepresidente de márketing de la empresa ordenó frenar el proyecto pero Amazon lo que hizo fue probar si la idea era buena o no, realizando un experimento. La idea resultó ser tan buena que cada día que no implementaba esta idea perdía millones de dólares por año.
2. “¿Tiene razón Benedicto XVI cuando dice que la distribución de preservativos agrava el problema del SIDA?” Estupinyá (2010).
Se comprobó si lo que dijo el Papa es cierto realizando un estudio randomizado. En 2006 Esther Dunflo publicó los resultados de un estudio financiado por el Banco Mundial para analizar la conducta sexual de los adolescentes de Kenia, y justo enero de 2009 Pascaline Dupas había presentado una ampliación. La cuestión es la siguiente: ¿Cuál es la mejor estrategia para que el SIDA se contagie lo menos posible: la abstinencia, como difunde el programa educativo diseñado por el gobierno keniano, o educar en la prevención usando el preservativo? ¿Cómo saberlo? Según Estupinyá (2010) se realizó el siguiente experimento: <i>Se seleccionaron 328 escolares con un total de 70000 adolescentes, las dividieron en grupos de condiciones similares, y a cada uno de ellos aplicaron diferentes intervenciones. Al cabo de dos años contabilizaron el número de embarazos, que en tales edades es un buen indicador del sexo inseguro.</i> <i>“En un grupo de escuelas se entrenó a los maestros para enseñar sólo el programa oficial del gobierno, en otras se debatía abiertamente sobre el uso de los condones, y en otro tomaban medidas para que los adolescentes permanecieran más tiempo en la escuela. En la ampliación del estudio hecha por Dupas también se informaba a las estudiantes de que los hombres de edad avanzada tenían índices de sida mucho mayores (...). También se hicieron test antes y después del estudio para conocer cómo se había modificado la conducta sexual de los adolescentes.</i> <i>De los estudios de Dunflo y Dupas surgieron una serie de conclusiones: seguir el programa oficial centrado en la abstinencia no disminuía el número de embarazos. Informar sobre el riesgo de mantener relaciones con personas mayores hacía que las niñas modificaran la edad de sus parejas. Informar sobre el uso de preservativos fomentaba el uso sin aumentar el número de relaciones sexuales. Y mantener a las niñas en la escuela también lograba disminuir el número de embarazos.</i> <i>En concreto, en el estudio de Dupas se observó que la estrategia de gobierno de “eliminar el riesgo” no era efectiva, mientras que la campaña ampliada que proponía “reducir el riesgo” logró aumentar el uso de preservativos sin incrementar el número total de relaciones sexuales. Y, como consecuencia, redujo en un 28 por ciento el número de embarazos entre las adolescentes, el parámetro utilizado como referencia de sexo inseguro.</i> <i>Por tanto, estos estudios científicos (...) contradicen claramente las palabras de Benedicto XVI. Fomentar el uso de preservativos sí tiene resultados positivos en la lucha contra el sida”. (pp. 424-425).</i>
3. ¿Cómo se puede mejorar la educación en países en vías de desarrollo? Estupinyá (2010).
Pueden haber varias opciones:  Dar libros.  Más profesores.  Dar comida gratis a los alumnos que acudan a clase.

³ Ejemplos extraídos de “El ladrón de cerebros. Compartiendo el conocimiento científico de las mentes más brillantes”. Peré Estupinyá. Ed. Debate. 3ª edición. 2011.

🐞 Regalar uniformes.

🐞 Desparasitar a los niños regularmente.

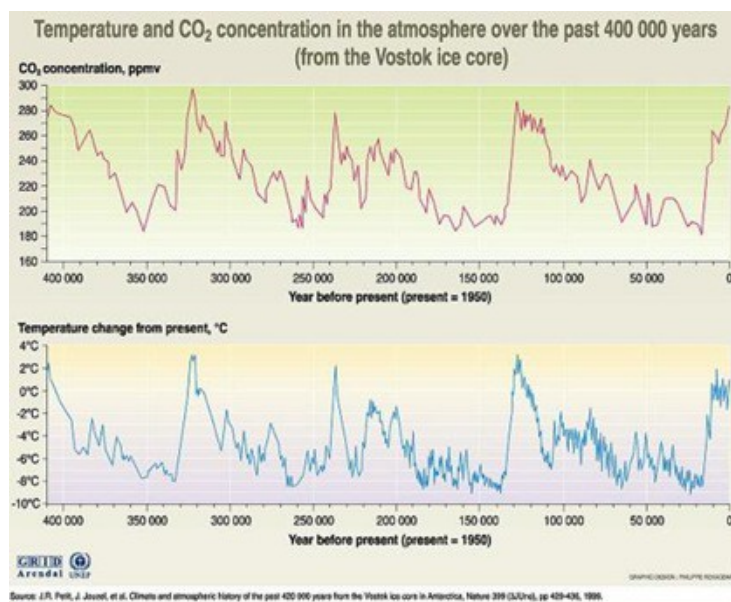
Una serie de estudios realizados por el Poverty Action Lab del Departamento de Economía del MIT, en Kenia y en la India concluyeron que los libros que estaba suministrando una ONG causaba un ligero impacto sólo en el 5 % de los niños. El profesor adicional era una medida un poco más efectiva, peor con diferencia la más cara. Regalar uniformes el inicio del curso aumentaba la escolarización en un 15 %. Las escuelas que servían desayunos gratuitos reducían el absentismo en un 30%. Pero los resultados más notorios los obtuvo el programa de desparasitamiento. Además de ser la acción más barata, los niños sin gusanos intestinales perdían menos días de clase y tenían un rendimiento escolar muchísimo mejor.

De estos tres ejemplos podemos deducir que lo importante no es la idea, siempre habrá argumentos muy buenos a favor y en contra. Lo importante es experimentar para comprobar si funciona o no. Si queremos innovar, tenemos que ver qué ideas funcionan y qué ideas no y la forma de hacerlo es probar causalidad con experimentos controlados.

Anexo II. Cuando la causa se confunde con el efecto. El caso llamativo de Al Gore.

Para hacer hincapié en la dificultad de conocer la causa de un fenómeno se puede comentar el caso de llamativo (por su repercusión social y relevancia científica) de Al Gore y su defensa del cambio climático. Esto es útil para enseñar que incluso a veces se puede confundir la causa con el efecto y viceversa.

Figura 1. Representación de la concentración de CO₂ y la temperatura atmosférica durante 400 000 años. Gráfica similar a la usada por Al Gore en sus conferencias.



El gráfico refleja la proporción de CO₂ en la atmósfera y la temperatura de ésta en promedio en un estudio paleoclimático, a lo largo de milenios. Se ha realizado estudiando fundamentalmente la composición del aire atrapado en las burbujas de hielo polar de muestras tomadas de distintas profundidades, lo cual está relacionado estrechamente con la época en que se produjo la precipitación de nieve. Hay un paralelismo, una correlación, evidente de las líneas de la temperatura y la cantidad de CO₂, aunque la relación causa-efecto que sugiere Al Gore no lo es. Al Gore, usando este gráfico explica que la causa del calentamiento y las glaciaciones está en la cantidad presente en el aire del principal gas de efecto invernadero. Seguramente es al revés, es decir, que la cantidad de CO₂ en la atmósfera es una consecuencia de su temperatura. Cuanto más caliente estén los océanos menos CO₂ se disuelve en ellos. Imaginemos que el planeta se enfría. El agua disuelve más dióxido de carbono, el cual disminuye en la atmósfera. Esa agua fría se hunde y la más profunda emerge en un ciclo que dura casi un milenio. La cálida que llega a la superficie emite parte de sí dióxido de carbono a la atmósfera. En la gráfica, un milenio de diferencia no se aprecia fácilmente. La correlación, pues, no es nada obvia. La cantidad de CO₂ en la atmósfera es el hecho, el efecto o la consecuencia, y no la causa de los cambios de temperatura⁴.

⁴ Con esta descripción no se quiere restar importancia al problema del cambio climático y la contaminación.