

Redefinición del «método científico»

Traducción de Nicole A. O'Dwyer del artículo de Kelly R. Spiece y Joseph Colosi «*Redefining the Scientific Method?*», *The American Biology Teacher*, Vol: 62, N° 1, Enero 2000.

¿Qué deberíamos enseñar sobre el proceso de la ciencia en los cursos de introducción a la ciencia? El «método científico» es uno de los temas que primero se trata. Los alumnos consideran que los pasos simples de observación, hipótesis, predicción y experimentación son fáciles de comprender, y los profesores los consideran fáciles de comunicar. Nuestro estudio sobre quince libros de introducción a la biología publicados desde 1994 descubrió que estos pasos simplificados del método científico están cubiertos de manera universal (Cuadro 1). La evolución de la hipótesis a la teoría también está cubierta en trece de los libros.

No obstante, esta versión de la ciencia fácil y simplificada ya no alcanza en el mundo científico complejo de hoy. Sólo un número reducido de libros trata los aspectos políticos y sociales de la ciencia que son más abstractos y complicados. Sólo cinco de los libros consideran el rol que tiene la sociedad en la ciencia, tres consideran los límites reales del conocimiento científico, tres admiten que los científicos interpretan la información de manera

diferente y sólo tres libros tienen en cuenta el azar como factor que influye la investigación científica. Sólo un libro (Mix et al., 1996) reconoce que hay más de un método habitual para la investigación científica. A raíz de las opiniones demasiado simplistas que se presentan en la mayoría de los libros de texto, hoy, algunos alumnos malinterpretan lo que la ciencia realmente supone. En un estudio reciente que realizamos sobre alumnos de la universidad, en relación al método científico, un estudiante de primer año respondió, —*se deben seguir los pasos en orden y no se puede evitar ninguno de ellos*—...

La '*vieja postura respetuosa*' supone que la ciencia es superior en conocimiento por sus métodos completamente objetivos y racionales (Haack, 1996a). Sostiene que los científicos observan de manera objetiva y acumulan datos verdaderos, lo cual resulta en el progreso hacia los descubrimientos científicos. Esta manera de comprender la ciencia se presenta en la mayoría de los libros de introducción a la biología.

| Autor | Nº pág. sobre el método científico | Método científico (1) | Inducción deducción | La ciencia modifica modelos | La sociedad y la sociología de la ciencia afectan el progreso científico | Es posible obtener conclusiones distintas a partir de los mismos resultados | El conocimiento científico tiene límites | El azar está involucrado en lo observado y en la formulación de hipótesis | La observación puede inducir al error |
|---------------|------------------------------------|-----------------------|---------------------|-----------------------------|--|---|--|---|---------------------------------------|
| Arms 1994 | 4 | X | | | | X | | | |
| Audesirk 2000 | 4 | X ² | | | | | | X | |
| Blamire 1994 | 11 | X | X | X | | | | X | X |
| Enger 1997 | 8 | X ² | | | | | X | | |
| Ferl 1996 | 8 | X | X | | | X | | | |
| Krogh 2000 | 9 | X ² | | | X | | | | |
| Levine 1994 | 12 | X ³ | X | | X | | | | |
| McFadden 1995 | 6 | X | | X | X | | X | X | |
| Mix 1996 | 7 | X ⁴ | | | X | | | | |
| Campbell 1996 | 6 | X ³ | X | | | | | | |
| Madder 1996 | 6 | X ² | X | X | | | | | |
| Raven 1999 | 4 | X | X | X | | | | | |
| Solomon 1995 | 10 | X | | X | X | X | | | X |
| Starr 2000 | 5 | x | x | x | | | x | x | |
| Wallace 1996 | 4 | x | x | | | | | | |

Cuadro 1: Estudio sobre el tratamiento del método científico en 13 libros de introducción a la biología. (1) Método científico: los libros de texto incluyen los tres siguientes conceptos: El método científico consta de: observación-hipótesis-predicción-experimento. Los controles son esenciales en los experimentos. El conocimiento científico progresa de hipótesis-teoría-ley. (2). No se menciona la «predicción». (3). La evolución: no se menciona de hipótesis-teoría. (4). No se mencionan los «controles».

Por otro lado, los “nuevos filósofos cínicos” aseguran que la ciencia nunca funciona de la manera simple en que la describen la vieja postura respetuosa y los libros de texto (Haack, 1996a, b). Los filósofos y los sociólogos de la ciencia la estudian como un fenómeno cultural y político. Creen que la ciencia no progresa de manera tan lógica y ordenada. Algunos de los nuevos cínicos, especialmente en la escuela de sociología de Edimburgo, aseguran que la ciencia es sólo una construcción social que no “se aferra realmente a la realidad” (Gottfried & Wilson, 1997).

Los filósofos cínicos de la ciencia tienen algunos argumentos válidos. Gottfried y Wilson (1997), dos destacados físicos que trataron el tema en un artículo reciente, están de acuerdo. Dicen que el filósofo Thomas Kuhn demostró que los factores sociológicos son importantes en el desarrollo de la ciencia. La investigación científica, «la ciencia como práctica», está en realidad arraigada en lo social y se beneficiaría del análisis crítico, comentan Gottfried y Wilson. No obstante, los autores deben defender a la ciencia de los análisis presentados por los sociólogos extremistas como son aquellos de la escuela de Edimburgo, porque se exceden cuando alegan que el conocimiento científico es completamente caótico y se construye socialmente. Gottfried y Wilson sostienen que el «poder de predicción” de la teoría científica es una evidencia sólida de que las ciencias naturales captan realmente la realidad.

El gran problema es la naturaleza radical de cada posición. Los viejos respetuosos dicen que la ciencia **siempre** produce verdades mientras que los nuevos cínicos afirman que la ciencia **nunca** lo hace. En la búsqueda de la verdad, ¿dónde queda la realidad? Haack lo describe de la mejor manera al decir que la ciencia en realidad no está tan regulada como afirman los viejos respetuosos ni tampoco es tan anárquica como aseguran los nuevos cínicos (Haack, 1996a, b). Los alumnos necesitan comprender este debate mejor para que, como adultos, no acepten las cosas con demasiada facilidad ni se conviertan demasiado críticos de los resultados científicos.

Nuestra principal preocupación es que la subjetividad de la ciencia, la política humana y las influencias culturales involucradas, y los

elementos de azar y perspicacia son partes integrales de la ciencia que la mayoría de los libros de texto ignora (Yearly, 1994). Hay, por cierto, algo distintivo sobre la investigación en las ciencias, pero el «método científico» aceptado históricamente no es una manera completamente objetiva de descubrir la verdad. Los estudios de casos prácticos específicos sobre trabajos científicos que se encuentran en desarrollo, como la reciente polémica sobre la vida en Marte, brindan la explicación más útil de la ciencia en acción. Aún los ejemplos de investigación en otros campos pueden ayudar en la enseñanza de la investigación científica. Sugerimos que se utilicen ejemplos como las investigaciones sobre el choque del vuelo 800 de TWA o el choque más reciente del vuelo 990 de Egyptaire. Tratar estos ejemplos de la vida cotidiana permite que se comprenda la investigación científica en el aula de manera más cierta, efectiva e interesante.

La importancia de la ciencia en nuestra sociedad

La ciencia y la tecnología tienen hoy un papel importante en nuestra sociedad por estar involucradas en cuestiones de poder militar, fortaleza económica, y salud y bienestar. Gran parte del dinero federal se destina a proyectos relacionados con la tecnología militar, y la ciencia tiene un papel importante en el aumento de la productividad del país. Las compañías de los Estados Unidos que tienen mejores ventas están relacionadas con la ciencia y la tecnología (McGinn, 1991). Además, la salud y el bienestar, y la calidad de vida se han convertido en asuntos muy importantes. El progreso en el diagnóstico, las cirugías y las vacunas se vuelven posibles y se realizan a pasos agigantados en la tecnología médica (McGinn, 1991). Ya que los asuntos sociales que rodean la financiación y la ética de esta tecnología abundan, el público debería saber cómo funciona la ciencia.

Lamentablemente, y a pesar de la importancia de la ciencia y la tecnología, no hay interés público por la evaluación tecnológica y la financiación de investigaciones científicas (Yearly, 1994). A menudo, este vacío se produce porque el público aún no está informado sobre la investigación científica. La ciencia y la tecnología se han convertido en elementos integrales de nuestras vidas, y es por eso que todos necesitan comprender el

«Los viejos respetuosos dicen que la ciencia siempre produce verdades mientras que los nuevos cínicos afirman que la ciencia nunca lo hace»

procedimiento de la ciencia y su relación con la sociedad. Los ciudadanos necesitan adoptar un papel activo en la evaluación de la tecnología.

La falta de interés en la ciencia y la tecnología se puede tratar a través de la educación. Los profesores no sólo deberían brindar una visión general del papel dinámico que tiene la ciencia en nuestra sociedad sino también una interpretación exhaustiva de su procedimiento a través de ejemplos de la vida cotidiana. Un comienzo prudente sería el enfoque honesto en la enseñanza del método científico, que es un laberinto, para especializaciones relacionadas con la ciencia o no.

Crear, modificar y recrear

Los alumnos deben llegar a comprender que la ciencia no es simplemente un ejercicio que se realiza en el laboratorio. Es un procedimiento cíclico y humano en el que se crea, modifica y recrea modelos. Los modelos son representaciones físicas, verbales o matemáticas de nuestra interpretación de los fenómenos físicos. El trabajo científico siempre se basa en modelos e, irónicamente, el concepto de los modelos a menudo se olvida cuando se enseñan las características de la investigación científica. Un modelo puede ser simple y específico, como el modelo del funcionamiento de los nervios. Otros modelos son amplios y complejos, y tienen submodelos más pequeños, como el modelo del cuerpo humano. Éste incluye submodelos como las estructuras de los órganos, los tejidos y las células, y procesos como el funcionamiento de los nervios y la respiración celular.

Los modelos en realidad se extienden más allá de la ciencia a todas las áreas de actividad humana. Cada uno de nosotros tiene miles de modelos en la mente, pero debemos comprender que el modelo de una persona puede diferenciarse drásticamente del modelo de otra. Por ejemplo, cada uno de nosotros tiene su propio modelo de familia. El modelo común incluye una madre, un padre y los niños. Sin embargo, otros modelos pueden incluir sólo un padre o dos madres. En ciertas ocasiones, la abuela es la que se ocupa de los niños. Asimismo, el concepto de cada persona sobre la manera en que funciona una familia es único. Algunas familias avanzan en silencio y otras discuten sin cesar. Como se ve en este ejemplo de la vida cotidiana, nuestros modelos no sólo se basan en el criterio racional sino también en nuestra propia perspicacia y en las creencias

humanas. Aunque hay un acuerdo básico sobre la naturaleza y funciones de la familia, el modelo de cada persona depende de su experiencia y sus conocimientos.

Los modelos en la ciencia tienen una influencia similar no sólo de la verdad aceptada por la mayoría, sino también de la experiencia con la que cuenta cada científico. Por ejemplo, en la búsqueda de la estructura del ADN, James Watson y Francis Crick observaron la estructura del ADN desde perspectivas completamente diferentes a la adoptada por Rosalind Franklin. Watson y Crick confiaron mucho en una técnica con la que se crean modelos físicos de las estructuras propuestas. Utilizaron este método porque estaban impresionados por Linus Pauling, quien había ganado el Premio Nobel recientemente por su creación de modelos físicos. Por otro lado, Franklin intentó reconocer la estructura con la ayuda de información proveniente de la cristalografía de los rayos X solamente, porque no les daba valor a los modelos físicos como herramienta. Watson explica los diferentes enfoques en su clásico informe, *La doble hélice*:

«No había tenido la ventaja de una educación estricta como la de Cambridge y fue tan imprudente que le dio un uso incorrecto a su situación. Era realmente obvio para ella que la única manera de establecer la estructura del ADN era a través de los enfoques meramente cristalográficos. Como no le llamaba la atención construir modelos, en ningún momento mencionó el triunfo de Pauling en cuanto a la hélice alfa. La idea de utilizar modelos tipo juguetes didácticos para resolver estructuras biológicas era evidentemente el último recurso (Stent, 1980).»

Los modelos se crean y modifican de diversas maneras: algunos por deducción, otros a través del trabajo implacable y algunos simplemente por casualidad. En general, hay un método de investigación que los científicos realizan para obtener información sobre el modelo o modelos que están investigando. La mayoría lo conocen como «método científico». No obstante, con frecuencia se simplifica demasiado este método y se le otorga excesiva prioridad al enseñar ciencia. La versión que se presenta aquí es más compleja, lo cual permite divergir de un grupo de reglas específicas.

En el procedimiento científico, la observación de los fenómenos es generalmente el primer paso para un científico. Éstas normalmente llevan por inducción a una hipótesis o una estimación bien fundada que explica el

fenómeno que se está investigando. Las predicciones que se realizan para probar la hipótesis se pueden crear por deducción, y los experimentos se diseñan para probar las predicciones. Al finalizar, los resultados de los experimentos se comparan con la hipótesis para ver si ambos son coherentes. De ser así, la hipótesis se convierte en un modelo de trabajo para las futuras pruebas.

No obstante, esta secuencia no es una poción mágica. Sólo algunos de los descubrimientos científicos se obtienen con este método de investigación. Seguir estos pasos en orden no garantiza la obtención de resultados verdaderos (Haack, 1996a, b, c). Alexander Fleming descubrió la penicilina por accidente. No estaba utilizando el «método científico» para desarrollar un modelo o probar una predicción. Simplemente observó un patrón de crecimiento inesperado al transportar una placa contaminada a la basura. El proceso para lograr un descubrimiento científico es complejo. Los caminos que se siguen para crear, modificar y recrear modelos son muchos y únicos según la cantidad de científicos que los trabajan y los métodos que utilizan.

La investigación científica se compara con el proceso de completar un crucigrama (Haack, 1996a, b). Consiste en verificar y valorar las pistas (evidencia), y completar los espacios en blanco, algunos con tinta y otros con lápiz. La viabilidad de cada anotación depende no sólo de cuan bien responde a la clave, sino también de cuan bien calza con las anotaciones que la cruzan. La investigación para responder una pregunta puede llevar a la consideración de cuan razonables son las otras anotaciones, aunque ya estén completadas con lápiz. Normalmente, hay respuestas que compiten y que hay que tener en cuenta. No existe un procedimiento aceptado por todos para llegar a la respuesta correcta, como mucho hay pautas. Para los científicos, la satisfacción llega con la resolución de cada pequeña parte del crucigrama, aunque nunca logren completarlo (Haack, 1996a, b).

Si las respuestas del crucigrama nunca se graban en piedra, entonces, ¿cómo se definen la ley y la teoría científica? Ambos se logran comprender mucho mejor si se comparan con modelos. Por ejemplo, la teoría de la evolución

es un modelo que fue probado, tiene el respaldo de suficiente evidencia y en general se acepta como verdadero. Las leyes, como las leyes de movimiento de Newton, son modelos que fueron probados numerosas veces de diferentes maneras y han resistido cada vez. Una ley científica cuenta con el apoyo de más pruebas y evidencias que una teoría. Recibe más confianza un modelo que se promueve como ley. No obstante, con suficiente evidencia contraria, una ley o teoría científica se puede considerar equivocada. Por ejemplo, las leyes de Newton se reemplazaron por la teoría de la relatividad de Einstein.

Vuelo 800 de TWA: hipótesis alternativa

Es inevitable que los alumnos sientan que es más fácil comprender la investigación científica sin el uso de ejemplos científicos de la vida cotidiana. No sólo los científicos, sino también los historiadores, los detectives, los periodistas de investigación y el resto de nosotros utilizamos una forma de investigación similar al «método científico». Ésta incluye formular hipótesis, y desarrollar y probar predicciones que surgen de esas hipótesis y ayudan a acercarse a la verdad (Haack, 1996a, b). Las noticias actuales deberían utilizarse cada vez que sea posible. La investigación del vuelo 800 de Trans World Airlines, que explotó y chocó el 17 de julio de 1996, es un ejemplo claro de la investigación científica (Figura 1). Este caso demuestra que la investigación es similar en diversas áreas de trabajo. Además, el ejemplo de TWA demuestra que no es fácil acordar una conclusión. Hay muchas fuerzas sociales que influyen en la investigación y crean desacuerdos.

Luego de observar la evidencia recolectada después del choque, los investigadores propusieron tres importantes hipótesis opuestas sobre la causa de la explosión del tanque de combustible central perteneciente al vuelo 800: una bomba terrorista, un misil que se lanzó desde un barco o una falla mecánica de algún tipo. Estas hipótesis surgen de modelos que hemos desarrollado en varios años de experiencia sobre las causas de los choques de aviones. Hemos acumulado teorías sobre el comportamiento terrorista, los efectos que las bombas y los misiles tienen sobre los aviones

«Los alumnos deben llegar a comprender que la ciencia no es simplemente un ejercicio que se realiza en el laboratorio. Es un procedimiento cíclico y humano en el que se crea, modifica y recrean modelos»

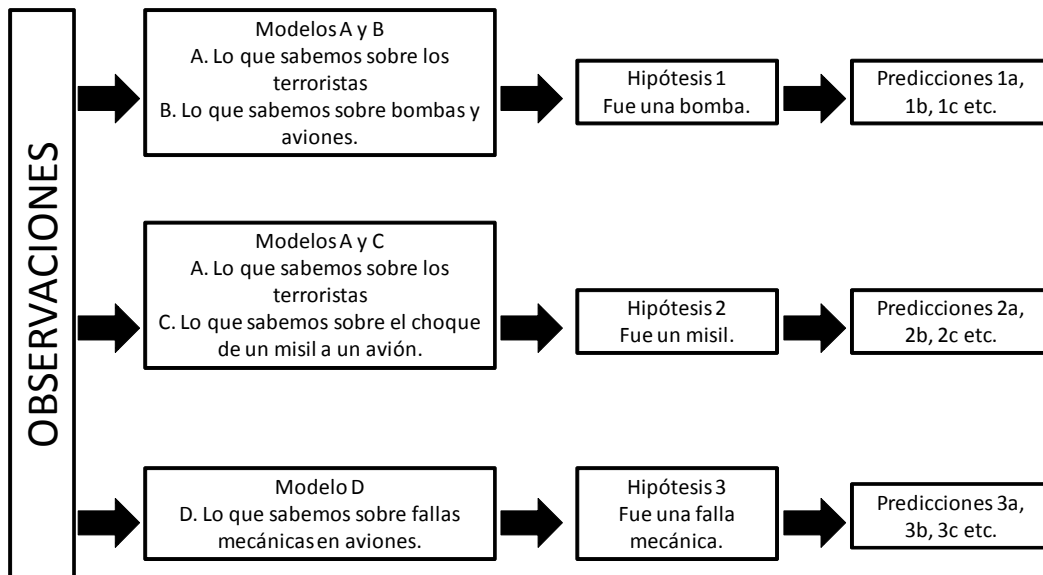


Figura 1: Utilización de la investigación científica para encontrar la causa del choque que sufrió el vuelo 800 de TWA.

y las causas de las fallas mecánicas. Un año después del choque, la evidencia no logró que se refutara completamente ninguna de las hipótesis y había varios investigadores que apoyaba cada una de ellas (Walled & Revlon, 1996). Del mismo modo, los científicos tienen hipótesis alternativas para la mayoría de sus investigaciones.

Para decidir cuál hipótesis es la correcta, los investigadores que estudiaban el caso del vuelo 800 hicieron predicciones que deberían ser probadas. Cada una de ellas era una declaración del estilo «si..., entonces» basada en nuestro concepto de modelo de trabajo: el modelo de terrorismo, de misiles o de falla mecánica. Según las suposiciones sobre el funcionamiento de cada modelo, los investigadores pueden probar sus predicciones. Un ejemplo de una predicción sería: si fue una bomba la que causó la explosión, los restos de metal deberían estar abollados de determinada manera y debería haber restos de uno de los químicos que se sabe que tienen las bombas. Cada predicción se pone a prueba y los resultados se evalúan para ver cuál hipótesis se puede confirmar.

Al igual que con cualquier investigación humana, el caso del vuelo 800 no estuvo aislado de la influencia humana y de las políticas. La hipótesis de terrorismo fue la primera en aparecer, probablemente a raíz de los eventos recientes aún vívidos en la mente de los americanos: unos terroristas habían matado a unos soldados americanos en Arabia Saudita hacía menos de un mes y la ansiedad aumentaba con respecto de la actividad terrorista en los próximos juegos Olímpicos de Atlanta, GA. Algunos sugirieron que se favorecía

la hipótesis del terrorismo, aunque la evidencia física dijera lo contrario, porque era más fácil de tolerar. La aerolínea tiene un interés personal por protegerse de la responsabilidad que significaría una falla mecánica (Prude, 1996). No obstante, se había consensuado que la causa del choque fue una falla mecánica. Las observaciones, pruebas y análisis no concuerdan con las predicciones sobre modelos de terroristas, bombas y misiles. Al igual que para la investigación del vuelo 800, son humanos los que llevan adelante la ciencia, ¿por qué no tendría los mismos prejuicios e influencias de los humanos?

La investigación del vuelo 800 también demuestra cómo al realizarse en un área puede aportar mucho conocimiento a varios campos. Los modelos comienzan de manera primitiva pero, a medida que los experimentos brindan información, se vuelven cada vez más sofisticados. Nuestros modelos de terrorismo, de misiles y especialmente de fallas mecánicas en los aviones a reacción se mejorarán en esta investigación. En el futuro, tendremos mejores ideas sobre el motivo por el cual los aviones chocan. A través de la investigación científica, los investigadores y científicos completan una parte, o varias partes, del rompecabezas.

La subjetividad de la observación

La observación y la experimentación no pueden permanecer objetivas porque la ciencia es un proceso humano. Las creencias, objetivos, metas y prejuicios de las personas producen subjetividad en la ciencia. Es por eso que, con frecuencia, dos científicos que observan el mismo fenómeno no llegarán a las mismas conclusiones.



Figura 2: Dibujo Gestalt. ¿Qué ve, una joven mujer o una vieja bruja?

Un ejemplo de la subjetividad de las observaciones son los dibujos Gestalt que se pueden percibir de diferentes maneras (Figura 2). Una imagen normalmente se revela de inmediato y otra que se encuentra dentro del dibujo exige una búsqueda para ser encontrada (Perls et al., 1951). En la Figura 2, algunos observadores ven primero a la vieja bruja y otros ven a la joven mujer. Al observar un fenómeno natural, ¿cómo saben los científicos si la imagen que perciben es la correcta?

Por la subjetividad de la observación, nuestra definición del método científico también debe incluir lo que constituye «buena evidencia» y lo que constituye «buenos procedimientos» (Haack, 1996b). Las observaciones dependen de la perspectiva y experiencia del científico. Las pruebas también se ven influidas por la opinión humana. Cada científico construye su equipo de manera diferente, lo calibra diferente y varía la ubicación de su observación (Yearly, 1994). Todas estas variables afectan las investigaciones que se realizan.

Con frecuencia, los científicos participan de acalorados debates sobre «verdades» opuestas porque cada uno observa e interpreta la información de manera diferente. Una polémica reciente sobre la existencia de agua en la luna ilustra la importancia de la interpretación. Un equipo de científicos que trabajaban con la nave espacial Clementine informó que había

evidencias que aseguraban la existencia de hielo sobre la luna en diciembre de 1996 (Anon., 1997). Seis meses después, otro grupo que utilizaba información de un radiotelescopio con base en la tierra informó que no podían encontrar evidencias sobre la existencia de hielo en la luna. Las diferencias entre sus observaciones y conclusiones fueron resultado de los diferentes instrumentos científicos y las diferentes interpretaciones de la información. El segundo grupo se dio cuenta de que el «agua» que se encontraba en la luna estaba en zonas bañadas de luz solar. Éstas no podían tener agua por la intensa evaporación que sucedería bajo el sol. Para llegar a un consenso en este punto, se necesita mayor observación a través de otros métodos (Anon., 1997).

En la actualidad, hay un debate sobre el recorrido de la evolución humana (Kaufman, 1996). La evidencia reciente de un fósil perteneciente a un *Homo erectus*, que encontró el geólogo Carl Swisher, sugiere que la evolución humana no avanzó por el camino que toma el modelo aceptado por la mayoría, que sostiene que el *Homo erectus* se transformó en *Homo sapiens* y luego se extinguió. Los cráneos que encontró Swisher indican que la decadencia del *Homo erectus* sucedió mucho más tarde, y se confirma la edad de los cráneos con más de un método de datación. Sin embargo, muchos antropólogos tienen problemas para aceptar la nueva conclusión. La oposición cuestiona si Swisher tiene los huesos correctos y también cuestiona la exactitud de sus técnicas. Prefieren aferrarse al modelo viejo de la evolución humana (Kaufman, 1996).

El contexto social de la ciencia: conflictos dentro de la comunidad científica

Las percepciones humanas intervienen en el marco de la investigación científica. Con frecuencia, hay un grupo de científicos que rápidamente hace conjeturas sobre un modelo nuevo cuando surge evidencia contradictoria, y otro grupo se inclina más por modificar el viejo (Haack, 1996c). Algunos científicos no toman en cuenta la nueva evidencia porque están muy arraigados al sistema de creencias actuales sobre un modelo. Los sistemas de modelos duraderos que se impregnan en una sociedad científica con frecuencia se llaman paradigmas. Un artículo de *Omni* de 1993, «¡Herejía! Tres Galileos modernos» (*Heresy! Three Modern Galileos*), brinda antecedentes de expertos científicos que fueron ridiculizados por otros científicos por presentar teorías que se enfrentan a un paradigma (Liversidge, 1993).

Linus Pauling, un científico conocido en todo el mundo, no pudo publicar sus resultados sobre los efectos benéficos de la vitamina C (Liversidge, 1993). Las Actas de la Academia Nacional de Ciencias es una publicación en la que Pauling, como miembro de la Academia, normalmente tendría la oportunidad de publicar un artículo sin ningún estudio previo. Sin embargo, se inventó una nueva regla especialmente para evitar el artículo de Pauling sobre la vitamina C, bajo la premisa de que el artículo podría provocar que los pacientes pusieran en duda a sus médicos. La teoría de Pauling que asegura que la vitamina C en grandes dosis protege de resfríos, enfermedades cardíacas y cáncer ha cosechado apoyo desde ese entonces (Liversidge, 1993).

En el debate sobre la vida en Marte, los científicos se han polarizado. Desde el anuncio en 1996 sobre la evidencia que encontraron los científicos de la NASA en un meteorito que asegura que hay vida en Marte, el debate ha aumentado hasta convertirse en una batalla hostil, con científicos que arrojan insultos personales. Una moratoria para distribuir muestras del meteorito impidió que la mayoría de los científicos pudiera investigar la materia por su cuenta. En las conferencias, donde se emiten los debates, sólo se invita a aquellos que están de acuerdo con la NASA para prevenir debates mayores (Begley & Rogers, 1997). Parte de la oposición cree que la NASA utiliza el entusiasmo por la posibilidad de que haya vida en Marte para llamar la atención y así lograr ayuda financiera del público para el programa espacial. La preocupación más grande ahora es si la duda sobre la existencia de vida en Marte obtendrá una solución en algún momento. Al hablar de polémica, Harry McSween de la Universidad de Tennessee aseguró que —todos queremos creer que la ciencia es perfectamente objetiva, pero es una intensa experiencia humana —(Begley & Rogers, 1997).

El contexto social de la ciencia: influencias desde fuera de la comunidad científica

Como se aprecia en el caso del vuelo 800, los alumnos necesitan comprender cómo se entremezclan las creencias y objetivos sociales con el método científico. Cuando la ciencia tiene más que ver con los objetivos políticos y económicos que con la verdad, surgen los problemas. Estas políticas son comunes en la ciencia. Haack utiliza un ejemplo de los

desastres de los nazis y la ciencia soviética. Al ejercer presión sobre los científicos para que lleguen a una conclusión que sea favorable políticamente, la ciencia se puede convertir en una fuerza manipuladora. Otros entorpecimientos políticos y sociales incluyen: presión para resolver problemas que se perciben como urgentes para la sociedad en vez de brindar libertad para buscar los problemas más cercanos a la solución; depender de un donante con interés personal en el resultado para obtener recursos; y los rivales a los que se les niega el acceso a los resultados (Haack, 1996c). Como ciudadanos americanos, los alumnos necesitan desarrollar el conocimiento sobre estos problemas.

En *Las guerras de la ciencia (The Science Wars)*, Begley (1997) brinda varios ejemplos de cómo afectan a la ciencia los valores de la sociedad en cada época. En el pasado, la investigación científica “demostró» que las mujeres, los negros o los inmigrantes tenían un intelecto inferior; la ciencia sólo se ajustaba a las creencias de la época. Durante muchos años, la teoría científica sostuvo la suposición errónea de que era el espermatozoide agresivo el que nadaba con fuerza hacia el óvulo pasivo, y nadie cuestionaba la teoría. Hoy, sabemos que es el óvulo el que toma activamente al espermatozoide, un “nadador ineficaz». Los científicos no vieron la verdad del asunto hasta que las mujeres no comenzaron a obtener mayor igualdad. —No fue que los científicos malvados salieron a consagrar los prejuicios de la época con sus investigaciones —. . . (Begley, 1997). Sin embargo, las creencias y los paradigmas de la época y la cultura son parte de la percepción de los científicos.

La economía también se ha convertido en una parte integral del proceso científico. A medida que progresa la ciencia, requiere materiales y equipos cada vez más sofisticados y caros. Esta necesidad hace que los científicos dependan de subvenciones para financiar sus investigaciones. Sin embargo, últimamente se ha informado la interferencia de financiación científica realizada por grupos con intereses personales.

Peter Duesberg comentó sobre la tremenda influencia que tiene la financiación para el SIDA sobre el pensamiento científico. Aseguró,

—la gente rechaza naturalmente cualquier desafío a la ortodoxia. Siempre lo han hecho, pero la escala es mayor ahora. ¡La ortodoxia nunca tuvo \$4 mil millones [anuales para gastos para el SIDA] en su poder y una beca finalizada como oponente! La gran entrada

de fondos fue el resultado de una 'ciencia totalitaria'. No conozco nada en la historia que haya estado tan arraigado —(Liversidge, 1993).

La publicación de un estudio financiado por *Flint Laboratories* realizado sobre uno de sus productos (*Synthroid*), fue retrasada por *Flint* por más de seis años (Rennie, 1997). El estudio demostraba que *Synthroid* no funcionaba mejor que las otras drogas más baratas que le competían. Entonces, *Flint* amenazó con un juicio para prevenir la publicación de los resultados, alegando que el estudio era defectuoso. Sin embargo, el estudio CIENTÍFICO ANTERIOR, que fue publicado por *JAMA* en abril de 1997, fue considerado digno de ser publicado, "por más de la cantidad normal de expertos" (Rennie, 1997). Los científicos de la Universidad de Washington han hecho una crónica de otros tres casos de interrupciones del progreso científico por intereses especiales. Hay muchos casos en los cuales «el litigio, el miedo, la parcialidad y la codicia» han interferido en importantes estudios científicos sobre temas de salud pública (Deyo et al., 1997). El «método científico» parece ser una parte insignificante de la ciencia en un sistema en el que la financiación esencial se puede retirar si las respuestas «correctas» no aparecen.

¿Siempre será un aspecto negativo la participación social? Haack dice que no. Los aspectos sociales son una parte esencial en el proceso del descubrimiento científico. La competencia entre las teorías opuestas con frecuencia lleva a resultados más productivos. La explicación de Watson sobre su descubrimiento de la estructura del ADN es un ejemplo perfecto. La competencia, el azar y la política fueron partes integrales del descubrimiento de Watson y Crick (Stent, 1980).

La colaboración entre científicos también es esencial, porque cada científico aporta su propia habilidad y perspectiva. A raíz de las características sociales de la ciencia, las debilidades individuales de cada uno se compensan con frecuencia con las fortalezas de otro individuo (Haack, 1996c). Un ejemplo excelente del cruce entre campos es el caso de Eric Steven Lander, el matemático que trabaja ahora con Proyecto Genoma Humano. La experiencia en matemática del Dr. Lander le permitió abordar temas de biología que la mayoría de los biólogos no podían descifrar. Por ejemplo, podría analizar estadísticamente con mayor facilidad si una enfermedad era causada por un gen o más. A través de la colaboración, Lander aportó innovaciones al campo de la biología molecular (Hilts, 1996).

Conclusión

Junto con los cambios positivos que traen la ciencia y la tecnología, se acarrean cuestiones éticas que cambian la vida. La clonación de Dolly, la oveja de Escocia, fascinó al mundo, no sólo porque fue un gran avance revolucionario, sino mayormente por los cuestionamientos éticos involucrados (Travis, 1997). Los cultivos transgénicos son otra preocupación. Todos los países desarrollados observan el futuro según evolucione el progreso científico. Las preguntas sobre la investigación científica y la financiación deben ser la preocupación de todos los ciudadanos. Los alumnos deberían comprender las complejidades de la investigación científica, que es lo que realmente hacen los científicos, porque el concepto de conocimiento científico está sujeto a la naturaleza del trabajo científico (Yearly, 1994).

La ciencia es mucho más compleja de lo que se describe en la mayoría de los libros de texto. El proceso de la ciencia no es una simple lista de pasos a seguir. Es transferible y cambiante. El método que utiliza cada científico para llegar a su teoría varía. La política, la percepción humana y el azar son partes integrales del proceso. Todos los científicos tienen modelos distintos en sus mentes a partir de los cuales crean predicciones y experimentos. En la ciencia no está garantizado ni el éxito ni el progreso.

A través de ejemplos de descubrimientos y polémicas científicas actuales, los alumnos llegarán a comprender esta visión más compleja del progreso científico. Hay informes cada semana en el periódico y las revistas de noticias como *The New York Times*, *Newsweek* y *Science News* con descubrimientos que desafían a los modelos antiguos. Muchos de estos artículos citan a científicos que ponen en duda los métodos, resultados y conclusiones de sus colegas. Los alumnos sentirán que estos informes son más accesibles y emocionantes que el tratamiento árido del "método científico" de sus libros de texto. El debate sobre la polémica científica movilizará su curiosidad y querrán participar en la discusión. La versión del libro de texto excesivamente simplificada del «método científico» simplemente no es adecuada.

Kelly R. Spiece es Editor Asociado de la revista *Compressed Air*. Puede contactarse con él al 333 McCartney St., Easton, PA 18042; correo electrónico: spiece711@aol.com. El Dr. **Joseph Colosi** es Profesor Adjunto en la Universidad Allentown de St. Francis de Sales, 2755 Station Ave., Center Valley, PA 18034; correo electrónico: jcco@email.allencol.edu.