

## Alternativas para reflexionar sobre aspectos críticos de la ciencia en el aula

### Alternatives to Reflect on Critical Aspects of Science in the Classroom

### Alternativas para refletir aspectos críticos da ciência na sala de aula

Jordi Solbes Matarredona<sup>1</sup>  
Nidia Yaneth Torres Merchán<sup>2</sup>

**Fecha de recepción:** noviembre 2014

**Fecha de aceptación:** junio 2015

**Para citar este artículo:** Solbes, J. y Torres, N.Y. (2015). Alternativas para reflexionar sobre aspectos críticos de la ciencia en el aula, *Revista Científica*, 22, 31-44. **Doi:** [10.14483/udistrital.jour.RC.2015.22.a3](https://doi.org/10.14483/udistrital.jour.RC.2015.22.a3)

#### Resumen

Este artículo forma parte de una investigación sobre el uso de cuestiones socio-científicas a fin de promover las competencias para el pensamiento crítico en estudiantes universitarios.

La primera parte presenta las apreciaciones de un grupo de estudiantes en formación docente acerca de la criticidad de la ciencia y lo que entienden por ciencia crítica. También, se presenta y se discute sobre las experiencias de algunos investigadores perseguidos debido a sus contribuciones científicas, ya que tuvieron implicaciones sociales, o cuestiones sociocientíficas.

**Palabras Clave:** Ciencia crítica, Cuestiones socio-científicas, Implicaciones sociales.

#### Abstract

This paper is part of a research about the use of scientific-social issues to promote critical thinking skills in university students.

The first part presents the considerations of a group of teacher training students about the criticality of

science and what they understand about critical science. It also presents and discusses the experiences of some researchers who were persecuted because of their scientific contributions with social implications or scientific social issues.

**Keywords:** Science Review, socio-scientific social implications, social issues.

#### Resumo

Este artigo é parte de uma investigação sobre o uso de questões sociais científicas, para promover habilidades de pensamento crítico dos estudantes da universidade. A primeira parte apresenta os motivos que levaram um grupo de estudantes de formação de professores sobre a criticidade da ciência e o que eles querem dizer com uma ciência crítica. Ele também apresenta e discute alguns investigadores perseguidos por suas contribuições científicas para implicações sociais ou questões sociais científicas.

**Palavras-chave:** Science Review, implicações sociais sócio-científicas, socioscientific issues.

<sup>1</sup> Universitat de València. Valencia, España. Contacto: [jordi.solbes@uv.es](mailto:jordi.solbes@uv.es)

<sup>2</sup> Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. Tunja, Colombia. Contacto: [nidia.torres@uptc.edu.co](mailto:nidia.torres@uptc.edu.co)

## Introducción

Este trabajo surge a partir de una investigación efectuada por los autores sobre el uso de cuestiones sociocientíficas (en adelante, CSC) a fin de promover competencias para el pensamiento crítico (Solbes & Torres, 2013; Torres, 2014).

Para considerar la ciencia como pensamiento crítico, es necesario abordar cuestiones científicas con implicaciones sociales (CSC) que cuestionen el discurso o los intereses de las clases y poderes dominantes. Tal determinación les generó conflictos a científicos como Galileo, Charles Darwin, Nikolái Vavílov, Rachel Carson, Andrés Carrasco, Robert Belle y Gilles-Eric Seralini –estos últimos revelaron los efectos del glifosato en el ambiente y en la sociedad–.

De hecho, la ciencia pierde su carácter crítico si evita expresar rechazo ante los intereses individuales que no responden a necesidades sociales y colectivas. Que la ciencia promueva el cuestionamiento, implica un esfuerzo por desafiar opiniones, ideas o creencias. Esto requiere generar reflexiones a partir de la historia de las ciencias y de sus implicaciones sociales, hablar sobre las persecuciones científicas y las condiciones institucionales que promueven intereses individuales.

Por todo lo anterior, se justifica la creación de espacios dialógicos en el aula con base en las CSC que desafíen el pensamiento de estudiantes y docentes (Acar, Turkmen, & Roychoudhury, 2010; Zeidler, Sadler, Simmons, & Howes, 2005). Por tanto, consideramos que la ciencia se hace crítica si aborda una dimensión ética, tal como se justifica en la competencia IV que plantearon los autores de esta investigación (Solbes & Torres, 2013; Torres, 2014).

El avance de la ciencia debe vincularse al pensamiento crítico que desafía los discursos dominantes. De lo contrario, estos se fijan como verdades absolutas y a la vez, se cierran los espacios de discusión, lo cual imposibilita el avance del conocimiento.

Esta perspectiva hace énfasis en el cuestionamiento de los hechos observables, aspecto importante en la evolución de la ciencia, así como la capacidad de enfrentarse a situaciones difíciles que superan las visiones lineales (Kuhn, 2010; Dawson & Venville, 2010; Osborne, 2010).

Galileo Galilei es un ejemplo conocido de un hombre que, al alejarse del pensamiento de su época, cuestionó la teoría aristotélica sobre la que se sustentaba la visión cristiana del mundo; las contribuciones de Charles Darwin hicieron que lo acusaran de contradecir las doctrinas de la Iglesia en temas como el origen del hombre y de la vida. Einstein, Russell, Pauling, Oppenheimer y Joliot-Curie denunciaron los peligros de la proliferación nuclear y señalaron que tales armas amenazan la existencia de la humanidad. Por su parte, Bernadine Healy y James Thomson, investigadores sobre células embrionarias, han hablado sobre las implicaciones de manipular este tipo de unidades.

También hay casos de campañas de desprestigio, censura política y obstáculos académicos que han retrasado la publicación o han impedido que se realicen investigaciones que afectan los intereses de algunas multinacionales. Es el caso de Rachel Carson y sus estudios sobre el Dicloro Difencil Tricloroetano (DDT), o Clair Patterson, por sus hallazgos sobre el Pb atmosférico que provenía de la gasolina con Pb. En el caso de esta última, el American Petroleum Institute (Instituto Estadounidense del Petróleo) y el Servicio de Salud Pública de Estados Unidos decidieron cancelar sus contratos y la Ethyl Corporation (Compañía del Etil) presionó a los directivos de Caltech para que la hicieran callar o la expulsaran, además de excluirla de una de las comisiones del Consejo Nacional de Investigación.

Algo similar sucedió con Jeffrey Wigand, quien denunció la manipulación intencional de nicotina en la Brown and Williamson Tobacco Corporation (Compañía de tabaco Brown y Williamson), por lo que fue expulsado y perseguido. Otros ejemplos de esta índole se presentan en la Tabla 2.

Las situaciones mencionadas ilustran la necesidad de insistir en la interpretación profunda de los problemas y la evolución de la ciencia en el aula; es preciso dejar de lado el conformismo, las explicaciones superficiales y los prejuicios personales. En cambio, hay que utilizar principios causales, revisar información, proponer posturas creativas e inquietantes que les permitan a los estudiantes superar las visiones neutras y cerradas, y considerar las implicaciones éticas y sociales alrededor de temas científicos que superan los intereses individuales y económicos.

Este trabajo describe las apreciaciones de un grupo de estudiantes universitarios acerca de la criticidad de la ciencia y lo que entienden por ciencia crítica. También, presenta y discute las experiencias de algunos científicos que fueron perseguidos por sus contribuciones científicas, las cuales dan lugar a CSC.

El abordaje de estos aspectos en el aula es una oportunidad para que los estudiantes comprendan la importancia de la ciencia crítica, que hace parte de la libertad académica, en la que se generan hipótesis, preguntas y se desarrollan investigaciones. Asimismo, es relevante discutir los casos en los que se han utilizado errores y fraudes en revistas especializadas, o el desprestigio de los estudios. Como ha señalado el científico Andrés Carrasco, en muchos casos, la comunidad científica es la que ignora la evidencia o la malinterpreta (Aranda, 2009). También, manifiesta que las mismas empresas imponen el tipo de ciencia e investigación científica que debe hacerse.

Por tanto, este escrito destaca la necesidad de fortalecer el pensamiento crítico desde la enseñanza de las ciencias para evaluar el tipo de investigaciones actuales y considerar los impactos de las mismas.

## Metodología

- Valorar cuál es la concepción de los estudiantes respecto a la ciencia crítica o metodológicamente crítica. Para ello, se planteó el siguiente cuestionamiento: ¿La ciencia es crítica?

- Discutir las contribuciones y los conflictos de científicos como Nicolás Copérnico, Galileo Galilei, Charles Darwin, Nikolái Vavílov, Odon de Buen, Albert Einstein, Ervin Schrödinger, Linus Pauling, Robert Oppenheimer, Irene Joliot-Curie, Rachel Carson, Andrés Carrasco, Robert Belle, Gilles–Eric Seralini, Rodolfo Páramo, Jorge Kaczewer, Alejandro Oliva, Adolfo Maldonado, Federico Paggi, Rick Relyea, Jaime González, Darío Gianfelici, Cristian Velot, James Hansen, José Royo, Blas Cabrera y Enrique Moles.

## Participantes

En esta actividad, participaron cincuenta y seis estudiantes de un programa de formación de licenciatura en Ciencias Naturales y Educación Ambiental de una universidad colombiana. Estaban cursando la asignatura Didáctica de las ciencias en el año 2012. El 19.6 % eran hombres y el 80.4 % eran mujeres. Fueron los colaboradores en el programa de intervención sobre pensamiento crítico y CSC (Torres, 2014). La información que se presenta en este texto corresponde a la guía de contextualización desarrollada en grupos de trabajo de tres y cuatro estudiantes, en dos sesiones de ciento veinte minutos cada una.

También, se presentan los resultados obtenidos con cuarenta y siete estudiantes de la Facultad de Magisterio en la Universidad de Valencia. El 10,6% eran hombres y el 89,4% eran mujeres que cursaban la asignatura de Historia de las ciencias y Currículum de ciencias, en el que se abordó el cambio del modelo geocéntrico al de Copérnico, la oposición que experimentaron Galileo y Darwin, las persecuciones contra algunos científicos durante periodos dictatoriales y las falacias respecto a las centrales nucleares durante gobiernos democráticos. La actividad se desarrolló de manera individual.

Para presentar las intervenciones de los participantes, se utilizará el código EC (estudiante colombiano) y EE (estudiante español). Lo anterior

se realizó con el fin de promover una contextualización acerca del pensamiento crítico y las CSC.

## Resultados

### ¿Es la ciencia crítica o metodológicamente crítica?

Cuando se formuló esta pregunta al grupo de participantes, se obtuvieron opiniones afirmativas y negativas, como lo presenta la tabla 1.

En el caso de los estudiantes colombianos, la mayoría de ellos (60 %) dieron razones afirmativas; el 38,6 % puede desglosarse en un 21,4 % que señala que sí hay espacios para la autonomía, la reflexión y la opinión, y un 17,2 % que indica que se hace uso de métodos y técnicas para hacer ciencia. De este grupo, la siguiente afirmación es bastante representativa:

EC1: “Sí, porque nos permite investigar sobre fenómenos o teorías a partir de diferentes métodos y técnicas. Es crítica porque la ciencia es una búsqueda continua de saberes que permite debatir si es cierta o no, y llega a conclusiones a fin de que la entendemos y sepamos cuál es su objetivo en la sociedad”.

El 23 % que señala que la ciencia no es crítica, argumenta que la principal razón de la ciencia es promover necesidades de consumo.

Es sintomático que el porcentaje de estudiantes españoles y colombianos que considera que la ciencia es crítica cuando aborda las CSC sea similar: 25,5 % y 21,4 % respectivamente. Esto pone

de manifiesto que las CSC están bastante ausentes en otras materias de las respectivas carreras, a pesar de la intervención realizada por los investigadores. Es probable que el elevado porcentaje de estudiantes españoles (70,2 %) que indica que la ciencia es metodológicamente crítica se deba al uso del método científico como una forma de probar afirmaciones en la experiencia del plano inclinado de Galileo. Por esta razón, asumen que la ciencia cuestiona las creencias o los argumentos subjetivos de parte de una autoridad.

Los estudiantes afirman que los enunciados de la ciencia tienen que probarse con experiencias y observaciones, les parece que esto evidencia que la ciencia es metodológicamente crítica, pues permite llegar a conclusiones. Sin embargo, desde una perspectiva sociocultural, se entiende que las teorías de las ciencias son construcciones humanas que no pueden considerarse como simples observaciones sistemáticas de la naturaleza (Martínez, 2010).

Los participantes también destacan algunos planteamientos, como el uso de pruebas y el cuestionamiento de las ideas, características importantes del pensamiento crítico. No obstante, dejan de lado aspectos sociales y contextuales del mismo, que de ser tenidos en cuenta, evitarían una visión dogmática y descontextualizada de la ciencia. Por ejemplo:

EE19: “Sí, la ciencia es pensamiento crítico por diversos motivos. En primer lugar, porque se basa en la evidencia empírica, es decir, puede experimentar y repetirse por otros experimentadores, llegando a los mismos resultados (con la mayor exactitud y

**Tabla 1.** Porcentaje de respuestas a la pregunta: ¿La ciencia es crítica?

	Sí, es crítica a nivel metodológico	Si, aborda CSC	No o NS/NC	Depende de la persona que hace ciencia
EC (N=56)	38,6 %	21,4 %	23 %	21 %
EE (N=47)	70,2 %	25,5 %	4,3 %	0 %

fiabilidad posible). Además, se centra en el razonamiento lógico, pues se razona con objetividad, sin tener en cuenta creencias o argumentos subjetivos o que provengan de alguna autoridad, evitando así el conformismo o la estandarización. También, podemos decir que la ciencia es pensamiento crítico porque se cuestiona constantemente las ideas, reformulándose nuevas preguntas y así puede llegar al resultado correcto."

EC12: "Sí, la ciencia es una manera de poner en duda determinado objeto o cualquier cosa que se encuentre dentro de esta tierra y aún fuera de ella. Se cuestiona la manera y el porqué de ésta. Indaga, pregunta y busca encontrar una posible solución, cuenta con los materiales y la tecnología que tiene. Además, no se conforma con los argumentos ya dichos, sino que cuestiona cada uno de ellos, utiliza la investigación como medio facilitador para mejorar sus teorías. En pocas palabras, la ciencia es crítica pues da a conocer sus argumentos, formas de analizar y pensar a través de la investigación, el cuestionamiento, la comparación y la indagación de dicho tema o creación."

Asimismo, se observan apreciaciones como las de EC18 y EE12, quienes mencionan que la ciencia permite formular leyes y teorías:

EE12: "Por otra parte, hay que decir que la ciencia ayuda (y es en sí) un pensamiento crítico, ya que gracias al método, siempre se pone en cuestión lo que creemos como cierto. Uno de sus objetivos es que cualquiera puede repetir el experimento para comprobar si el resultado se da siempre igual, por lo que se demuestra su universalidad."

EC18: "La ciencia es crítica porque para llegar a formular una ley o una teoría, se requiere que ésta sea comprobada con fundamentos válidos con los que se puede llegar a falsear o validar dicha ley o teoría."

Consideramos que la ciencia no solo debe proponerse para explicar hechos de validez, sino también para contribuir a la satisfacción de necesidades

sociales, la humanización de la ciencia y la solución de los problemas del mundo (Solbes, 2013; Torres & Altuzarra, 2014). Como indican las intervenciones previamente citadas, el hecho de que la ciencia pueda corregir sus deficiencias, permite avanzar en la búsqueda de la verdad y mejorar la construcción de conocimientos. Estas apreciaciones destacan lo que señala Popper (1972): "La base del progreso del conocimiento científico es la constante búsqueda de la crítica, que significa ser puesto a prueba. Esto hace que se generen contradicciones y nuevos problemas significativos en el avance de la ciencia."

También se encontraron respuestas como las de EC14 y EE33, quienes consideran que la ciencia tiene intereses económicos que direccionan las investigaciones, como por ejemplo, la creación de armas biológicas o la producción de medicamentos:

EC14: "La ciencia tal vez empieza a tener una posición crítica desde su necesidad de resolver una pregunta, un problema o de satisfacer las necesidades de la sociedad. Ahora, cabe anotar que en muchos de los casos, los actores directos de la ciencia desde sus aspectos intelectuales y económicos, no hacen evidente su crítica. Esto se evidencia en experimentos y productos que acaban con la calidad de vida, por ejemplo, el lanzamiento de la bomba atómica, el ántrax, el uso de farmacéuticos con efectos secundarios."

EE33: "La ciencia (...) es crítica, ya que en su entorno, las sociedades tienen intereses. Por tanto, sea en religión, la ciencia discrepa con el discurso dominante de la iglesia (...) o en la política, dependiendo de quién tiene el poder (...) se decide si se investiga una cosa o se deja de investigar. Por ejemplo, se puede utilizar la ciencia para descubrir la cura de algunas enfermedades o para crear armas más potentes. Y los científicos, quienes hacen la ciencia, también tendrán sus inclinaciones hacia un lado o hacia otro."

Este tipo de planteamientos propuesto por los estudiantes permite analizar el tipo de problemas

que resuelve la ciencia y valorar si está abierta a satisfacer necesidades sociales –como medicamentos y vacunas– o, por el contrario, solo atiende necesidades particulares en productos de consumo, tales como productos de belleza.

EC55: “Sí pero, es importante mirar si lo que genera la ciencia va a favorecer a las personas y al ambiente. Por ejemplo, son importantes las investigaciones que se hacen para disminuir la contaminación y terminar con enfermedades como cáncer, epidemias, etc. Si, por el contrario, solo promueven el consumo con la publicidad, no se actúa con pensamiento crítico. Por eso, es importante que, como futuros profesores, generemos la capacidad de preguntarnos qué consumimos y que esta habilidad nos permita ver lo bueno y lo malo de esos productos.”

Otras valoraciones negativas están relacionadas con las necesidades de consumo y el interés económico que tienen las instituciones:

EC37: “Creemos que el aspecto crítico que maneja la ciencia es muy básico y casi nulo, puesto que, generalmente, la ciencia se preocupa por avanzar de acuerdo con las necesidades individuales de consumo que tienen las personas, pero no tiene en cuenta las consecuencias que esto genera en la sociedad. En muchos casos, saca nuevas modas útiles, pero no están fundamentadas en los pros y contra que tienen y logra mejores economías para la industria. No permite que la sociedad en general participe en este proceso, ya que esta actividad se ha limitado a personas que viven en un laboratorio o en industrias.”

En la intervención anterior, se observa un rechazo a los intereses individuales que no responden a necesidades concretas de la sociedad, sino que dependen de las utilidades que puedan recibir, como el crecimiento monetario que generalmente satisface los deseos individuales (Núñez, s.f.). Este autor afirma que los poderes políticos y militares, la gestión empresarial y los medios de comunicación masiva descansan sobre pilares científicos y

tecnológicos. De igual manera, la vida del ciudadano está totalmente influida por los avances tecnológico-científicos, por lo que es necesario pensar al respecto. Esta línea de pensamiento se articula con lo que planteaba Habermas (1981) respecto al conocimiento científico: se ha direccionado para satisfacer las necesidades de mercado y se ha alejado de un proceso emancipativo y de autoconstitución del género humano.

El EC38 manifiesta que la ciencia, regida por ciertos principios y orden, está lejos de ser crítica. En muchos casos, solo contribuye a tener visiones simplificadas, por lo que deja de lado su valor como construcción cultural:

EC38: “La ciencia, como tal, no es crítica en nuestro concepto. Se trata de una disciplina que está sujeta a un orden de forma determinada. Esa serie de parlamentos establecidos no la deja ser crítica. Solo muestra unos resultados, pero no su relevancia en un contexto. En la enseñanza de la ciencia, se le puede hacer una crítica y a partir de esos parámetros, hacer una profundización sobre su utilidad en la cotidianidad.”

Otras opiniones vinculan la ciencia con la docencia:

EE40: “Sí, y de hecho, la asignatura de ciencias es una de las que se encarga de desarrollar en los alumnos el pensamiento crítico porque es una de las competencias de la enseñanza obligatoria. La ciencia es metodológicamente crítica en su método, ya que realiza elecciones racionales y juicios fundamentados como elementos de las decisiones que se toman para resolver problemas. La ciencia muestra su pensamiento crítico al cuestionar la validez de los argumentos, rechazar conclusiones no basadas en razones válidas, detectar errores de pensamiento y comprobar la credibilidad de las fuentes de información.”

Se resalta que la enseñanza de las ciencias es una posibilidad para comprender la ciencia como construcción humana y tener una postura crítica

al respecto, a partir de las valoraciones sobre las implicaciones sociales e históricas que tiene. En este sentido, Solbes (2013) señala que la ciencia es metodológicamente crítica –algunos estudiantes están de acuerdo con esta postura–. Entonces, para que pueda considerarse como pensamiento crítico y se actúe en el ámbito social con base en esa premisa, es necesario abordar las CSC, cuestionar el discurso o los intereses de las clases y los poderes dominantes:

EE34: “La ciencia consiste en un pensamiento crítico porque dentro de una sociedad, la forma en que se planteen los conocimientos científicos puede contribuir a que ésta mejore, cambie o incluso, puede ser la causa de movimientos o revoluciones sociales que hasta la actualidad han marcado la historia. Por esta razón, la ciencia se encuentra al alcance de cambios políticos, económicos, de poder y sociales. A lo largo de la historia, encontramos múltiples científicos que han planteado teorías o métodos que con el paso del tiempo han sido refutados por los avances de la ciencia. Algunas de estas teorías han sido apoyadas o financiadas por sectores concretos de la sociedad porque de alguna forma les interesaba (...) por ejemplo, el creacionismo sigue recibiendo apoyo aunque la experimentación científica lo refute.”

EE38: “Asimismo, la ciencia se opone a las creencias aceptadas en la sociedad, sean religiosas o no, e incorpora la duda y la reflexión constante mediante preguntas continuas sobre los fenómenos que nos rodean. Ejemplos de esto son el modelo heliocéntrico de Copérnico, la teoría de la evolución de Lamarck, los postulados de Darwin y de Wallace, o la crítica a las centrales nucleares.

### La influencia del contexto en la criticidad de la ciencia

Otra actividad que se les planteó a los estudiantes a fin de discutir la influencia del contexto en la criticidad de la ciencia fue la lectura de textos respecto a la vida de Galileo y Einstein para analizar algunas

convergencias y divergencias entre estos científicos. Los estudiantes señalaron algunas similitudes:

- Ambos se basaron en aportes e influencias de sus predecesores o en teorías científicas.
- Los dos utilizaron las matemáticas.
- Trataron de comprobar lo que buscaban a partir de experimentos.
- Se caracterizaron por la búsqueda constante de respuestas a sus preguntas, no desistieron de sus ideas.

Dentro de las divergencias, señalaron que Galileo no tuvo un ambiente propicio, en términos de libertad, para ejercer su vocación científica debido al poder de la iglesia, el cual limitó la investigación científica. Este aspecto está relacionado con la diferencia de época en que cada uno realizó sus hallazgos. Algunos estudiantes evidencian que sus logros se deben a que superaron concepciones antiguas:

EC51: “La noción conservadora de Aristóteles rechazaba la tesis de Copérnico sobre la movilidad de la tierra alrededor del sol, que Galileo demostró. Einstein también desarrolló una teoría que buscaba la simplicidad y unía las leyes de la naturaleza.”

EC30: “Galileo fue, desde nuestro punto de vista, unos de los primeros en utilizar el método científico desde sus comienzos, por lo que hizo grandes aportes respecto a la ubicación del sol y la rotación de la tierra a su alrededor. Era una persona curiosa debido a su necesidad de ir más allá de lo que hacía, al punto de discrepar con la religión por refutar las teorías antiguas. Por su parte, Einstein hizo importantes descubrimientos que revolucionarían la ciencia, la filosofía y la física del siglo XX.”

Una tercera actividad que se les propuso a los participantes consistió en indagar sobre las contribuciones y los conflictos de algunos científicos que podrían utilizarse desde el enfoque de las CSC para el desarrollo del pensamiento crítico. A continuación, se presenta una síntesis del proceso:

## Científicos perseguidos por sus contribuciones científicas, o por motivos políticos y económicos

En esta actividad, se generó una discusión acerca de hechos que pueden tener impacto en la salud pública. Entre ellos, pueden citarse ciertos productos de Monsanto, Novartis y Bayer. Lo ideal sería divulgar sus efectos negativos, pero es evidente que algunas empresas o personas difícilmente lo harían debido a diversos intereses.

Este escenario permitió hablar sobre las persecuciones que experimentaron científicos como Rachel Carson, Andrés Carrasco, Robert Belle y Gilles Eric Seralini, quienes denunciaron las consecuencias de los agros tóxicos a partir de sus investigaciones. Sin embargo, sus hallazgos fueron descalificados.

Por otro lado, se examinaron varios documentos, como el estudio realizado por la Comisión Interamericana para el Control del Abuso de Drogas sobre los efectos de la aspersión aérea del glifosato en humanos y en el medio ambiente (Solomon, Anadón, Cerdeira, Marshall, & Sanín, 2005). Fue realizado por un equipo investigador de distintas universidades que concluye que la exposición al glifosato y sus adyuvantes, utilizados en los

programas de erradicación de amapola, no causan efectos adversos *agudos en las personas expuestas por diferentes rutas*.

Estos resultados son controversiales y opuestos a los hallazgos de investigaciones independientes, como las de Andrés Carrasco, Rafael Páramo, Jorge Kaczewer y Gilles-Eric Seralini, quienes demostraron que el glifosato interfiere en el metabolismo enzimático de todos los vertebrados y produce malformaciones congénitas. Este último investigador, de la Universidad de Caen (Francia), confirmó los efectos letales en células humanas de embriones, placenta y cordón umbilical por el consumo de soya transgénica fumigada con glifosato. Tal evidencia alertó sobre las consecuencias sanitarias y ambientales del herbicida, por lo que el investigador exigió la realización de estudios públicos sobre transgénicos y agro-tóxicos. Al igual que otros hombres de ciencia que ya mencionamos, fue objeto de señalamiento y hubo campañas de desprestigio hacia sus estudios.

En el siguiente cuadro, se presentan varios científicos que han sido perseguidos por sus contribuciones científicas y que pueden mencionarse en clase para discutir sobre las implicaciones de una ciencia con sentido crítico:

**Tabla 2.** Científicos perseguidos

Científico	Contribuciones	Cuestión sociocientífica	Consecuencias
Nicolás Copérnico	Teoría heliocéntrica del sistema solar.	Cuestionó la astronomía de Aristóteles que defendía la Iglesia.	Su libro, que se publicó al año de su muerte, fue incluido en el Índice de libros prohibidos.
Galileo Galilei	Observaciones astronómicas a favor del sistema copernicano. La ciencia del movimiento.	Sus observaciones cuestionan frases de la Biblia que no pueden afirmarse como verdades, lo cual puso en duda la autoridad de la Iglesia.	En 1610, fue advertido por la Inquisición y lo juzgaron en 1632. Lo amenazaron con torturas y lo obligaron a abjurar. Su libro fue incluido en el Índice de libros prohibidos hasta 1835. Su condena se prolongó hasta 1992.
Charles Darwin	Teoría de la Evolución	Contradicción a las doctrinas de la Iglesia, tales como el origen del hombre y de la vida.	No fue perseguido, aunque su teoría fue censurada en países como España (de Buen) y continúa siéndolo en algunos estados de EE.UU. y en países islámicos.

Nikolái Vavílov	Ley de las series homólogas de variación.	Defendió la genética, concepto que opuesto al lamackismo de Lysenko que apoyaba Stalin.	Fue condenado a hacer trabajos forzados en Siberia, donde murió.
Odón de Buen	Introdujo las doctrinas darwinistas a España. Fundador de la oceanografía y director del Instituto Oceanográfico.	Tuvo conflictos con el obispo de Barcelona por promover la teoría de Charles Darwin. Fue defensor de la legalidad republicana.	Fue despedido de su cátedra en la universidad. Sin embargo, fue restablecido por presión de los estudiantes. Fue encarcelado por los franquistas. Después, fue canjeado por otros prisioneros y estuvo exiliado en México, donde falleció.
Albert Einstein	Teoría especial y general de la relatividad. Física cuántica (efecto fotoeléctrico, emisión estimulada, estadística de Bose-Einstein).	Judío, pacifista y de izquierdas. Fundó el Comité de Emergencia de Científicos Atómicos (CECA) y escribió el manifiesto Russell-Einstein, en el que cuestionó el uso de armas nucleares. La física aria cuestionó la física relativista y cuántica.	Fue perseguido por la dictadura nazi, por lo que tuvo que huir de Alemania. Fue perseguido por el FBI en EEUU, donde le abrieron expediente.
Erwin Schrödinger	Mecánica ondulatoria y del modelo cuántico del átomo.	Sin ser judío, discutió la política antisemita de Hitler en 1933. Fue cuestionado cuando Austria fue ocupada por Alemania en 1938.	Huyó de Alemania. Fue perseguido por los nazis en Austria y vivió como exiliado en Irlanda.
Robert Oppenheimer	Director científico del proyecto Manhattan y "padre" de la bomba atómica.	Se opuso a producir una bomba más poderosa, la de hidrógeno.	Fue juzgado por el comité de Actividades Antiamericanas en 1954 y fue apartado de sus cargos.
Linus Pauling	Naturaleza cuántica del enlace químico	Fue miembro de CECA, firmó el manifiesto Russell-Einstein. Cuestionó las explosiones nucleares en la atmósfera.	Su pasaporte fue confiscado en 1952. En 1955, lo citaron para comparecer ante el subcomité de Seguridad Interior del Senado de EE.UU.
Irène y Frédéric Joliot-Curie	Descubrimiento de la radiactividad artificial.	Participaron en la Llamada de Estocolmo contra el armamento nuclear.	En 1950, el Primer Ministro Bidault destituyó a Frédéric como Director de la Comisión de Energía Atómica. En 1951, lo hizo con Irène.
Rachel Carson	Denunció los efectos del DDT en la vida silvestre.	Hizo denuncias contra multinacionales. Como resultado, se promovió la creación de la Agencia de Protección Ambiental. En 1972, se prohibió el DDT.	Fue perseguida por las compañías productoras de productos químicos.

Andrés Carrasco	Investigaciones independientes sobre el efecto del glifosato en embriones humanos.	Denuncia contra multinacionales productoras de químicos.	Recibió amenazas anónimas, campañas mediáticas de desprestigio y presiones políticas. Se negó la existencia de sus investigaciones.
Robert Belle y Gilles-Eric Seralini	Investigaciones sobre glifosato y su incidencia en las primeras etapas de cancerización y muerte celular.	Denuncian a la multinacional Monsanto. Denuncian a las multinacionales productoras de químicos	Sus investigaciones son refutadas por autoridades públicas. Hay falta de apoyo económico para sus investigaciones.
Rodolfo Páramo y Jorge Kaczewer	Denuncia sobre malformaciones genéticas e inhibición del ácido fólico en el cuerpo humano, producto de fumigaciones con glifosato.		
Alejandro Oliva	Relaciones causales entre cáncer y malformaciones infantiles en habitantes expuestos a factores de contaminación ambiental, como agroquímicos.		
Adolfo Maldonado, Federico Paggi, Rick Relyea, Jaime González, Dario Gianfelici	Denuncia sobre la alta toxicidad del glifosato para animales y personas. Indican efectos adversos en todas las categorías estándar de toxicología: subcrónicas, crónicas, carcinogénicas, mutagénicas y reproductivas.		
Cristian Velot	Debate sobre los transgénicos con base en la transformación básica y médica que usa la industria alimentaria.	Denuncia los impactos de los transgénicos.	Fue acusado de participar en la oposición pública ante la OMG. Se comprobó que no era cierto.
James Hansen	Advertencia sobre la desaparición de flora y fauna si continúa el calentamiento global. Contribuciones al estudio sobre el calentamiento global. Física del cambio energético	Denuncia sobre las consecuencias del uso de combustibles fósiles. Exige un cambio en las políticas energéticas.	Se le prohíbe difundir sus ideas a través de los medios de comunicación. Alteración de testimonios.
José Royo y Gómez	Organización de los servicios geológicos de Colombia y Venezuela. Contribuciones a la investigación geológica en Colombia.	Fue diputado republicano	Fue condenado a muerte por el gobierno fascista de Franco. Se exilió en Colombia en 1939 y después, en Venezuela en 1951. Tiempo después, falleció.

Blas Cabrera	Contribuciones al campo de las propiedades magnéticas de la materia. Participó en el Congreso Solvay en 1930.	Defensa de la legalidad republicana.	Fue despedido de su cargo de catedrático por los franquistas, sin garantías procesales. Se exilió en México, donde falleció.
Enrique Moles	Reconocimiento internacional por sus trabajos sobre la determinación de los pesos atómicos.	Director general de pólvoras y explosivos del gobierno republicano.	Se exilió en Francia y fue encarcelado cuando regresó a España en 1941. Lo liberaron en 1945. Nunca recuperó su cátedra y tuvo que trabajar en laboratorios privados.

Esta ejercicio también es una oportunidad para conocer más sobre historia de la ciencia colombiana o española. Evitar hacerlo contribuye a una visión WASP de la ciencia y fortalece el arraigo de la misma en países que no son primeras potencias científicas (Solbes & Traver, 1996 y 2003). Por tanto, podrían abordarse las importantes contribuciones al campo científico de Jorge Reynolds,

Salomón Hakim, Emilio Yunis, Martha Lucía Guardiola, Carmenza Duque Beltrán, Dolly Montoya, Luis E. García, Pedro Prieto, Raúl Cuero, Rodolfo Llinás y de algunas instituciones como Cenecafé (Segura, 2002).

A continuación, se presentan algunos científicos de origen colombiano que han hecho importantes contribuciones a la ciencia:

**Tabla 3.** Algunos científicos colombianos que han hecho importantes contribuciones

Científico	Profesión	Contribuciones
Jorge Reynolds	Ingeniero eléctrico	Inventó el marcapasos.
Adriana Ocampo	Astrónoma y geóloga	Responsable de una misión robótica en la NASA.
Martha Gómez	Veterinaria	Investigaciones sobre especies en peligro de extinción.
Salomón Hakim	Médico	Contribuciones a la neurología. Descubridor del síndrome de hidrocefalia normotensiva, inventó una válvula para su tratamiento.
Manuel E. Patarroyo	Médico	Desarrolló la primera vacuna sintética contra la malaria.
Emilio Yunis	Genetista	Contribuciones a la genética humana y médica.
Nelson Sabogal	Ingeniero	Investigaciones relevantes sobre la capa de ozono.
Juan Pablo Hineztroza	Ingeniero químico	Contribuciones a la nanotecnología.
Carmenza Duque	Química	Contribuciones a la química de productos naturales.
Dolly Montoya	Ingeniera farmacéutica	Desarrollo de productos biotecnológicos.
Rodolfo Llinás	Medico	Grande aportes a la neurociencias.
Jairo Quiroga Puello	Químico	Síntesis de sustancias orgánicas para combatir hongos, tumores, tuberculosis e incluso, algunos virus.

Raúl Gonzalo Cuero	Microbiólogo	Inventor de elementos que remueven tóxicos de la tierra. Inventor de material antibacteriano.
Ángela Restrepo	Bacteriología	Efectos del <i>Paracoccidioides brasiliensis</i> , nombre científico del hongo.
Francisco Lopera	Neurólogo	Investigaciones sobre la enfermedad de Alzheimer y de Parkinson.
Nubia Muñoz Calero	Médico	Investigación sobre el cáncer de papiloma humano.
Moisés Wasserman	Bioquímico	Investigaciones sobre enfermedades tropicales.
Jaime Garzón Ferrería	Biólogo marino	Investigaciones sobre arrecifes de coral.
Luis Fernando García	Médico	Bases moleculares celulares sobre la tuberculosis.
Juan Pablo Negret	Físico	Física experimental de altas energías.

En España, se realizó un trabajo con los estudiantes en el que, además de hablar sobre los científicos antes mencionados, se incluyó a Diego de Zúñiga (Universidad de Salamanca), quien aceptó las ideas de Copérnico en 1584; a Jerónimo Muñoz, quien escribió el *Libro del nuevo cometa* (1573) a propósito de la supernova de ese año –su obra fue citada por Tycho Brahe y Galileo–. También, se reconoció la obra de Domingo de Soto (de Salamanca), quien identificó en 1572 el movimiento de caída de graves con el movimiento uniformemente acelerado –antes que Galileo–.

En Medicina, se mencionó a Miguel Servet, quien sugirió la teoría de la circulación menor de la sangre, y Pedro Jimeno y Luis Collado, quienes defendieron la nueva anatomía de Vesalio. Durante el periodo de la Ilustración (s. XVI-II) destacamos a Antonio de Ulloa y Jorge Juan, quienes participaron en la expedición organizada por científicos franceses para medir el arco del meridiano terrestre en Perú. En el campo de la química, se destacan Fausto de Elhuyar, quien descubrió junto con su hermano Juan José el tungsteno o wolframio; por su parte, Andrés del Río descubrió el vanadio en un mineral mexicano en 1801; y Antonio de Ulloa contribuyó al descubrimiento del platino.

En botánica, se destacan Antonio José Cavanilles, quien se formó en París con Jussieu y fue

nombrado director del Jardín Botánico de Madrid en 1801. En medicina, Maestre de San Juan y Lluís Carracido introdujeron la histología a España en el XIX; Jaume Ferrán descubrió la vacuna contra el cólera; y Ramón y Cajal hizo una contribución muy importante al estudio de las neuronas que fue reconocida con el Premio Nobel de Medicina en 1906.

Asimismo, cabe destacar la labor matemática que realizó el ingeniero y literato José Echegaray en la primera mitad del siglo XX. También, se destacan los matemáticos Julio Rey, quien fue profesor en Argentina durante muchos años; Puig Adam, los físicos Miguel A. Catalán, quien trabajó con Sommerfeld; Arturo Duperier, Julio Palacios, con Kamerling Onnes; el químico Rocasolano, especialista en movimiento browniano a quien visitó Einstein; y médicos como Nicolás Achúcarro, Pio del Río-Hortega o Severo Ochoa, premio Nobel de Medicina en 1959.

No se sigue con otros científicos debido al desconocimiento de la relevancia de sus contribuciones. También se mencionan científicas, como la bioquímica Margarita Salas; Celia Sánchez Ramos, fundadora del Laboratorio Neuro-Computación y Neuro-Robótica; Pilar Mateo, presidenta de Inesfly Corporation, S.L. y del Movimiento de Mujeres Indígenas del Mundo (MOMIM); o la oncóloga María A. Blasco.

## Consideraciones finales

Las apreciaciones de los estudiantes permiten generar reflexión en el aula sobre diversos temas, como la criticidad de la ciencia a nivel metodológico. Sin embargo, en el medio académico no se tienen en cuenta cuestiones científicas con impacto social (CSC) y cuando algunos investigadores las abordan y hacen críticas a las instituciones, sufren las consecuencias, como el desprestigio y la descalificación de su trabajo. En ocasiones, las vidas de algunos estuvieron en peligro.

Se destaca que lo ideal sería divulgar los efectos negativos de los productos, pero es evidente que algunas empresas o personas difícilmente lo harían porque hay intereses de por medio. Los casos de científicos como Rachel Carson, Andrés Carrasco, Robert Belle, Gilles Eric Seralini, entre otros, quienes denunciaron las consecuencias de los agros tóxicos, son apenas una muestra.

Los planteamientos presentados en este escrito permiten apreciar cómo la ciencia ayuda a comprender mejor el mundo. Sin embargo, es necesario crear espacios de reflexión ética respecto a las implicaciones de su uso y abuso, y la posterior toma de decisiones.

Por tanto, es preciso analizar cuáles son las orientaciones que se deben tener presentes en la formación de profesores y otros profesionales del área de las ciencias, como la articulación de aprendizajes significativos con la sociedad, y la reflexión de los estudiantes sobre sus actitudes al respecto. De esta forma, se puede comprender que los hechos científicos se desarrollan en un contexto histórico y por ende, reciben influencia de diferentes factores sociales, políticos y económicos.

Por último, se recomienda generar procesos de análisis respecto a los conflictos que han enfrentado algunos científicos a lo largo de la historia debido a las CSC. Es un tema que promueve las competencias para desarrollar el pensamiento crítico que permite valorar las implicaciones éticas de este tipo de investigaciones.

## Referencias bibliográficas

- Acar, O., Turkmen, I., & Roychoudhury, A. (2010). Student Difficulties in Socioscientific Argumentation and Decision-Making Research Findings: Crossing the Borders of Two Research Lines. *International Journal of Science Education*, 32(9), 1191–1206.
- Aranda, D. (3 de mayo de 2009). Lo que sucede en Argentina es casi un experimento masivo. Página 12.
- Dawson, V., & Venville, G. (2010). Teaching Strategies for Developing Students' Argumentation Skills about Socioscientific Issues in High School Genetics. *Research in Science Education*, 40, 133-148.
- Habermas, J. (1981). *The Theory of Communicative Action*. Boston: Beacon Press.
- Kuhn, D. (2010). Teaching and Learning Science as Argument. *Science Education*, 94 (5), 810-824.
- Martinez, L. (2010). *A abordagem de questões sociocientíficas na formação continuada de professores de ciências: contribuições e dificuldades*. Tesis Doctoral. São Paulo: Universidade Estadual Paulista.
- Núñez, J. (s.f.). *La ciencia y la tecnología como procesos sociales. Lo que la educación científica no debería olvidar*. Recuperado el 8 de mayo de 2013, de <http://ict.udg.co.cu/Educaci%C3%B3n%20F%C3%ADsica/P%20S%20DE%20LA%20CIENCIA%20Y%20LA%20TECNOLOGIA.pdf>
- Osborne, J. (2010). Arguing to Learn in Science: The Role of Collaborative, Critical Discourse. *Science*, 328, 463-466.
- Popper, K. (1972). *A lógica da pesquisa científica*. São Paulo: Cultrix.
- Segura, D. (2002). Enseñanza de la ciencia en Colombia. *Innovación y ciencia*, 10(3-4).
- Solbes, J. (2013). Contribución de las cuestiones socio-científicas al desarrollo del pensamiento crítico (I): introducción. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 10 (1), 1-10.

- Solbes, J., & Torres, N. (2013). ¿Cuáles son las concepciones de los docentes de ciencias en formación y en ejercicio sobre el pensamiento crítico? *Tecné, Episteme y Didaxis*, 33, 61-85.
- Solbes, J., & Traver, M. (1996). La utilización de la historia de las ciencias en la enseñanza de la física y la química. *Enseñanza de las Ciencias*, 14(1), 103-112.
- Solbes, J., & Traver, M. (2003). Against a Negative Image of Science: History of Science in the Physics & Chemistry Education. *Science & Education*, 12, 703-717.
- Solomon, K., Anadón, A., Cerdeira, A., Marshall, J., & Sanín, L. (2005). *Estudio de los efectos del Programa de erradicación de cultivos ilícitos mediante la aspersión aérea con el herbicida Glifosato (PECIG) y de los cultivos ilícitos en la salud humana y en el medio ambiente*. Obtenido de <http://www.cicad.oas.org/es/glifosatoInformeFinal.pdf>
- Torres, N. (2014). *Pensamiento crítico y cuestiones socio-científicas: un estudio en escenarios de formación docente*. Tesis Doctoral. Valencia: Universidad de Valencia.
- Torres, N., & Altuzarra, J. (2014). Las apreciaciones de la ciencia y la tecnología en estudiantes de educación no formal: contribuciones hacia su popularización. *Revista Científica*, 18, 67-75.
- Zeidler, D., Sadler, T., Simmons, M., & Howes, E. (2005). Beyond STS: A Research-Based Framework for Socioscientific Issues in Education. *Science Education*, 89 (3), 357-377.

