

Contribución de las cuestiones sociocientíficas al desarrollo del pensamiento crítico (II): Ejemplos

Jordi Solbes

Departamento de Didáctica de las ciencias experimentales y sociales. Universitat de València. jsolbes@uv.es

[Recibido en diciembre de 2012, aceptado en febrero de 2013]

En este trabajo se presentan ejemplos de cuestiones socio-científicas CSC en diferentes campos de la ciencia que pueden contribuir al desarrollo del pensamiento crítico en la educación científica, mostrando competencias críticas involucradas.

Palabras clave: cuestiones socio-científicas; pensamiento crítico; enseñanza de las ciencias.

Contribution of socio-scientific issues to development of critical thinking (II): Examples

This paper presents examples of socio-scientific issues SSI in different fields of science that can contribute to the development of critical thinking in science education, showing critical skills involved.

Key words: socio-scientific issues; critical thinking; science teaching.

Introducción

En el artículo anterior (Solbes, 2013), vimos que la ciencia es metodológicamente crítica, pero si la crítica se queda entre “las paredes del laboratorio”, no se puede considerar la ciencia como pensamiento crítico. De la misma forma, la educación científica para ser metodológicamente crítica tiene que probar sus enunciados, mediante la indagación, no sólo con la autoridad del libro y el profesor. Pero los procedimientos críticos no parecen suficientes, porque también importan los problemas, discursos o acciones a los que se apliquen. De ahí el interés que tiene para desarrollar el pensamiento crítico aplicar estos procedimientos a cuestiones socio-científicas (CSC).

Hay autores (Gardner 2001, Park 2003) que abordan críticamente cuestiones relacionadas con la ciencia (creacionismo y diseño inteligente, ufología, homeopatía, fusión fría y otras pseudociencias), pero adolecen de aspectos sociales. Un libro reciente (Sadler, 2011) se centra en cómo las CSC puede ser incorporadas en las clases de ciencia y otros temas claves como la alfabetización científica, las metas para la enseñanza de ciencias y ciencia para la ciudadanía. Además de estas cuestiones, presenta algunos ejemplos de CSC sobre cambio climático global, genes y representaciones humanas, calidad del aire, etc.

Presentamos a continuación, en esta línea, cinco ejemplos de CSC en diferentes campos de la ciencia. En la 1ª se buscan pruebas empíricas en contra de las creencias astrológicas. En la 2ª se abordan implicaciones sociales de la teoría de la evolución, en particular el darwinismo social. En la 3ª se cuestionan los supuestos fundamentos científicos de pseudo-ciencias como la curación cuántica, la telepatía, etc. En la 4ª se evalúa la credibilidad de las afirmaciones de los medios sobre las centrales nucleares. Y, por último, se debate un tema controvertido, la heredabilidad de la inteligencia, discurso que permite legitimar las desigualdades sociales.

Todas estas CSC han sido utilizadas con estudiantes de secundaria o universitarios (master de secundaria, grado de maestro). Estas actividades se pueden desarrollar trabajando el alumnado en pequeños grupos bajo la supervisión del profesor y/o mediante debates en el aula. Mostraremos, a título de ejemplo, cómo alguna de ellas se articula en la práctica del aula. La familiaridad del alumnado con las mismas es un aspecto relevante para el interés y

participación de los estudiantes y ha permitido realizar los debates sin asignación previa de roles.

Ejemplos de cuestiones socio-científicas

Las actividades propuestas a las y los estudiantes aparecen en cursiva y sangradas y los comentarios a las mismas en normal.

1. Astrología

A. ¿A qué puede atribuirse la creencia de que los astros influyen sobre la vida de las personas? ¿Qué valor puede darse hoy a dichas creencias?

En la primera de estas actividades los estudiantes pueden aportar afirmaciones del folklore popular sobre la conveniencia de plantar plantas o cortarse el cabello en determinadas fases de la Luna. Por ello, es conveniente que se hayan realizado previamente una serie de actividades sobre aplicaciones de la Astronomía, como las que se pueden encontrar en Solbes, Marco, Tarín y Traver (2010). Estas nos permiten ver por qué resulta hasta cierto punto lógico que en la antigüedad se atribuyera a los cuerpos celestes poder sobre los asuntos humanos (e incluso se los divinizará), al comprobar cómo la posición del Sol (los solsticios de verano e invierno y los equinoccios) determina las estaciones y éstas, a su vez, las cosechas. La astrología se fue desarrollando, pues, como una extraña combinación de observaciones meticulosas, datos y cálculos matemáticos, acompañados de creencias y pensamientos confusos y en muchos casos de enormes mentiras. Por ejemplo, la posibilidad de predecir fenómenos inexplicables para la mayoría, como los eclipses, concedía poder e influencia a los sacerdotes egipcios encargados de las observaciones. De hecho, durante muchos siglos, ha resultado prácticamente imposible separar los avances astronómicos de las concepciones astrológicas, hasta el punto de que astrónomos de la talla de Ptolomeo y Kepler mantuvieron creencias astrológicas. Hoy sabemos, sin embargo, que reconocer la importancia del Sol en las estaciones, el ritmo día/noche, la agricultura, la temperatura, etc., o que la Luna controla las mareas, no puede llevar a sostener que el destino de las personas está influido por los astros. No hay ningún argumento científico, ni ninguna recopilación sistemática de observaciones que avalen dichas creencias ingenuas, muy al contrario. Es preciso, pues, denunciar el carácter anticientífico de estas creencias, que siguen siendo explotadas hoy en día por desaprensivos.

A. ¿Sigues tu horóscopo? ¿Por qué?

En cuanto a esta actividad no conviene hacerla en pequeño grupo porque los estudiantes podrían inhibir sus opiniones o creencias. Es mejor pedirles que levanten la mano los que lo siguen y, así, nos podemos encontrar con la sorpresa de que más de la mitad de los estudiantes de grupos de bachillerato científico las levanten (y porcentajes aún mayores en grupos de la ESO). Cuando se les pregunta el por qué muchos aducen la curiosidad e intentan justificarse diciendo que lo siguen pero que no le dan importancia o que no creen en sus afirmaciones. Otra forma es plantearles en un cuestionario ésta y otras preguntas, como por ejemplo que comenten la frase: “La astronomía y la astrología son ciencias distintas”, en la que nos encontramos que sólo un 12,4% del alumnado de la asignatura de Ciencias para el mundo contemporáneo de 1º de bachillerato es capaz de explicar correctamente la diferencia entre la astrología y la astronomía, señalando además que la primera no es una ciencia (Solbes y Palomar, 2011). Esto pone de manifiesto que la astrología ha sido pocas veces criticada en las clases de ciencias, en los medios de comunicación, etc., lo que evidencia un gran déficit de pensamiento crítico de nuestra sociedad.

Como sabemos, algunos medios de comunicación siguen avalando estas creencias publicando horóscopos cada semana, realizando numerosos programas sobre astrología, personas que predicen el futuro, médiums, etc. Y aunque muy a menudo dichos programas tengan una intención fundamentalmente lúdica, son muchos los ciudadanos que los toman en serio.

A. ¿Qué hechos y razones conoces que pongan de manifiesto el carácter acientífico de la astrología?

Si cuando el profesor está supervisando el trabajo de los grupos, observa que estos van desencaminados, les puede facilitar mucho la tarea preguntándoles si conocen gemelos o mellizos o presentándoles el horóscopo del mismo día de dos periódicos distintos que reciba el centro. Así se comprueba fácilmente que los distintos horóscopos predicen cosas distintas o lo suficientemente ambiguas para que sirvan en cualquier caso, lo que pone de manifiesto el carácter acientífico de la astrología. Otra prueba en contra son los gemelos y mellizos que a pesar de haber nacido bajo el mismo signo y ascendente, tienen vidas distintas. En cuanto al zodiaco, que son las constelaciones por donde pasa la eclíptica (la trayectoria del Sol sobre el esquema de estrellas fijas), hay que señalar que en realidad no son doce, sino trece y no tienen una correspondencia exacta con los meses: Aries, Tauro, Géminis, Cáncer, Leo, Virgo, Libra, Escorpio, Sagitario, Capricornio, Acuario, Piscis y Cetus. Esta simple observación astronómica también es contradictoria con la astrología.

Resulta necesario, pues, clarificar estas cuestiones y que los estudiantes comprendan que la Astronomía es una ciencia que estudia el universo, mientras que la Astrología es una creencia que pretende, sin pruebas (o, más bien, sin tener en cuenta todas las pruebas en contra) que los planetas influyen en nuestras vidas personales (Solbes y Palomar, 2011). Y si en tiempo de Ptolomeo la distinción entre ambas no era clara, hoy día sí lo es, aunque algunos estudiantes siguen confundíendolas.

2. Implicaciones sociales de la teoría de la evolución

A. ¿Por qué hay tantas resistencias hacia la teoría de la evolución?

Esta idea experimentó una gran oposición ideológica debido a que se oponía al origen de las especies por creación divina y despojaba a la especie humana de su lugar privilegiado, como Copérnico había desalojado a la Tierra del centro del Universo. También la evolución al azar cuestiona la intervención continua de Dios en la naturaleza viva (como Laplace la había cuestionado en el sistema solar) y sobre todo el finalismo, es decir, el funcionamiento según leyes establecidas por el creador y dirigidas a una finalidad, o lo que es lo mismo, la existencia de un plan del creador.

La controversia empezó ya un año después de publicado *El origen de las especies* entre Wilberforce, obispo de Oxford, y el científico Huxley. El primero continuaba utilizando la interpretación literal de la Biblia contra las teorías científicas de Darwin sobre la evolución y el origen del hombre defendidas por el segundo. Y esto ha proseguido hasta la actualidad en países protestantes, especialmente en EEUU. Se prohibió en algunos estados la enseñanza de la teoría de la evolución, lo que provocó el "juicio del mono" en 1925 en Tennessee, contra un profesor que hizo caso omiso de la prohibición y fue condenado por ello. En Arkansas y Louisiana (EEUU) era obligatorio por ley conceder un tiempo igual a la teoría de la evolución y a las tesis creacionistas hasta fechas tan recientes como 1987 y en Kansas en 1999. La elección de Georges W. Bush ha reforzado las posturas de los fundamentalistas protestantes, que consideran la teoría de Darwin como una hipótesis no probada y exigen que se dedique el mismo tiempo al creacionismo.

En países católicos, como España, las restricciones ideológicas de la última década del reinado de Isabel II impidieron la divulgación del darwinismo (Josep Ortola fue separado de su cátedra

en 1867) hasta la Revolución de 1868. En la Restauración de 1875 aparece un Real Decreto que prohíbe a los profesores realizar manifestaciones contra la monarquía y la religión y les obliga a seguir los libros impuestos desde el ministerio. Unos 39 catedráticos protestaron y 19 fueron apartados de sus cátedras, 5 detenidos y 3 desterrados (Salmerón, Azcárate y Giner de los Ríos). Odón de Buen publicó libros para difundir a Darwin condenados por la Congregación del Índice en 1895, que pidió la destrucción de las obras y la retractación del autor. Estos hechos provocaron manifestaciones estudiantiles.

Pío XII en 1950 sigue planteando la evolución como una teoría no demostrada y por fin, Juan Pablo II en 1996 afirma ante la Academia pontificia de ciencias que la teoría de la evolución “*ha sido aceptada progresivamente por los investigadores, como la continuación de una serie de descubrimientos en diversos campos del conocimiento. La convergencia, que no es buscada ni inventada, de los resultados de trabajos que se realizaron de manera independiente es en sí misma un razonamiento significativo a favor de la teoría*”. Aceptan la evolución biológica incluso para los seres humanos pero sostienen que Dios infunde el alma en el mismo instante de la fecundación lo que les lleva a negar cualquier posibilidad de aborto, sin distinguir entre embrión y feto como hacían algunos doctores de la Iglesia (Sagan, 2000) o cualquier posibilidad de investigación con células madre embrionarias.

A. Spencer afirmaba que la competencia favorece la selección social de los individuos y empresas más aptos. ¿Estas de acuerdo con esta idea? ¿Crees que el darwinismo puede justificarla?

Como las empresas e individuos seleccionados son los que más beneficios económicos tienen, esto se convierte en una ley natural e inevitable, legitimando así el capitalismo. Esta doctrina, denominada darwinismo social, tiene mucha fuerza ya que es la ideología del modo de vida occidental (competencia, individualismo y consumismo), constantemente difundida por los medios de comunicación y el sistema educativo. Conviene que los futuros profesores reflexionen sobre como éste la promueve.

Pero los propios biólogos evolucionistas no eran muy dados a estas interpretaciones. Así Darwin veía en la evolución de la humanidad el creciente dominio de los instintos cooperativos. Wallace defendía que en la lucha social nadie debería tener una ventaja injusta en riqueza o educación, todos deben tener igualdad de oportunidades. Huxley se expresaba contra la idea de que el evolucionismo diese al gobierno una excusa para pasar sus responsabilidades a la naturaleza. Estas otras versiones de la teoría fueron recogidas por algunos socialistas y anarquistas, como Kropotkin, en apoyo del principio de ayuda mutua. Más recientemente Lynn Margulis sostenía que el surgimiento de las células eucariotas era fruto de la cooperación entre algunas procariontas.

Estas ideas fueron extendidas por militaristas como Begehot y racistas como Chamberlain a la lucha entre naciones y razas, en la cual las más fuertes conquistarían a las más débiles, justificando así la esclavitud y el imperialismo militar de EEUU, Japón y diversos países europeos. El darwinismo social también influyó en la eugenesia de Galton, Pearson y Davenport, es decir, en la idea de una mejora planificada de la raza humana mediante la esterilización de los individuos menos aptos. Esto, unido a la aplicación sistemática en el ejército de test de inteligencia de Binet (que ponían de manifiesto la supuesta inferioridad de negros e inmigrantes recientes), llevaron a EEUU a adoptar en 1924 leyes restrictivas de la inmigración y a finales de los años 20, una docena de estados norteamericanos adoptaron leyes eugenistas sobre esterilizaciones cuya constitucionalidad fue ratificada por el tribunal supremo en 1927. En Alemania, a partir de 1933, se publicó una ley eugenista que provocó la esterilización de cientos de miles de personas y abrió el camino a los campos de la muerte.

3. La curación cuántica y otras pseudociencias

A. Muchas personas sostienen la idea de que la conciencia puede curar el cuerpo. Una de sus modalidades es la “curación cuántica”, que asegura hacerlo a través de efectos de mecánica cuántica. ¿En qué fenómenos cuánticos se apoyan? ¿Hay algún fundamento? ¿Qué otras pseudociencias pretenden apoyarse en la física cuántica?

Estas actividades requieren para su realización conocimientos de ideas básicas de la física cuántica, por lo cual sólo se pueden plantear a estudiantes de 2º de bachillerato cuando estén finalizando dicho tema o a estudiantes de la especialidad de física y química del master de profesorado de secundaria.

Estas pseudo-ciencias intentan apoyarse en las grandes diferencias entre la visión clásica y cuántica del comportamiento de la materia y en interpretaciones sobre las relaciones de Heisenberg y el experimento de la doble rendija. Esto no es un hecho reciente ya que, tan pronto como aparecieron, algunos filósofos y físicos (como Heisenberg, Compton o Eddington) se apresuraron a capitalizar el indeterminismo en defensa de sus ideas metafísicas (idealismo, libre albedrío).

Estas interpretaciones fueron utilizadas para apoyar científicamente el misticismo cuántico (popularizado en 1975 por *El Tao de la Física* de Fritjof Capra) y la curación cuántica (difundida en la película de 2004 *¿Y tú qué sabes!?*). El misticismo es un tema personal, pero la sanación es un peligro para la salud pública. Otras pseudociencias que buscan ese apoyo son la telepatía, la telequinesia, etc., paradójicamente reconocidas en los códigos de ciencias y tecnología de la Unesco en la 6110 Parapsicología, que curiosamente no tiene ningún código para la didáctica de las ciencias. Las siguientes actividades nos permiten cuestionar el supuesto fundamento científico de las mismas.

A. Como ejemplo del carácter extraño de la cuántica Feynman utiliza el experimento de la doble rendija. Mirad el siguiente vídeo sobre el mismo y contestad las cuestiones planteadas:

<http://www.youtube.com/watch?v=KYX4ki7y-xI>

¿Qué sucede cuando las bolitas atraviesan la doble rendija? ¿Y las ondas? ¿Y cuándo la atraviesa un haz de electrones? ¿Y si enviamos muchos electrones, pero uno a uno? ¿Qué sucede si medimos por qué rendija pasa el electrón? ¿Cómo lo explica el vídeo?

Cuando las bolitas atraviesan la doble rendija se comportan como partículas (cada bolita atraviesa una única rendija) y tenemos 2 distribuciones de bolitas. Cuando son ondas, obtenemos el característico diagrama de interferencia. Pero cuando son electrones, es decir, supuestas partículas, también se obtiene un diagrama de interferencia. Algunos críticos propusieron que el comportamiento ondulatorio aparece debido al gran número de electrones, que pueden interactuar entre sí. Según esto, la interferencia observada al hacer pasar los electrones por dos rendijas no debería presentarse al trabajar con un número reducido de ellos. Sin embargo, la experiencia muestra que si se prolonga la exposición suficiente tiempo, se produce el mismo efecto, lo que prueba que la interferencia y, por tanto, el carácter ondulatorio es consustancial a cada electrón individual y no es un efecto de la presencia de gran número de ellos.

Pero lo más extraño es la desaparición del diagrama de interferencia cuando “sabemos” por qué rendija pasan los electrones. Esto es lo más inadecuado del vídeo (y el profesor debe advertir de ello a los estudiantes) porque parece que la desaparición del diagrama de interferencia sea debida al “observador”, cuando en realidad es debido a que medimos por donde pasa el electrón. Pero aún es peor cuando el vídeo parece atribuirle libre albedrío al electrón que, según sus propias palabras, “decide actuar de forma inconsciente como si supiera que le están observando”,

dando pie a toda la utilización ideológica y pseudocientífica de la cuántica (Levy-Leblond, 2002).

A. La indeterminación es consecuencia del mismo proceso de medida que, como toda interacción, perturba aquello que se observa (así para ver a un electrón hay que iluminarlo y al hacerlo se le comunica energía alterando su estado y modificando su posición). Según ello la indeterminación aparece indisociablemente unida a la observación. Señalar hasta qué punto pueden considerarse correcta o incorrecta esta afirmación.

Durante la génesis de estos conceptos se atribuyó la indeterminación a faltas de precisión de los instrumentos de observación, lo que es un error. La proposición muestra cómo la relación de indeterminación ha contribuido a clarificar el hecho de que el proceso de medida es una interacción que modifica o que se observa, perturbación que también se verifica en Física clásica -recordemos, por ejemplo, el efecto de un termómetro en un sistema pequeño-, pero introduce el error de unir indisociablemente la indeterminación a la propia observación, induciendo así a pensar que cuando no se está observando, desaparecería la indeterminación. Se olvida así que la indeterminación tiene un origen mucho más profundo que hace referencia a la propia naturaleza de la materia, a su carácter cuántico. La teoría de la decoherencia, que veremos a continuación, aclara el tema de la medida.

A. En 1935 Schrödinger imaginaba un gato enjaulado con un dispositivo letal que se activaba si se desintegraba un átomo de una sustancia radiactiva. Como se había comprobado en átomos y moléculas la validez del principio de superposición, se podía afirmar que antes de abrir la caja el átomo estaba en una superposición de estados ($\Psi_{\text{desintegrado}} + \Psi_{\text{no desintegrado}}$), por lo que el gato estaría también en estado superposición ($\Psi_{\text{vivo}} + \Psi_{\text{muerto}}$). Hasta que no se realiza la medida, en este caso abrir la caja, no sabemos si el gato está vivo o muerto. A este cambio repentino en la función de estado Ψ del sistema cuando se realiza la medida, desde un estado superposición a un estado definido, se la denomina reducción o colapso de la Ψ , que se convierte en un nuevo principio de la cuántica. ¿Cómo se apoyan las pseudociencias en la paradoja del gato de Schrödinger?

Schrödinger, en realidad, quería cuestionar la idea del colapso, ya que es imposible que el gato esté vivo y muerto a la vez antes de abrir la caja. Para resolver esta paradoja, algunos físicos como Eugene Wigner atribuían el colapso a la intervención de un ente supuestamente más allá de la física, la conciencia del observador, pero esta idea es cuestionable, porque muchas veces el observador es un aparato de medida o un ordenador. Otros, como John Wheeler, suponen que cuando se observa el gato, el Universo se desdobra en dos, uno en el que sigue vivo el gato y otro en el que ha muerto. Esto elimina el colapso, pero resulta una solución muy cara en Universos. Vemos aquí un tema característico de las pseudociencias, el papel del observador o de la conciencia, y otro de la ciencia ficción, los universos paralelos.

La *decoherencia* de Dieter Zeh acepta que existe un tamaño (o energía) crítico en el que la superposición deja de ser válida y que la interacción del sistema con el entorno (y una medida es sólo una interacción controlada y reproducible) producirá la ruptura o decoherencia de las superposiciones cuánticas del estado del sistema. Esto introduce una evolución continua, reversible y causal de la función de estado regida por la ecuación de Schrödinger y una interacción (o medición) discontinua, irreversible y aleatoria. Es decir, no es el observador el que produce el colapso a la indeterminación sino las interacciones (o medidas), que introducen una irreversibilidad esencial que puede justificar la validez del 2º principio de la termodinámica.

También en 1935 se desarrolla la famosa paradoja de EPR, un sistema formado por dos electrones con espines antiparalelos que se alejan. Si se mide el espín de uno, instantáneamente sabemos el espín del otro, lo que contradice el carácter límite de la velocidad de la luz. Esto se

usa para justificar la telepatía y la teleportación macroscópica, pero la física cuántica considera que se trata de un único sistema y que, por tanto, una medición sobre un electrón es una medición sobre el otro y, por otro lado, no hay ningún transporte de materia o energía en la medida. Recientemente se están utilizando sistemas de este tipo (de estados entrelazados o enredados) en aplicaciones prácticas como la criptografía o la computación cuántica.

4. Nucleares y antinucleares.

A. Algunos señalan que las centrales nucleares pueden ayudar a frenar la producción mundial de CO₂. Otros que es una energía muy difundida, con más de 430 reactores en funcionamiento que producen ya alrededor del 17% del total de la electricidad en el mundo, tanta como la que proviene de la energía hidroeléctrica. Frente a esto, el número de accidentes es bajo y, en consecuencia, se puede afirmar que es una energía segura. Además afirman que es barata y que la dosis de radiación anual en las proximidades de una central es inferior a la ambiental. ¿Puedes cuestionar con pruebas científicas estos argumentos?

Esta actividad se puede plantear como un debate, pero hay que tener presente que se puede generar un debate siempre que se pone a gente a defender posturas diferentes (solo hay que ver algunos programas televisivos). El tema es que en los debates sociocientíficos, es decir, en controversias sociales que tienen su base en temas científicos, muchas veces la comunidad científica tiene un fuerte consenso respecto a una de las posturas, con lo cual generar un debate es darle alas a una postura que no las tiene o favorecerla, porque el alumnado que participa en los debates piensa que en los mismos se tiene que llegar a un equilibrio de las posturas enfrentadas. Un ejemplo típico de ello es el debate sobre la validez o no de la Astrología, ya que en el fondo, la confrontación con científicos da más autoridad a los astrólogos. Igualmente sucede con el debate sobre el cambio climático y su origen antrópico. De hecho muchos debates nunca se cierran porque hay detrás intereses de grupos poderosos que quieren mantenerlos.

Otra manera de abordarla, como proponemos aquí, es presentándoles a los estudiantes los argumentos que aparecen usualmente en los medios de comunicación y pidiéndoles que los pongan en cuestión. Conviene señalar que con el olvido de Chernobil y el problema del calentamiento global, había ido calando en la opinión, particularmente entre los estudiantes de físicas, químicas, etc. e incluso en ecólogos como Lovelock, la necesidad de construir nuevas centrales nucleares. Fukushima, cuya gravedad trataron de minimizar los defensores de las centrales nucleares, ha provocado el replanteamiento de la cuestión y que el gobierno alemán haya legislado el cierre de las centrales.

La afirmación de que las centrales evitan la producción de CO₂ es falsa, porque se centra sólo en la etapa de funcionamiento de la central, olvidando que su construcción, y sobre todo el enriquecimiento y transporte del Uranio consume mucha energía eléctrica y combustibles, por tanto, produce CO₂. También lo produce en abundancia el desmantelamiento de la central y el transporte de los residuos. Y, por otra parte, el uranio es un recurso no renovable. Según cual sea el consumo, se barajan escenarios de agotamiento entre 2030 y 2070.

Sostener que el coste del kw-h nuclear es muy barato también es una falsedad que olvida el apoyo gubernamental a esta energía y que se basa en la misma falacia que el punto anterior, considerar sólo la fase de funcionamiento. Pero si se incluyen todos los costes del proceso, incluyendo enriquecimiento del uranio, construcción y desmantelamiento de la central (que es toda ella un residuo radiactivo) y el almacenamiento de los residuos, que es financiado por los contribuyentes, ya no resulta tan barata.

La idea de que los adelantos tecnológicos y la experiencia en el uso de las centrales nucleares hacen que la seguridad sea cada vez mayor, olvida la gravedad de los tristemente famosos accidentes de Chernobil (1986) y de Fukushima (2011). Pero se han producido muchos otros no tan conocidos por el público. Así, Wikipedia menciona 31 accidentes nucleares civiles graves, algunos de los cuales han obligado a cerrar centrales nucleares, como Vandellós I en 1989. Tampoco se contabilizan los militares en tiempos de paz (como la caída de armas nucleares en Palomares en 1966, cuyas secuelas aún están sin resolver) y otros que regímenes dictatoriales, como los de Stalin y Franco, consiguieron mantener en secreto. Podemos referirnos a la fuga de desechos de alta radiactividad del Centro de Energía Nuclear de Madrid en 1970 al Manzanares, Jarama y Tajo, así como a los canales de riego alimentados por esos ríos, produciéndose la más grave contaminación radiactiva de la historia de España (Yarnoz y Yoldi, 1994). Los problemas son tan graves que no hay empresa aseguradora (ni consorcio de las mismas) que quiera hacer pólizas a las centrales. Aun más, si se tienen en cuenta que las éstas pueden ser objeto de atentados terroristas, como el que obligó a cerrar y dismantelar Lemóniz I y II en el País vasco, cuando habían finalizado las obras y tan sólo faltaba la introducción del combustible nuclear, costando ese proceso unos 6000 millones de euros.

También se dice que las centrales son poco contaminantes o que producen menos contaminación radiactiva que la propia naturaleza. Esto se basa en el funcionamiento normal, olvidando los accidentes de distinta gravedad que producen emisiones y que los productos radiactivos naturales tienen masas elevadas y, por tanto, son difícilmente asimilables, salvo el radón que se inhala. Pero los elementos radiactivos fruto de las reacciones de fisión, como el estroncio 90, el cesio 137 o el yodo 131, tienen masas intermedias, con lo cual son asimilados con facilidad por los seres vivos, entrando en la cadena alimentaria. Así, el I-131 se concentra en la tiroides y, para evitarlo, se suministró yodo a la población después de Fukushima.

En cuanto a los residuos y la seguridad de los almacenamientos es un tema no resuelto, por eso nunca se menciona. Entre 1963 y 1983 se vertieron más de 140000 toneladas de residuos radiactivos en la fosa atlántica, a 700 km de Galicia. Cuando Cousteau mostró fotografías de los "seguros" bidones abiertos, se prohibió esta actividad. Ahora se ha optado por el almacén temporal centralizado (ATC) en Francia y Reino Unido y, recientemente, en España, concebidos para unos 100 años. Solo EEUU dispone de un almacén geológico profundo (AGP) destinado a residuos militares. Conviene recordar que en el combustible gastado de los reactores se encuentran sustancias como el plutonio 239 (vida media de 24400 años), el neptunio 237 (vida media de 2130000 años) y el plutonio 240 (vida media de 6600 años). Se supone que el almacenamiento de estos residuos debe ser garantizado por decenas de miles de años hasta que la radiactividad baje lo suficiente como para que dejen de ser peligrosos, pero la obra humana más duradera (las pirámides) no excede de los 4500 años.

Por último, no hay que olvidar que el primer reactor nuclear lo inventa Fermi, en el marco del proyecto Manhattan, para producir el plutonio que se usó en la bomba de Nagasaki (1945). Era una alternativa por si fallaba el enriquecimiento de uranio, que se usó en la bomba de Hiroshima. De ahí, la gran preocupación de que algunos países, como Irán, puedan tener una central nuclear. Esto supuso el inicio de la guerra fría y de la carrera nuclear que prosigue, pese a la oposición de muchos científicos (Solbes, 2013), al ser producidas nuevas bombas en la URSS en 1949 y en el Reino Unido en 1952. La réplica norteamericana fue la autorización en 1950 por Truman de un nuevo programa de investigación para desarrollar la bomba H, conseguida en 1952. Esto lleva a los soviéticos a producir su bomba H en 1953 y a los ingleses en 1957. Paralelamente se trataba de convencer a la opinión pública, mediante campañas como la de "átomos para la paz", iniciada en 1954 por Eisenhower, que la investigación nuclear realizaba contribuciones no bélicas, como la producción de energía eléctrica mediante centrales nucleares. Pero hasta 1956, once años después de Hiroshima y dos años después del

inicio de la campaña propagandística, no se pone en marcha la primera central nuclear productora de electricidad en Calder Hall (Gran Bretaña) y en 1957 la de Shippingport (EEUU).

Esto no quiere decir que haya que cerrarlas todas “ipso facto”, porque pueden facilitar una transición hacia las renovables, pero cuestiona la construcción de otras nuevas. Tampoco plantea el abandono de los isótopos radiactivos en sus múltiples aplicaciones médicas, industriales, etc.

5. ¿Está en los genes?

A. Realizad un debate sobre qué influye más en la inteligencia, la herencia o el entorno.

Se trata de un tema que se puede abordar con el alumnado de Bachillerato. También en la formación del profesorado, que manifiestan estas ideas y, por ello, es necesario debatirlas explícitamente, con una actividad similar relacionada con la docencia.

A. Qué opinas de la siguiente idea: “hay muchos alumnos que “no pueden” debido a sus limitaciones intelectuales, y otros que “no quieren” debido a problemas de carácter, de personalidad. En el fondo se trata de problemas en gran parte de origen familiar y genético”.

Se trata de una idea con una larga tradición, ya que apoya los discursos legitimadores de la desigualdad (Jiménez-Aleixandre y Puig, 2010). Por ello merece un análisis detallado que ha sido realizado por autores como Gould (1997), Lewontin (1984), Lewontin, Rose y Kamis (1997), etc. Ponen de manifiesto que es una idea de sentido común y así se puede encontrar expresada en novelas decimonónicas, en las que la fuerza de la sangre mantiene “buenos” a los huérfanos de “buenas” familias a pesar de los medios miserables en que se crían, como Oliver Twist, y que alcanza su máxima expresión en el determinismo de la herencia de Zola.

Médicos como Broca, Lombroso y otros, trataron de medir la inteligencia con medidas del tamaño del cerebro. Y así “demostraron” que las mujeres o muchas poblaciones indígenas eran menos inteligentes porque sus cerebros eran menores, justificando así que no se permitiese estudiar o votar a las mujeres, la colonización, etc.

Francis Galton y su discípulo Karl Pearson trataron de demostrar que el genio era hereditario con estudios estadísticos. El psicólogo Binet en lugar de medir el cerebro trató de medir la inteligencia, con la idea de identificar a los niños que no podía aprovechar la instrucción y buscar métodos para incrementar esa inteligencia. Esta segunda parte fue olvidada por los psicólogos anglosajones (Goddard, Spearman, Terman, etc.), que elaboran test que medían una única cantidad innata, el coeficiente intelectual (CI), en gran parte fruto de la herencia y poco modificable por el ambiente familiar, escolar. Esto se ponía de manifiesto objetivamente, según ellos, porque los peores resultados los obtenían personas de la clase trabajadora, de minorías raciales, inmigrantes, etc., lo que les permitía explicar las desigualdades sociales por desigualdades de inteligencia. Se utilizaron sistemáticamente en el ejército, el sistema educativo, los inmigrantes, etc., con una finalidad clasificatoria. Algunos, como Cyril Burt, trataron de demostrar el carácter hereditario del CI y la poca influencia del ambiente, haciendo estudios con gemelos educados por familias diferentes que parecían confirmar sus tesis.

No es extraño que partidarios del carácter hereditario de la inteligencia, como Galton o Pearson, defiendan el eugenismo, tema mencionado en la actividad del darwinismo social. Sin llegar tan lejos, los defensores de la inteligencia heredada también suelen ser partidarios de medidas clasificatorias y selectivas en educación. Así Cyril Burt influyó en la implantación en el sistema educativo del examen “eleven plus”, que como nuestras reválidas pasadas (¿y futuras?), impedía que los alumnos prosiguiesen estudios a partir de una determinada edad si no los superaban. Lewis M. Terman, creador del test Stanford-Binet (modelo de los

posteriores) e introductor del CI era partidario de itinerarios para alumnos superdotados, brillantes, promedio, lentos y especiales, cada uno de los cuales tendría un currículo especializado.

Pero el gran desarrollo de la genética (a partir del descubrimiento de la estructura del ADN por Watson y Crick) dio pie al determinismo genético en consecuencia una serie de rasgos del individuo, como la inteligencia, están determinados genéticamente. Consecuentemente, a partir de los años 60 vuelven a aparecer teorías sobre el origen hereditario (genético) de la inteligencia como las de Jensen o Eysenk.

Afortunadamente hay muchas corrientes psicológicas, como las teorías de Thurstone, Guilford o Gardner, que consideran que la inteligencia está constituida por una serie de aptitudes mentales independientes e igualmente importantes, como la comprensión verbal, la numérica, la espacial, la memoria, el razonamiento, etc., lo que imposibilita la clasificación de los individuos en una única escala (el CI). Los conductistas y sus principales críticos, los cognitivos, cuestionan la estabilidad de la inteligencia y centran su estudio en los procesos (conductuales en un caso y cognitivos en el otro) que la constituyen que, como tales procesos, son dinámicos y susceptibles de mejora. También han demostrado que los test de CI incluían referentes culturales específicos, e incluso juicios clasistas, comportamientos socialmente aceptables o estereotipos sociales.

Pero las críticas más aceradas a las teorías de la inteligencia hereditaria provienen de biólogos como Gould, Lewontin, etc. Ponen de manifiesto cómo muchos resultados de dichas teorías se han obtenido violando los cánones de la objetividad científica. Así, Cyril Burt falsificó resultados, inventando pares de gemelos idénticos. Respecto al determinismo genético subrayan que nadie ha podido relacionar ningún aspecto del comportamiento social humano con un gen particular, ya que los rasgos que manifiesta un organismo, el fenotipo, no están determinados por el genotipo. Son una consecuencia de la interacción de genes y ambiente, por lo que Lewontin (1984) afirma: "*Todo organismo está en continuo desarrollo durante toda su vida, bajo la influencia de lo heredado y el ambiente donde se desenvuelve*". Neurocientíficos como Willingham (2011) señalan que nuestra herencia genética influye, pero que lo hace más el entorno y, entre muchos ejemplos, menciona aumentos del CI del 10 % en programas de intervención educativa o el incremento del CI entre 15 y 20 % en el último medio siglo en países occidentales (efecto Flint), debido a las mejoras en educación, nutrición y sanidad.

Conclusiones y perspectivas

Estas CSC, y otras similares, se han utilizado con estudiantes de secundaria, de universidad y en formación del profesorado. En todos los niveles han tenido buena acogida y han favorecido la argumentación, el debate y al desarrollo de competencias críticas de los y las estudiantes, entre las que podemos mencionar:

1. Comprender la ciencia como actividad humana y las múltiples relaciones CTSA.
2. Estar informado sobre el tema, sin limitarse al discurso dominante, cuestionando la validez de los argumentos, rechazando conclusiones no basadas en pruebas y evaluando la credibilidad de las fuentes teniendo en cuenta los intereses subyacentes.
3. Estudiar la CSC de manera integral, en su complejidad, de manera que se involucren dimensiones científicas, técnicas, éticas, culturales, sociales económicas, ambientales, etc.
4. Realizar juicios éticos en torno a la CSC atendiendo a la contribución de la misma a la satisfacción de necesidades humanas.

5. Llegar a conclusiones que lleven a tomar decisiones fundamentadas y a promover acciones para el mejoramiento de la calidad de vida.

En bachillerato, la asignatura de *Ciencias para el mundo contemporáneo*, es un ámbito muy adecuado para las CSC y, por ello, puede jugar un papel importante en la alfabetización científica y ciencia para la ciudadanía (Solbes et al 2010). Quizá por ello y lamentablemente, esta asignatura va a desaparecer con los nuevos planes educativos del gobierno. Pero esto no impide el abordaje de las CSC ya que las aquí presentadas, a título de ejemplo, también se han utilizado en el marco de asignaturas como las Ciencias de la Naturaleza de la ESO, la Física del Bachillerato o, a nivel universitario, en Ciencia para maestros o en el máster de profesorado de secundaria.

Como perspectiva, estamos investigando (Solbes y Torres, 2012) sobre las competencias críticas que tienen los y las estudiantes y si es posible mejorarlas con CSC.

Referencias Bibliográficas

- Gardner, M. (2001). *¿Tenían ombligo Adán y Eva?* Madrid. Debate.
- Gould, S.J. (1997). *La falsa idea del hombre*. Ed. Revisada y ampliada. Barcelona: Crítica.
- Jiménez-Aleixandre, M.P. y Puig, B. (2010). Argumentación y evaluación de explicaciones causales en ciencias: el caso de la inteligencia. *Alambique*, 63, 11-19.
- Levy-Leblond, J.M. (2002) *Conceptos contrarios o el oficio de científico*. Barcelona: Tusquets.
- Lewontin, R. (1984). *La diversidad humana*. Barcelona: Prensa científica.
- Lewontin, R.C., Rose, S. y Kamis, L.J. (1996). *No está en los genes*. Barcelona: Grijalbo.
- Park, R.L. (2003). *Ciencia o vudú*. Barcelona: R.H. Mondadori.
- Sadler, T. (ed). (2011). *Socioscientific issues in the classroom*. Dordrecht: Springer.
- Sagan, C. (2002). *Miles de millones*. Madrid: Suma de Letras.
- Solbes, J. (2013). Contribución de las cuestiones sociocientíficas al desarrollo del pensamiento crítico (I): Introducción. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias* 10 (1), 1-10. En línea en: <http://hdl.handle.net/10498/14993>.
- Solbes, J. y Palomar, R. (2011). ¿Por qué resulta tan difícil la comprensión de la Astronomía a los estudiantes? *Didáctica de las Ciencias Experimentales y Sociales*. 25, 187-211. En línea en: <http://roderic.uv.es/handle/10550/21338>
- Solbes, J., Marco, D., Tarín, F. y Traver, M. (2010). *Ciencias para el mundo contemporáneo*. Madrid, Ministerio de Educación. En línea en: http://leer.es/wp-content/uploads/web_cmc/index.htm
- Solbes, J. y Torres, N.Y. (2012). Análisis de las competencias de pensamiento crítico desde el abordaje de las cuestiones sociocientíficas: un estudio en el ámbito universitario *Didáctica de las Ciencias Experimentales y Sociales*. 26, 247-269. <http://ojs.uv.es/index.php/dces/article/view/1928>
- Willingham, D.T. (2011). *¿Por qué a los niños no les gusta ir a la escuela?* Barcelona: Graó.
- Yarnoz, C. y Yoldi, J. (1994). Los informes secretos del accidente nuclear de Madrid. *El País*, 24 de Octubre. http://elpais.com/diario/1994/10/24/sociedad/782953223_850215.html