

## **CAPÍTULO 2**

# **EL PAPEL DEL EXPERIMENTO Y LA COMPLEJIDAD EN LA CIENCIA**

---

Carol Mildred Gutiérrez Avendaño  
Universidad Santiago de Cali  
ORCID: 0000-0001-6571-4774

## CAPÍTULO 2

### EL PAPEL DEL EXPERIMENTO Y LA COMPLEJIDAD EN LA CIENCIA

#### INTRODUCCIÓN

El presente escrito busca mostrar cómo es posible mediante la actividad experimental pensar la enseñanza de la genética, con el fin de incidir en la necesidad que tiene el docente de posibilitar la construcción de visiones de mundo, ya que enseñar ciencias requiere ir más allá de una simple práctica divulgativa, y en donde se requiere dotar de significado los conceptos con los que a diario abordan los estudiantes

El ejercicio se fundamenta en un conocimiento clave a reflexionar y es el papel del experimento en la enseñanza de las ciencias, abordado desde la historia de la actividad experimental la importancia que han tenido las prácticas experimentales en el desarrollo y la construcción misma de la ciencia, buscando de esta manera problematizar la historia y recuperar el sentido de la experimentación como elemento clave para la reorganización de los contenidos en la enseñanza de las ciencias.

Ian Hacking en su libro *Representar e intervenir* (1983) tiene la particularidad de mostrar unos enfoques muy propios derivados de una manera de entender la filosofía de la ciencia, de preguntarse por el papel de la realidad, el papel de la verdad, pero más aún preguntarse por el papel del experimento. Tiene tres expresiones claves que encierran su filosofía, la primera representar, la segunda intervenir y la tercera experimentar.

Hablar de representar el mundo es hablar de múltiples realidades, por lo que para Hacking pensar que existe un único mundo no lleva a mucho y va más allá diciendo que solamente tiene sentido aquello que yo puedo intervenir; esto implica para el autor que cada vez que se interviene el mundo se está dotando a ese mundo de unas particularidades que se

## La formación docente: Entre el conocimiento científico, pedagógico y didáctico

manifiestan en tanto se intervenga, pero implica entender además que esa intervención está mediada por la cultura y por lo tanto se expresará de acuerdo a las intencionalidades con las que se expresa y es ahí en donde empieza a tener importancia el papel del experimento.

En resumen, se podría afirmar que cuando intervengo la realidad, la transformo, y esa transformación da sentido a que hay una realidad y por lo tanto la realidad va a ser en tanto yo la intervengo; y es ahí donde se logra entender que el conocimiento científico habla de una realidad, pero no siempre una realidad ontológica. Es decir no se trata de una realidad que sea idéntica y la misma para todos los sujetos que apliquen correctamente el método; es así que la circunstancia de cada sujeto determina la parte de realidad a la que tiene acceso. Por tanto, ningún sujeto ni ninguna época histórica podrán alcanzar el conocimiento absoluto y definitivo. Sin embargo, la parte de verdad alcanzada es precisamente eso, una parte de la verdad.

Representar es más que tener una imagen, es una red conceptual que se amplía y complejiza, una estructura que tiene sentido, y en donde el pensamiento construye representaciones que pareciera que para la ciencia quedan limitadas a aspectos prácticos, esto es desde la experiencia.

Es ahí donde el experimento a través de los ejemplos traídos por Hacking, nos muestra cómo a lo largo de la historia los experimentos anteceden a la teoría en algunos, o la teoría antecede al experimento en otros; son dos formas en las que ha estado enmarcado el experimento y los debates filosóficos en torno a su papel en la ciencia.

Para Hacking, las ciencias, lejos limitarse a las teorías que representan al mundo, analizan también las prácticas científicas que transforman a éste. Hacking busca recuperar las diversas funciones que desempeña el experimento en la historia de la ciencia, y con ello, intenta trascender las limitaciones que se han impuesto al experimento y es ahí donde su frase "El experimento posee una vida propia ya que no tiene como única función la contratación de teorías científicas" toma todo el sentido y por lo tanto es posible que reciba un tratamiento filosófico independiente de su función en la puesta a prueba de las teorías y en el que lleva a reevaluar la ciencia experimental.

Tras esta afirmación, Hacking insistirá en las múltiples funciones que posee el experimento en la práctica científica, entre ellas:

Carol Mildred Gutiérrez Avendaño

1. La contrastación de teorías
2. La determinación del valor de parámetros y constantes
3. La búsqueda de mayor precisión en los valores aceptados de parámetros y constantes mediante el desarrollo de nuevos métodos de medición
4. El establecimiento de generalizaciones empíricas de bajo nivel, denominadas también hipótesis tópicas
5. La exploración de nuevos dominios y fenómenos
6. La creación de nuevos fenómenos
7. El perfeccionamiento de tecnologías vigentes

Si se está dispuesto a aceptar la postura de Hacking, se comprenderá que el experimento en el aula de clase debe ser revalorado, ya que no solo se debe limitar a una simple comprobación de fenómenos, un paso a través de una guía que no da la posibilidad de hacer inteligibles esas múltiples realidades que adquieren sentido cuando son intervenidas por el experimento.

Sin desconectarse de lo mencionado anteriormente Prigogine y Stengers (1994) en su libro *La nueva alianza: metamorfosis de la ciencia* lleva a hablar de la ciencia no desde los discursos que normalmente han caracterizado el modernismo, sino de un discurso que proviene de una línea conflictiva en términos de la filosofía que es el llamado post modernismo, una tendencia real que está caracterizada por un nuevo concepto de orden social y universal, y en donde juega un papel importante el término de la complejidad, lo que permite asociar que el desarrollo de la tesis de Ilya Prigogine e Isabelle Stengers es una tesis enmarcada dentro de una dinámica que es social, está tipificada por los comportamientos de la sociedad del siglo XX.

Entonces, caracterizar un poco la sociedad del siglo XX permite entender aspectos fundamentales de la ciencia desarrollada por Prigogine y por supuesto su orientación hacia un postmodernismo complejo y en contra del determinismo.

Asociar la palabra determinismo a la ciencia implica toda una serie de conceptos que lo articulan, el primero de ellos es acerca de que el determinismo va asociado al concepto de causalidad; la causalidad es algo inherente al tiempo, toda causa tiene un efecto y todo efecto se debe a una causa, poder identificar si la causalidad está por fuera de las dinámi-

## La formación docente: Entre el conocimiento científico, pedagógico y didáctico

cas sociales es la preocupación de Prigogine.

La enseñanza de las ciencias ha sido fundamentalmente causal. Para poder romper la causalidad y acercarse uno a las tesis de Prigogine, lo primero que hay que cuestionar es en donde es posible no encontrar causalidades, lo que nos lleva a entender que donde más se utilizan estos conceptos es en cibernética, robótica, en donde el sistema de funcionamiento termina siendo aleatorio, es decir los efectos producidos no dependen de las condiciones, sino de lo aleatorio del sistema; lo aleatorio que sale del sistema es lo que se conoce como acausal.

Igualmente podemos encontrar que las sociedades son acausales, es decir ellas generan en sí mismas dinámicas que no son preestablecidas, lo que defiende la tesis de que el mundo es complejo porque no tiene linealidades en ninguna parte. En ciencias, por otro lado, existen los sistemas complejos; los sistemas termodinámicos son sistemas complejos y son la base de Prigogine para fundamentar su tesis.

En la termodinámica se encuentran los llamados sistemas dinámicos; los sistemas dinámicos no son sistemas cerrados sino son sistemas abiertos y en un sistema abierto no se puede identificar cuáles son los factores que intervienen ya que las variables son múltiples.

El determinismo suele tener aspectos fundamentales en el desarrollo de la ciencia, y la sociedad del siglo XX ha sido una sociedad muy determinista; todas las dinámicas sociales son manejadas desde esa lógica, pero empiezan a aparecer algunos sistemas complejos que sugieren que se puede dar cuenta de cosas, mas no se puede identificar por qué o cómo se da ese comportamiento,

La ciencia ha encontrado en la naturaleza múltiples fenómenos acausales, pero de los que únicamente se habla y se enseña son los causales, lo que está poniendo toda la ciencia construida hasta el momento en entredicho. No porque lo que se haya dicho sea falso, sino porque es un manera de entender y organizar el mundo diferente, y que de forma personal es difícil entenderlo, dada la carga de la tradición que nos lleva siempre a buscar las causas y los efectos.

Por último, y no menos importante, Prigogine nos muestra que la ciencia es cultura; da las bases de la complejidad, y afirma que hablar de complejos no es hablar de abstractos; entre más relaciones o interrelaciones se tenga, el pensamiento es más complejo. El ser humano lo

que tiene es un pensamiento complejo, múltiples interrelaciones que le permiten dar cuenta de aspectos fundamentales. Es lo que según Prygogine conforma sujetos culturales, quienes pueden armar y hacer inteligible un mundo.

Estos dos autores (Prygogine y Stengers), cada uno desde sus tesis y llevándolas al plano educativo, permiten entender que en la enseñanza de la ciencia la causalidad, –en parte por la carga de la tradición– ha ocasionado que las prácticas de aula sean mecánicas, sin ninguna reflexión, una copia de modelos alejados de contextos que hacen que los estudiantes no vean en la ciencia sino fórmulas, recetas y actividades experimentales poco significativas. Nuestro papel entonces será aportar desde nuestros trabajos una forma de ver el mundo y preguntarnos y cuestionarlo; será la forma de aportar para que los estudiantes hagan sus propios cuestionamientos a un mundo lleno de incertezas.

De esta manera se encuentra que en la enseñanza tradicional, para algunos docentes la actividad experimental se limita a cumplir un papel demostrativo, ofreciendo una visión reducida de la ciencia en donde los productos de las ciencias surgen de la experimentación. Por otro lado, la idea tradicional del positivismo de que los productos de las ciencias son preexistentes a la experimentación, lleva a no reconocer las interacciones culturales y sociales en la realización de experimentos, explicaciones, procedimientos, decisiones de los científicos y sobre todo en la producción de conocimiento (Steinle, 2002).

En contradicción con lo anterior, el presente escrito muestra la actividad científica como forma de producción de conocimiento que la humanidad ha construido, con el fin comprender e intervenir la naturaleza. Es así que los enfoques socioculturales hacen visibles la diversidad de contextos y de formas de pensar y resolver problemas, lo que permite en la enseñanza de las ciencias identificar las diferentes formas de construcción y validación del conocimiento y acercarse a imágenes más adecuadas del por qué y para qué de la actividad científica.

Estas dimensiones han sido objeto de análisis por el nuevo experimentalismo o filosofía de las prácticas experimentales (Hacking, 1996; Pickering, 1995). De acuerdo con la filosofía de las prácticas experimentales, para tener una visión integral de la actividad científica es preciso asumir que la experimentación y la teoría se relacionan dialécticamente en los procesos de producción del conocimiento.

## La formación docente: Entre el conocimiento científico, pedagógico y didáctico

Esta perspectiva enfatiza que no solo la construcción del conocimiento científico tiene un carácter sociocultural, sino que los denominados "elementos materiales" de las ciencias, es decir, el conjunto de instrumentos, experimentos y técnicas diseñadas y usadas en los espacios de producción científica, se vuelven determinantes a la hora de comprender y analizar las formas como se ha asumido y practicado la actividad científica a lo largo de la historia (Hacking, 1996; Franklin, 1986; Picckering, 1995; Steinle, 1997 y 2002)

De esta manera se defiende en el presente escrito, desde el enfoque socio-cultural en la enseñanza de las ciencias, la importancia de reconocer el papel de la experimentación y el conocimiento que se desprende de este, un conocimiento que no es subsidiario de modelos teóricos sino que, como sugiere Hacking (1986), llega a tener vida propia en la producción misma del conocimiento científico. Este se convierte en un elemento clave para la enseñanza de las ciencias al recuperar el sentido de la experimentación en el sentido que históricamente se da para la reorganización de los contenidos en la enseñanza de las ciencias.

Finalmente el uso de la historia de la ciencia y de la actividad experimental en la enseñanza de las ciencias, pone los contenidos fundamentales de la disciplina en función de los conceptos estructurantes para introducir nuevos conocimientos, así mismo permite al estudiante, en cierta medida, reconstruir los conocimientos científicos, ya que se posibilita mostrar el carácter hipotético, tentativo de la ciencia y mostrar, asimismo, las limitaciones de las teorías, y los problemas pendientes de solución, etc. Así se presenta a los estudiantes la aventura de la creación científica, evitando visiones dogmáticas de la ciencia

## ENSEÑANZA DE LA CIENCIA TRADICIONAL VS PERSPECTIVA SOCIOCULTURAL

Es frecuente encontrar en las prácticas de algunos docentes que la actividad experimental se limita a cumplir un papel demostrativo, en donde el estudiante a través de la guía proporcionada por este, sólo debe comprobar lo que en la teoría le fue enseñado, dejando una visión simplista de la actividad experimental.

Esta visión empobrecida se hace muy evidente cuando el trabajo experimental se realiza con el propósito de observar algún fenómeno para extraer de él un concepto. Desde este planteamiento, el trabajo de la ciencia consiste o se reduce a la aplicación del método científico, es decir, recoger datos, observar, analizar, experimentar para llegar a conclusiones mediante la utilización de procedimientos lógicos, extraídos de las mismas teorías y leyes que los respaldan. Esto ocurre, según Núñez (2000), a pesar de la influencia de diferentes corrientes que proponen la utilización de múltiples formas de enseñar las ciencias, en las que se incentiva la realización de experimentos y demostraciones en la clase, observaciones en el campo con la participación activa de los estudiantes en los procesos de enseñanza y de aprendizaje, con el fin de construir los conocimientos en forma conjunta, contextualizados y ligados a la actividad diaria de las personas.

Ante estas problemáticas en los últimos años se han venido adelantando investigaciones que buscan renovar esa imagen de ciencia difundida en las instituciones educativas y dar una nueva orientación a la enseñanza de las mismas, donde la ciencia tenga sentido y sea relevante para la persona. Una ciencia que haga parte de la cultura y responda a problemas y preocupaciones de la misma. Una enseñanza que posibilite una apropiación racional y crítica de la ciencia, que permita un acceso a la actividad científica y le den sentido al conocimiento.

Es así que se hace necesario trabajar desde la perspectiva sociocultural, en donde el estudiante es asumido con sus formas de pensar y explicarse las cosas de acuerdo con sus esquemas mentales y formas de mirar el mundo, de tal manera que pueda tener una apropiación más racional de la ciencia, acorde con su realidad. Desde este enfoque el maestro juega un papel importante en tanto que considera el quehacer de la ciencia como una actividad cultural y por lo tanto ligada a los problemas

La formación docente: Entre el conocimiento científico, pedagógico y didáctico

de dicha cultura en los que busca aportar elementos para su progreso y desarrollo. El maestro se debe reconocer como un sujeto histórico y cognoscente, que puede transformar y ser generador de cambio.

Es así que se debe propiciar que la experimentación en la clase de ciencias, fundamentada en una mirada sociocultural sobre la construcción de conocimiento científico, se convierta en un espacio propicio para poner en relación los procesos epistémicos inherentes a enseñar a hacer ciencias (proponer, defender, negociar, validar y compartir significados y representaciones).

Se asume de acuerdo a lo anterior la importancia que los docentes y por qué no lo estudiantes, tengan la posibilidad de diseñar actividades experimentales en vez de seguir guías detalladas y recetas que objetivizan el mundo, como si este fuera estático, incuestionable y mecánico, donde la causa y el efecto son la esencia de los fenómenos naturales.

## HISTORIA DE LA CIENCIA Y ACTIVIDAD EXPERIMENTAL

Tal como lo exponen García y Stany (2010), reconocer la importancia y la validez de las prácticas experimentales en la constitución de la ciencia, su función independiente de la teoría o en equilibrio con ella y su papel más allá del verificacionista o falsacionista que usualmente se le ha otorgado, constituye el fundamento de este campo de investigación de la filosofía de la ciencia.

El experimento ayuda a la reformulación o ajuste de conceptos existentes, representa un mundo y en este sentido cumple un papel fundamental en la construcción de conocimiento y es la historia de la actividad experimental la que provee de sentido a esas visiones de mundo que hacen de la ciencia una actividad humana. Por lo tanto está dotada de aciertos, desaciertos, intereses de todo tipo, pero sobre todo de la necesidad permanente de interpretar los fenómenos naturales que nos rodean y que por medio de actividades experimentales intentamos explicar.

Una pregunta clave, que desde la experiencia docente y posterior al conocimiento de la historia de la ciencia, lleva al presente escrito está relacionada con ¿hasta qué punto las prácticas experimentales que se suelen proponer en la enseñanza, en mayor o menor número, contribuyen a

dicha familiarización con lo que es la actividad científica? Es importante contestar a esta cuestión mediante un cuidadoso análisis de las preguntas habituales que nos surgen a los docentes al conocer la historia de la actividad experimental, y que permiten indicar que el problema principal no es el del número de prácticas realizadas, sino la naturaleza de las mismas; y así quienes habitualmente conciben los trabajos de laboratorio como simples manipulaciones, tomen conciencia de las de visiones deformadas sobre la ciencia que por acción u omisión, dichos trabajos pudieran estar transmitiendo.

A partir de lo anterior se encuentra que Fleck (1986) al cuestionar la noción de hecho propuesta por el círculo de Viena y sugerir que los hechos son construcciones sociales, lleva a entender que la ciencia habla de los hechos todo el tiempo; y así la filosofía intenta explicar cómo el científico produce hechos y desde esa mirada lo que se enseña son hechos, que de acuerdo a la relación con la naturaleza van a permitir hablar de los hechos de una manera muy particular. Para el positivismo por ejemplo son exteriores al sujeto, lo único que se hace es encontrarlos. Los hechos vendrían a ser dados casi que por las leyes que regulan el comportamiento de la naturaleza. Encontrar una ley es encontrar un hecho, lo que implica encontrar las regularidades del mundo, por eso es que en la escuela se enseñan hechos.

Es así que en el proceso educativo para el docente, los hechos que enseña son los verdaderos; esa selección de hechos hace que el maestro tienda a volver la ciencia en el marco del positivismo; sin embargo, los hechos aparecen y desaparecen dependiendo de las comunidades. Igualmente, Fleck (1986) hace referencia a la cultura, y dentro de la cultura a factores sociales en donde empiezan a jugar elementos importantes: el estilo de pensamiento conectado con el colectivo de pensamiento, hecho científico y como un eje articulador la circulación inter-colectiva de ideas.

En síntesis, Fleck (1986) subraya la relación del conocimiento científico con factores externos que inciden de modo decisivo en las transformaciones del estilo de pensamiento, determinantes de los cambios científicos y pone incluso en tela de juicio un concepto considerado como evidente: el concepto de hecho. Para Fleck, la ciencia no es un constructo formal, sino, esencialmente, una actividad llevada a cabo por comunidades de investigadores, utilizando además para ello un cualificado ejemplo histórico. Es así que estudia desde un punto de vista epistemológico-

## La formación docente: Entre el conocimiento científico, pedagógico y didáctico

co, lo que constituye un hecho científico, y, más en concreto, un hecho médico, a la luz de la historia. El ejemplo que emplea es la génesis y el desarrollo del concepto de sífilis y del concepto de reacción de Wassermann -el primer procedimiento serológico para el diagnóstico de la sífilis, inventado en 1906. A partir de la historia de ambos conceptos, Fleck establece una serie de consecuencias epistemológicas que, en conjunto, nos dibujan su peculiar teoría de la ciencia, llamada por él ((teoría del estilo de pensamiento y del colectivo de pensamiento)

Todo lo anterior lleva a una mirada social de la ciencia, permeada de valores que transforman una cultura y que tiene como fin la producción, difusión y aplicación de conocimientos, en donde está socialmente condicionada por una trama infinitamente compleja de interrelaciones con otros entes sociales y que invita a generar cambios en la enseñanza de la ciencia basados en una nueva comprensión de mundo. La comprensión de esas interrelaciones que permean el conocimiento y en donde los estudiantes logran permear ese conocimiento para hacerlo inteligible, lo que reafirma Matthews, (1994) al escribir que "incorporar la historia de la ciencia en la enseñanza de las ciencias permite una mejor comprensión de los conceptos científicos, de los obstáculos y posibles dificultades de los estudiantes, un entendimiento de las relaciones ciencia, tecnología y sociedad"

Igualmente, González (1999), refiere a la importancia de recurrir a la Historia y a la Filosofía de las Ciencias en la formación de los profesores, como un recurso para afrontar la mejora en el interés por la ciencia, despertar el espíritu crítico ante los hechos en que la ciencia está involucrada y manifestar que es una forma más de la cultura

Estas y otras muchas razones llevan a la necesidad de generar procesos investigativos que permitan como lo expone García (2009), relacionarnos con la historia de las ciencias, no con los contenidos ni las teorías, sino con la experiencia misma que permite comprender los fenómenos y construir explicaciones que sean significativas desde las propias preocupaciones e intereses.

## A MANERA DE CONCLUSIONES

Lo anteriormente expuesto, hace evidente que conocer sobre la historia de la actividad experimental, o en términos generales introducir en el currículo de ciencias la historia, es un elemento clave para organizar el conocimiento, en donde se dota de significados a estos conocimientos y sus aplicaciones.

De acuerdo a lo anterior se asume que es posible reorientar el papel que se le está dando a la experimentación y por lo tanto empezar a descubrir la riqueza conceptual que tiene, y que simplificamos en muchos casos a recetas y procedimientos para comprobar teorías.

Como lo plantean García y Stanny (2010),

Las investigaciones en filosofía de la ciencia se han centrado fundamentalmente en los modelos teóricos, las leyes y principios establecidos; de hecho, una de las tareas de la filosofía de la ciencia ha sido el análisis y reconstrucción de las teorías científicas, dejando a la experimentación un papel subsidiario.

Y es en estos aspectos en donde debemos empezar como docentes a aportar desde nuestras reflexiones particulares.

La historia de la actividad experimental es un tema clave en la enseñanza y de constantes progresos a nivel científico, en donde es importante comprender las implicaciones de tales avances y poder aportar a la comprensión de lo que la ciencia y sus aportes en este ámbito ofrecen. En resumen, se puede afirmar que cuando se interviene la realidad, se transforma, y esa transformación da sentido de que hay una realidad y por lo tanto la realidad va ser en tanto se interviene y es ahí donde se puede entender que el conocimiento científico si habla de una realidad, pero no siempre una realidad ontológica.

Representar es más que tener una imagen, es una red conceptual que se amplía y complejiza, una estructura que tiene sentido, y en donde el pensamiento construye representaciones que pareciera que para la ciencia quedan limitadas a aspectos prácticos, esto es, desde la experiencia.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Fleck, L., Schäfer, L., Schnelle, T., Meana, L., & de Pablo, Á. G. (1986). La génesis y el desarrollo de un hecho científico: introducción a la teoría del estilo de pensamiento y del colectivo de pensamiento. Madrid: Alianza.

García, A., Edwin, G., & Estany, A. (2010). Filosofía de las Prácticas Experimentales y Enseñanza de las Ciencias. *Praxis filosófica*, (31).

García, A., Edwin, G. (2009). Historia de las ciencias en textos para la enseñanza neumática e hidrostática. Cali, Colombia: Editorial Universidad del Valle.

García, A., Edwin, G. (2000). La Actividad Histórico Experimental en Electrostática. Cali, Colombia: Universidad del Valle.

Gooding, D., & Pinch, T. (1989). *The uses of experiment: Studies in the natural sciences*. Cambridge: Cambridge University Press.

Hacking, I., & Domínguez, S. G. (1996). *Representar e intervenir*. México: Paidós.

Harré, R. (1986). *Grandes experimentos científicos: veinte experimentos que han cambiado nuestra visión del mundo*. Barcelona, España: Editorial Labor.

Iglesias, M. (2004). El giro hacia la práctica en filosofía de la ciencia: una nueva perspectiva de la actividad experimental. *Opción*, 20(44).

Matthews, M. R. (1994). Historia, filosofía y enseñanza de las ciencias: la aproximación actual. *Enseñanza de las ciencias: revista de investigación y experiencias didácticas*, 12(2), 255-277.

Carol Mildred Gutiérrez Avendaño

Mukherjee, S. (2016). *El Gen. Una Historia Personal*. Editorial Penguin Random House. Barcelona

Núñez, J. (2000). Lo que la educación científica no debería olvidar: Rigor, objetividad y responsabilidad social. Recuperado el 16 de marzo de 2005, de <http://www.campus-oei.org/salactsi/nunez05.htm>

Prigogine, I., & Stengers, I. (1994). *La nueva alianza: metamorfosis de la ciencia*. Madrid: Alianza Editorial.

Romero Chacón, Á. E., Aguilar Mosquera, Y., Amelines Rico, P. A., García Arteaga, E. G., Giraldo Suárez, Y. L., Mejía Aristizábal, L. S. & Tobón Cardona, É. (2017). *La experimentación en la clase de ciencias: aportes a una enseñanza de las ciencias contextualizada con reflexiones meta-científicas*. Cali, Colombia: Editorial Universidad de Antioquia