

# Capítulo 7

## ¿Qué hacer antes de finalizar?

---

*Daniel Gil Pérez y Amparo Vilches*

### **ALGUNAS CUESTIONES QUE SE ABORDAN EN ESTE CAPÍTULO**

- ¿Qué aspectos de la actividad científica convendría tratar, con una cierta profundidad, al recapitular el trabajo realizado?
- ¿Cuáles son las revoluciones científicas y las fusiones entre distintos campos que conviene tener particularmente presentes en las recapitulaciones, para evitar que estos momentos cumbre del desarrollo científico pasen desapercibidos, como desgraciadamente ocurre a menudo?
- ¿Qué papel han de jugar las relaciones CTSA en las recapitulaciones?
- ¿Cuál puede ser el papel de la educación no formal (no reglada) en la enseñanza de las ciencias?
- ¿Qué papel conceder a la comunicación en el proceso de enseñanza y aprendizaje de las ciencias y, en particular, en las recapitulaciones?

### **EXPRESIONES CLAVE**

Recapitulaciones; regulación del trabajo realizado; procesos de unificación; historia de la ciencia; relaciones CTSA; perspectivas abiertas; educación no formal.

## INTRODUCCIÓN

En esta segunda parte estamos desarrollando una propuesta alternativa para la enseñanza de las ciencias que intenta salir al paso de las deficiencias señaladas en la literatura. Y hasta aquí hemos abordado cuestiones centrales en el proceso de enseñanza/aprendizaje, como la introducción de conceptos, el papel del trabajo experimental o la resolución de problemas de lápiz y papel. No debe extrañar, pues, en la línea que venimos defendiendo de aproximar el proceso de aprendizaje a una investigación orientada, que dediquemos ahora un capítulo a la consideración de lo que, sin embargo, habitualmente ocupa, en el mejor de los casos, algunas líneas al final de un tema. Intentaremos mostrar que las recapitulaciones y la consideración de las perspectivas abiertas constituyen una ocasión privilegiada para abordar aspectos fundamentales de la actividad científica, a menudo insuficientemente desarrollados.

---

### Propuesta de trabajo

---

*¿Qué aspectos de la actividad científica convendría tratar, con una cierta profundidad, al recapitular el trabajo realizado?*

---

Entre los aspectos de la actividad científica que es necesario desarrollar con alguna profundidad al recapitular un trabajo de investigación o, como es el caso que nos ocupa, al recapitular un proceso de aprendizaje orientado como una actividad próxima a una investigación, destacaremos los siguientes:

- La regulación de la propia investigación que se está realizando.
- La remodelación del cuerpo de conocimientos.
- La integración de dominios aparentemente inconexos.
- La reconsideración de las implicaciones CTSA.
- El análisis de las perspectivas abiertas y la toma de decisiones al respecto.
- La comunicación del trabajo realizado..

No se trata, por supuesto, de relegar estas tareas al final de un tema. La necesidad de recapitular en un momento dado puede venir impuesta, por ejemplo, por unos resultados que cuestionan las conjeturas que orientaban la investigación, lo que obliga a revisar el proceso seguido, es decir, a recapitular. Pero, incluso cuando todo parece funcionar según lo previsto, las recapitulaciones son absolutamente necesarias y cumplen funciones esenciales como las señaladas.

Podríamos decir que una recapitulación constituye una pausa de reflexión, de distanciamiento crítico de la rutina de acciones emprendidas, para *repensar* la investigación a partir de la reconsideración de los propósitos iniciales y de nuevas cuestiones asociadas a algunos resultados *inesperados* obtenidos: desde la posible vinculación del estudio realizado con otros campos de investigación hasta nuevas implicaciones prácticas, dilemas éticos, etc.

Hablar, pues, de recapitulación, no es hablar necesariamente del final de un tema, pero es indudable que la recapitulación y el establecimiento de perspectivas tienen un papel importante que jugar en la culminación de un estudio, antes de pasar a otro nuevo. De aquí

que los abordemos ahora, como otras actividades básicas para el estudio científico de una cierta problemática, por desgracia escasamente contempladas en la enseñanza habitual.

Intentaremos seguidamente discutir y ejemplificar someramente cada uno de los aspectos señalados.

## LA REGULACIÓN DEL PROCESO DE INVESTIGACIÓN

---

### Propuesta de trabajo

---

*Consideremos el papel de las recapitulaciones en la regulación y reorientación de los procesos de investigación. Analicemos, en particular, las dificultades con las que en ocasiones puede tropezar la reorientación y adecuado desarrollo de una investigación, lo que hace más necesaria, si cabe, la recapitulación.*

---

Si tenemos en cuenta que una investigación no sigue un proceso lineal, absolutamente prefijado, se comprenderá la importancia de recapitulaciones periódicas con objeto de regular convenientemente el proceso y reorientarlo, si fuera necesario, para proseguir adecuadamente el tratamiento de los problemas investigados, contemplando y evaluando los logros, modificando o precisando las conjeturas de partida, concibiendo nuevos diseños experimentales, o incluso redefiniendo los problemas estudiados.

Estos replanteamientos no siempre son fáciles, sobre todo cuando tropiezan con “evidencias” aceptadas como hechos incuestionables. Pensemos, por ejemplo, en cómo la aceptación de que todos los objetos celestes debían girar en círculos perfectos en torno a la Tierra o en torno a puntos que, a su vez, giraran en torno a la Tierra (debido a la creencia de que en el cielo todo había de ser perfecto y eterno) bloqueó durante siglos los avances en astronomía, obligando a imaginar la combinación de hasta 70 (!) movimientos circulares para explicar la trayectoria observada de un planeta (Holton y Roller, 1963).

El trabajo de Copérnico, tal como él mismo lo describió en *De Revolutionibus orbium coelestium*, constituye un ejemplo de recapitulación que ayudó a comprender la inutilidad de ir añadiendo movimientos circulares para lograr predicciones adecuadas y la necesidad de *concebir* otras posibilidades, lo que permitió reorientar la investigación astronómica con la audaz hipótesis de aceptar el movimiento de la Tierra y su giro alrededor del Sol. Una hipótesis que se atrevía a desafiar la “evidencia” del reposo de la Tierra (y los dogmas religiosos al respecto), pero que Copérnico fundamentó, no sólo en la imposibilidad de dar cuenta de las observaciones astronómicas con el modelo geocéntrico aceptado, sino también en una búsqueda de otras concepciones que pudieran haber sido sostenidas a lo largo de la historia.

Naturalmente, no todas las recapitulaciones tienen una repercusión tan notable en el curso de una investigación, pero es importante que los alumnos conozcan y aprecien la necesidad de las mismas y, sobre todo, que lo pongan en práctica.

El ejemplo que hemos mencionado nos pone además en contacto con otras de las funciones que las recapitulaciones pueden tener en el desarrollo de los conocimientos

científicos. Nos referiremos, en primer lugar, a la remodelación del cuerpo de conocimientos, que en este caso concreto constituyó un profundo cuestionamiento de las tesis aceptadas, provocando una auténtica revolución científica.

## LA REMODELACIÓN DEL CUERPO DE CONOCIMIENTOS

Las investigaciones científicas se apoyan en cuerpos de conocimientos más o menos desarrollados y sus resultados contribuyen, en mayor o menor medida, al afianzamiento y evolución de los mismos. Pero, como ya hemos discutido al analizar las visiones deformadas de la ciencia (capítulo 2), éste es un proceso complejo que puede ir desde el simple reforzamiento del cuerpo de conocimientos de partida, con retoques puntuales del mismo, hasta auténticas revoluciones teóricas como la que supuso, por muchas razones, el paso del geocentrismo al heliocentrismo. Este carácter rupturista, revolucionario, que tienen algunos desarrollos científicos debe ser resaltado, en primer lugar, para favorecer una mejor comprensión de cómo evolucionan los conocimientos científicos, evitando visiones de crecimiento lineal, puramente acumulativo. Pero también porque estas revoluciones científicas suponen momentos culminantes en la historia del pensamiento.

Igualmente importantes son las contribuciones que vienen a reforzar un cuerpo de conocimientos, mostrando su capacidad para predecir y/o explicar coherentemente un amplio espectro de hechos y su aplicabilidad en una multiplicidad de situaciones. Resulta necesario, pues, tener presente explícitamente cómo un cierto estudio afecta al cuerpo de conocimientos de partida, reforzándolo, matizando algún aspecto o, en algunas ocasiones, provocando transformaciones más radicales que conocemos como revoluciones científicas (Kuhn, 1971).

Puede ser conveniente recordar las revoluciones científicas que conozcamos, en cualquiera de los campos que se estudian en la educación secundaria superior (15-18 años) en la que se centra nuestro trabajo, con objeto de evitar que pasen desapercibidos, como desgraciadamente ocurre a menudo, estos momentos cumbre del pensamiento.

---

### Propuesta de trabajo

---

*Señalemos cuáles han sido, en nuestra opinión, algunas de las más*

*importantes revoluciones científicas.*

---

En primer lugar, debemos hacer referencia, por supuesto, al paso del geocentrismo al heliocentrismo, iniciado principalmente por Copérnico y sustentado y enriquecido por el trabajo de Kepler, Galileo, Newton y muchas otras personas, que aparece como el paradigma de las revoluciones científicas, por lo profundamente que afectó tanto a las ideas científicas como a las concepciones del lugar que ocupan los seres humanos en el universo. Y este paso no fue nada fácil ya que, por un lado, el modelo geocéntrico, que tuvo vigencia durante más de veinte siglos, se apoyaba en ideas fuertemente arraigadas basadas en experiencias de la vida cotidiana, en simples observaciones de sentido común. Y, por otro, la visión cosmogónica del mismo, en la que la Tierra ocupaba el centro del universo, se veía apoyada por los dogmas religiosos de la época. Por ello, antes de que las nuevas ideas fueran aceptadas, hubo que superar fuertes oposiciones, barreras y dogmas, largos enfrentamientos entre los defensores del sistema vigente y quienes proponían el

nuevo modelo. Y enfrentamientos, conviene insistir, no sólo en el ámbito científico, sino también, y sobre todo, en el ideológico, con persecuciones y condenas que mostraban hasta qué punto el conocimiento científico está imbricado en las concepciones del mundo y estaba teniendo lugar, pues, una auténtica revolución de las ideas que culminaría con el establecimiento de la Teoría de la Gravitación Universal. No es extraño, por ello, que cuando se quiere resaltar que se ha producido un cambio radical en un campo de conocimientos se hable de “giro copernicano” o “revolución copernicana”.

Otro momento que podríamos calificar de gran revolución científica y que como en el anterior hubo de vencer fuertes resistencias ideológicas, que incluso hoy desgraciadamente perduran en algunos países, corresponde a la introducción de la Teoría de la Evolución. Desde la publicación de la obra *El origen de las especies*, de Charles Darwin, uno de los libros más famosos e influyentes de la historia del pensamiento, la Teoría de la Evolución ha constituido un marco de referencia indispensable para comprender la posición de los seres humanos en el cosmos. Si la Teoría Heliocéntrica desplazó a la Tierra del centro del universo, la Teoría de la Evolución desplazó al género humano del lugar que hasta entonces había ocupado, como “cumbre de la Creación”, sin relación alguna con el resto de los seres vivos. Y, una vez más, la teoría no fue solamente un acontecimiento científico de primera magnitud, también tuvo el mismo impacto social. Generó grandes controversias y fue conocida en todos los ámbitos, provocando grandes debates en los que se entremezclaban los argumentos científicos y las consideraciones de tipo ideológico, religioso e incluso político, verdaderas batallas contra fuertes prejuicios, ideas aceptadas desde hace siglos, apoyadas en las tesis creacionistas.

No podemos olvidar referirnos a la revolución que supuso el fin de la Teoría Vitalista, que negaba la posibilidad de la síntesis de sustancias orgánicas. Como en otros momentos de la historia del pensamiento a los que nos estamos refiriendo, el camino fue largo y complejo, con un enfrentamiento sostenido entre los vitalistas y los continuadores de la revolución iniciada por Lavoisier, al acometer el análisis de la composición tanto de las sustancias inorgánicas como orgánicas y encontrar que las primeras tenían elementos que también formaban parte de las sustancias de origen biológico. Pero el vitalismo, la idea de la necesidad de un “principio vital” no sometido a las leyes físico-químicas, que separaba a los seres vivos de los inanimados haciendo posible los procesos de la vida, estaba fuertemente establecido en diferentes campos del saber (en particular, en el campo de la medicina: anatomía, patología, morfología, fisiología...) y sustentado en dogmas religiosos considerados inmodificables. Un paso importante en la superación del vitalismo tuvo lugar en el campo de la química orgánica, con la obtención por Wöhler de la sustancia orgánica urea, a partir del compuesto inorgánico cianato de amonio. Aunque se necesitaron todavía muchos años para que las nuevas ideas fueran aceptadas, sus trabajos, junto con los de Liebig, Bunsen, Hofmann, Kekulé, Kolbe y muchos otros, hicieron insostenibles las tesis vitalistas.

Nos hemos referido a la auténtica revolución que supuso el abandonar el geocentrismo, es decir, la idea de un cielo permanente, inmodificable, no sometido a fuerza alguna, girando indefinidamente alrededor de una Tierra en reposo absoluto. También hemos resaltado la revolución que supuso el evolucionismo, que llevó a abandonar la concepción de unas especies inmodificadas e inmodificables desde el “acto de su creación”. Pero se seguía pensando que muchas cosas permanecían inalterables. Por ejemplo hasta principios del siglo XX, todavía se pensaba que el universo constituía un sistema estacionario. Aceptar que nuestra galaxia no es la única y que se alejan unas de otras supuso una profundización en el cuestionamiento del modelo geocéntrico. También la distribución de

los continentes de la Tierra se consideraba permanente y, aunque hubo algunos precursores, el mayor impacto en torno a la idea del movimiento de los continentes se produjo con la publicación del libro *El origen de los continentes y océanos*, de Wegener, en 1915. La deriva de los continentes supuso también un paso revolucionario en el ámbito de las Ciencias de la Tierra, como los ejemplos anteriores lo fueron en el campo de la química, la física o la biología, que contribuyó a una mejor comprensión de nuestro “cambiante” planeta. El pasar de creer que los continentes se formaron y desarrollaron en lugares fijos a aceptar que el mundo estaba inicialmente aglutinado en un inmenso continente único que mediante un lento mecanismo dio lugar a nuestros continentes actuales, tampoco fue un camino sencillo. Ciertas barreras ideológicas persistían, aunque la situación social era bien diferente a la que se vivía en las épocas de los ejemplos de las revoluciones anteriores. Como en otras ocasiones, estas ideas encontraron poco eco y hubo que esperar a mediados del siglo para que nuevas evidencias apoyaran la idea del movimiento de los continentes y condujeran a la Teoría de la Tectónica de Placas, que supone la Tierra dividida en un conjunto de unidades rígidas o placas que contienen los continentes y partes de los fondos oceánicos y se desplazan lentamente entre sí.

Y merece la pena detenerse también en la gran revolución de la física, y de toda la ciencia en general, a comienzos del siglo XX, que supuso el cuestionamiento de algunos de los conceptos considerados más sólidos de la ciencia y que condujeron a la Física Relativista y a la Física Cuántica. La imposibilidad de explicar una serie de fenómenos a la luz de las teorías clásicas provocó una de las más profundas crisis de la historia de la ciencia que, sin embargo, como en las otras crisis que hemos considerado, acabaría generando un impresionante crecimiento, la construcción de un nuevo paradigma científico que iba a permitir una mejor comprensión de la materia y del cosmos en general. Una revolución que, apoyándose en la respuesta a nuevas preguntas, al desarrollo y profundización del electromagnetismo, a la interpretación de fenómenos como los rayos X, la radiactividad, etc., condujo a la formulación por Albert Einstein de la Teoría Especial y la Teoría General de la Relatividad, que dieron un vuelco a nuestras ideas de espacio y tiempo, y a la Mecánica Cuántica, que contribuyó a cambiar por completo nuestra comprensión de la naturaleza de la materia y la radiación, desarrollada por De Broglie, Heisenberg, Schrödinger y muchos otros a partir de las contribuciones de Planck. Una nueva revolución científica que no sólo permitió dar respuesta a los problemas planteados, sino que dio lugar a nuevos desarrollos científicos en la física, en campos como la cosmología, la química, con la explicación del enlace, la biología molecular, etc., con notables repercusiones en el campo de la ética, la filosofía e incluso el arte (Gil-Pérez y Solbes, 1993). Una vez más nos encontramos con una revolución no sólo científica, sino sobre todo de gran dimensión social.

Nos hemos referido a algunas de las revoluciones más notables de los diferentes campos de la ciencia, pero existen muchos otros ejemplos de momentos que podemos considerar cumbres en la historia del pensamiento científico, que marcan discontinuidades en la evolución de los conocimientos, como podría ser el hundimiento de la teoría del calórico y consiguiente integración de la mecánica y el calor, aunque ello no generara tan fuertes oposiciones como en el caso de la mayor parte de los ejemplos anteriores. O las investigaciones sobre la putrefacción y la fermentación, tratadas como fenómenos “espontáneos”, que condujeron a la incorporación de las teorías microbianas sobre las infecciones, relacionadas con Pasteur, Koch y tantos otros que, frente a la superstición, mostraron que las enfermedades infecciosas eran la consecuencia de una causa externa, microbio o sustancia tóxica. O la idea de gen y las repercusiones de las leyes de Mendel, a partir de las que la genética pasó a ser uno de los campos más importantes de la

investigación biológica, rompiendo definitivamente con ideas anteriores y abriendo camino a grandes avances en la comprensión de la vida y la evolución, etc., con grandes repercusiones en todos los ámbitos, como las generadas por la ingeniería genética, los proyectos “genoma”, las terapias génicas, las biotecnologías, etc. (Holton y Roller, 1963; Mason, 1985; Serres, 1991; Gil-Pérez, 1981 y 1993; Quintanilla y Sánchez Ron, 1997; Sánchez Ron, 1999; Solbes, 2002).

Como hemos visto, algunos de los ejemplos propuestos de revolución científica están asociados al establecimiento de vinculaciones entre dominios considerados autónomos, lo que constituye otra de las posibles implicaciones de los esfuerzos de recapitulación a los que es preciso referirse con cierta atención.

## LA INTEGRACIÓN DE DOMINIOS APARENTEMENTE INCONEXOS

Ya hemos hecho referencia a cómo el hundimiento de la teoría del calórico está asociado a la integración de la mecánica y el calor. Se daba respuesta así a la dificultad que suponía que una sustancia, el calórico, pudiera ser “extraída” de los cuerpos por fricción o mediante golpes de manera indefinida, sin que se agotara jamás, y se hacía posible entender por qué la energía mecánica de un sistema parecía desaparecer mucho más rápidamente cuanto mayor era la fricción. De este modo, se hizo posible el establecimiento del principio de conservación de la energía y el impresionante desarrollo tecnocientífico de la termodinámica. También el paso del geocentrismo al heliocentrismo está asociado a la fusión de dos campos de conocimiento aparentemente inconexos, aunque esta fusión sea raramente resaltada y su comprensión merezca reflexión y precise el recurso a la historia de la ciencia.

---

### Propuesta de trabajo

---

*¿Qué dos campos del conocimiento quedan integrados a partir  
del modelo heliocéntrico?*

---

El modelo geocéntrico suponía bastante más que aceptar el hecho, aparentemente confirmado por las observaciones más simples, de que la Tierra estaba en reposo en el centro del universo con todos los astros girando *indefinidamente* en torno a la misma. El modelo distinguía drásticamente entre el “mundo sublunar”, mundo de lo imperfecto, de la generación y la corrupción, donde todo objeto tiende al reposo y los movimientos son necesariamente forzados, con principio y fin, como todos los fenómenos terrestres, y el mundo supralunar, mundo de lo perfecto, de lo incorruptible, donde todos los cuerpos son esferas perfectas y se mueven eternamente con movimientos circulares uniformes. Todo separaba y diferenciaba el mundo terrestre y el celeste. Pero con el modelo heliocéntrico, la Tierra pasa a ser un planeta más. La completa fusión de ambos campos vendría con la Teoría de la Gravitación *Universal*, que explica del mismo modo la caída de un cuerpo y el giro de la Luna alrededor de la Tierra o de la Tierra alrededor del Sol. Puede decirse que con la Teoría Heliocéntrica y todo el desarrollo de la mecánica tiene lugar la primera gran integración entre campos considerados esencialmente inconexos. Con otras palabras, el heliocentrismo viene a derribar la primera gran barrera establecida por el pensamiento humano: la que separaba drásticamente cielo y tierra.

Es posible asociar algunos de los grandes avances de la ciencia y de todo el pensamiento humanos al derribo de supuestas barreras –a veces defendidas como auténticos dogmas de fe– entre distintos campos del conocimiento.

---

### Propuesta de trabajo

---

#### *¿Qué otras barreras entre distintos campos del conocimiento ha derribado el desarrollo científico?*

---

Ya nos hemos referido a lo que supuso la Teoría de la Evolución, que vino a derribar la supuesta barrera entre los seres humanos y el resto de las especies y generó gran controversia que en parte aún persiste, puesto que venía a mostrar que los humanos no somos seres especiales de la Creación, sino que hemos evolucionado de acuerdo a principios que son los mismos para el resto de los seres vivos.

También hemos señalado el hundimiento de la Teoría Vitalista, según la cual una barrera separaba los seres vivos de los inanimados. La vida era un fenómeno especial que no obedecía a las leyes que se aplicaban a los objetos inanimados. Se precisaba una fuerza vital, no sometida a las leyes físico-químicas, para convertir la materia inorgánica en orgánica, relacionada con la vida. Era, pues, absolutamente imposible sintetizar una sustancia orgánica a partir de productos inorgánicos. Una barrera que se mantuvo en los textos universitarios de química hasta finales del siglo XIX y que ha sido trasladada por algunos a la imposibilidad de obtener alguna forma de vida por procedimientos físico-químicos. Pero, como ya señalamos, algunos dudaron de esa supuesta “barrera infranqueable” entre el mundo orgánico y el inorgánico, y consiguieron sintetizar compuestos orgánicos sencillos, dando lugar a una potente línea de investigación y desarrollo que se ha traducido en la síntesis de todas las sustancias orgánicas conocidas y en la creación de otras muchas no existentes en la naturaleza, pero con enormes repercusiones en nuestras condiciones de vida. Se pone así de manifiesto, una vez más, el papel del debate y del cuestionamiento de los dogmas y “evidencias” en la evolución de las ciencias.

Las integraciones entre distintos campos constituyen, sin duda, momentos álgidos del desarrollo científico, a menudo asociados a auténticas revoluciones, es decir, al hundimiento de las teorías vigentes y al surgimiento de nuevos cuerpos de conocimientos. Esta importancia de las visiones unitarias ha llevado a algunos a criticar los planteamientos analíticos, del trabajo científico, que se traducen, afirman, en visiones “parcializadas”, que vienen a romper la unidad de la materia.

---

### Propuesta de trabajo

---

#### *¿Hasta qué punto las estrategias científicas son responsables de visiones parcializadas, inconexas, de la realidad?*

---

Cabe recordar, para empezar, que una característica esencial de una aproximación científica es la voluntad explícita de simplificación y de control riguroso en condiciones preestablecidas, lo que introduce elementos de simplificación artificial indudables, que



no deben ser ignorados ni ocultados. Los científicos *deciden* abordar problemas resolubles y comienzan, para ello, *ignorando* consciente y voluntariamente muchas de las características de las situaciones estudiadas, lo que evidentemente les “aleja” de la realidad; y continúan alejándose mediante lo que, sin duda, hay que considerar la esencia del trabajo científico: la *invención* de hipótesis, la construcción de modelos *imaginarios*... El trabajo científico exige, pues, tratamientos analíticos, simplificadoros, artificiales. Pero ello no supone, como a veces se critica, incurrir necesariamente en visiones parciales y simplistas: en la medida en que se trata de análisis y simplificaciones conscientes, se tiene presente la necesidad de síntesis y de estudios de complejidad creciente. Pensemos, por ejemplo, que el establecimiento de la unidad de la materia –que constituye un claro apoyo a una visión global, no parcializada– es una de las conquistas mayores del desarrollo científico de los últimos siglos: los principios de conservación y *transformación* de la materia y de la energía fueron establecidos, respectivamente, en los siglos XVIII y XIX, y fue sólo a fines del XIX cuando se produjo la fusión de tres dominios aparentemente autónomos –electricidad, óptica y magnetismo– en la teoría electromagnética, abriendo un enorme campo de aplicaciones que sigue revolucionando nuestra vida diaria.

La historia del pensamiento científico es una constante confirmación de que los avances tienen lugar *profundizando* en el conocimiento de la realidad en campos definidos, acotados; es esta profundización la que permite llegar a establecer, en *recapitulaciones* posteriores, lazos entre campos aparentemente desligados (Gil-Pérez et al., 1991). Y no hay que olvidar que la idea de unidad no es algo aceptado de entrada, sino que los procesos de unificación han exigido, a menudo, actitudes críticas nada cómodas, que han tenido que vencer fuertes resistencias ideológicas e incluso persecuciones y condenas, como en los casos, bien conocidos, a los que nos venimos refiriendo, del heliocentrismo o del evolucionismo. Esta tremenda oposición social constituye un ejemplo paradigmático de otra de las funciones de las recapitulaciones a la que nos referiremos ahora.

## LA RECONSIDERACIÓN DE LAS IMPLICACIONES CTSA

Hablamos de *reconsideración* de las relaciones CTSA (ciencia-tecnología-sociedad-ambiente) porque estas relaciones deben ser contempladas desde el inicio mismo de la investigación, como expusimos detalladamente en el capítulo 3. Pero, lógicamente, tras avanzar en el estudio de la problemática abordada es posible y necesario analizar con mayor profundidad dichas relaciones, viendo las *nuevas* implicaciones del estudio realizado. A título de ejemplo podemos analizar dichas implicaciones para el caso que venimos considerando del establecimiento del modelo heliocéntrico.

---

### Propuesta de trabajo

---

*¿Qué implicaciones CTSA podemos atribuir al establecimiento del modelo heliocéntrico?*

---

Ya nos hemos referido a algunas de estas implicaciones, como la búsqueda de una mejora en las predicciones astronómicas, algo fundamental para los grandes viajes, lejos de las costas, que tienen lugar en el siglo XV y siguientes, que está en buena medida en el origen del nuevo impulso dado a las investigaciones astronómicas.

También nos hemos referido a las barreras ideológicas a aceptar el movimiento de la Tierra, lo que constituye un ejemplo del papel subversivo del desarrollo científico, en el mejor sentido del término, de cuestionamiento de dogmas y barreras a la libertad de pensamiento. Esto es algo que encontramos en otros ejemplos mencionados, como el evolucionismo o la síntesis orgánica, y que justifica las palabras del gran científico francés Langevin (1926), a las que ya hicimos referencia en el capítulo 1: “En reconocimiento del papel jugado por la ciencia en la liberación de los espíritus y la confirmación de los derechos del hombre, el movimiento revolucionario hace un esfuerzo considerable para introducir la enseñanza de las ciencias en la cultura general y conformar esas humanidades modernas que aún no hemos logrado establecer”. Algo que la educación científica, en general, parece haber olvidado, en la medida misma que no se contemplan estas relaciones CTSA y se practica un empobrecedor reduccionismo conceptual.

Podría pensarse, por otra parte, que la A de ambiente que aparece en la expresión CTSA está de sobra para el caso del heliocentrismo. En primer lugar, porque en la época de Copérnico o incluso en la de Newton, la atención a las consecuencias ambientales ni siquiera era imaginada. Y en segundo, lugar porque obviamente los estudios astronómicos no podían traducirse en acciones que afectaran al espacio exterior. Pero una breve consideración de la historia de esa etapa nos permite constatar que sí contribuyeron a acciones transformadoras en la Tierra, en la medida que facilitaron los grandes “descubrimientos” y con ellos la primera gran globalización y las transformaciones sociales y del medio físico que provocó en prácticamente todo el planeta. Y si extendemos la consideración de las implicaciones hasta nuestros días, nos encontramos con consecuencias aún mayores, como, por ejemplo, las posibilitadas por los satélites artificiales como elemento esencial de las tecnologías de la información y la comunicación (TIC), que han modificado en profundidad la vida sobre la Tierra, haciendo posible la transmisión prácticamente instantánea de información o transacciones económicas, la predicción de los fenómenos atmosféricos, el estudio de la evolución de los ecosistemas, la detección de incendios, etc.

Por supuesto, todas estas implicaciones no derivan exclusivamente de los desarrollos tecnocientíficos, pero es indudable que han contribuido notablemente a las transformaciones sociales señaladas. Lo mismo puede decirse de, por ejemplo, las consecuencias de la síntesis electromagnética, que dio pie a las extraordinarias aplicaciones que suponen los rayos X, las ondas de la radio y la TV, los láseres, etc.

Por otra parte, contemplar las relaciones CTSA en la educación científica debe conducir también a prestar la debida atención al papel de la tecnología en el desarrollo tecnocientífico (Solbes y Vilches, 1997; Maiztegui et al., 2002), teniendo en cuenta sus complejas interacciones, en la actualidad y a lo largo de la historia, incorporando actividades prácticas de **diseño y elaboración de productos**, lo que contribuye a romper con planteamientos excesivamente escolares y reforzar, así, el interés por la tarea.

En el mismo sentido de ir más allá de los habituales tratamientos escolares es posible **recurrir a las aportaciones de la educación no reglada** (museos, prensa, cine y TV...), a la que es necesario prestar alguna atención.

---

 Propuesta de trabajo
 

---



---

 ¿Cuál debe ser el papel de la educación no formal (no reglada) en la  
 enseñanza de las ciencias?
 

---

Desde hace ya algunas décadas, los profesores de ciencias estamos siendo llamados a abrir la escuela hacia el exterior y a organizar visitas a museos, exposiciones temporales, centros en los que se ofrecen talleres de prácticas científicas, a la vez que se potencia el uso de diferentes medios de comunicación: noticias de actualidad relacionadas con desarrollos científicos y tecnológicos y sus implicaciones, páginas científicas de la prensa diaria, revistas, libros de divulgación, documentales cinematográficos, programas informáticos, etc. (González, Gil-Pérez y Vilches, 2002). La creciente importancia concedida a la educación científica no formal es puesta de manifiesto por la gran cantidad de investigaciones que sobre ella se realizan, así como por la publicación de monográficos en revistas didácticas (*Aster* n° 29, 1999; *Alambique* n° 25, 2000).

Algunas aportaciones han señalado ciertas limitaciones de la educación no formal, en el caso de los museos, exposiciones y documentales. Así, Scrive (1989) ha mostrado que, desgraciadamente, las imágenes tan profusamente utilizadas en las exposiciones y en los documentales cinematográficos no tienen el poder educativo esperado en lo que se refiere al aprendizaje conceptual. Pero el resultado cambia, afirma Scrive, cuando esas imágenes se centran en las interacciones ciencia-tecnología-sociedad (CTS): “El cine y la ciencia pueden encontrar un lenguaje común si la ciencia se sitúa en su contexto social y filosófico. Entonces el cineasta puede expresarse a través de una ciencia rica en aventuras y poesía, y plena de incertidumbres. Así, los filmes científicos resultarán atractivos e instructivos”. En el mismo sentido, Allard (1999) sostiene que el aprendizaje en un museo no se limita al plano cognitivo, sino que incluye también aspectos afectivos, estéticos, etc. Todo apunta, pues, a que la educación no formal se centra, más que en lograr un aprendizaje conceptual, en despertar el interés por la ciencia, las ganas de aprender ciencia. De ahí que la dimensión CTSA se convierta en un elemento esencial de la misma. Es por eso que las exposiciones científicas se centran, cada vez más, en las interacciones CTSA (Girault, 1999) y, muy en particular, en los problemas medioambientales (Fortín-Debart, 1999).

En ese sentido, como ya señalábamos en el capítulo 1, desde hace años se viene reclamando la necesidad de que la educación, toda la educación, incluida la no formal, preste una atención especial a la preparación de los ciudadanos y ciudadanas para hacer frente a la situación de crisis planetaria que estamos viviendo (Naciones Unidas, 1992; Gil-Pérez et al., 2003). Sin embargo, como han puesto de manifiesto algunos trabajos (Gil-Pérez, Vilches y González, 2002; González, Gil-Pérez y Vilches, 2002), los museos y las grandes exposiciones están lejos de prestar una atención adecuada a los problemas globales del planeta y suelen ser exponentes propagandísticos de los avances científicos y tecnológicos, transmitiendo visiones de un optimismo simplista. Se sigue, pues, lejos del cambio de paradigma que se viene reclamando (Pedretti, 2002), para que los museos, más que mostrar las adquisiciones de la ciencia y la tecnología, presten mayor atención al hoy y al mañana (Koster, 1999), facilitando la reflexión sobre los problemas de la humanidad y la forma de hacerles frente, como elementos imprescindibles para la educación de la ciudadanía y su preparación para la toma de decisiones.

Bastantes de estas implicaciones CTSA nos remiten a algo que resulta fundamental contemplar en las recapitulaciones: las perspectivas abiertas por los estudios realizados y la necesaria toma de decisiones acerca de la conveniencia o no de implicarse en determinados desarrollos tecnocientíficos. A continuación abordaremos más detenidamente estos aspectos.

## LA CONTEMPLACIÓN DE LAS PERSPECTIVAS ABIERTAS Y LA TOMA DE DECISIONES AL RESPECTO

Como se dice metafóricamente, una investigación fructífera genera más problemas que resuelve, y ello ha de ser vivido por los alumnos como algo enriquecedor y que contribuye a evitar cualquier impresión de ciencia acabada. Esto permite, además, conectar lo que se está trabajando con los capítulos o temas siguientes, que han de ser presentados, lógicamente, como derivación del que se acaba de estudiar, es decir, como tratamiento de alguna de las perspectivas abiertas (mientras otras pueden ser abordadas en cursos siguientes o incluso remitir a estudios actuales que aún no forman parte del currículo).

Merece la pena que nos detengamos en plantear las perspectivas abiertas, a modo de ejemplo, de algunos de los problemas a los que nos hemos referido en este capítulo.

---

### Propuesta de trabajo

---

*Consideremos las perspectivas que se abren, tanto teóricas como prácticas, con el hundimiento de la Teoría Vitalista.*

---

De las primeras síntesis de compuestos sencillos se pasó a la de sustancias cada vez más complejas, y poco a poco las síntesis de los compuestos orgánicos se generalizaron y condujeron a la obtención en el laboratorio tanto de sustancias “naturales”, es decir, ya existentes en la naturaleza, como de otras previamente inexistentes pero cuya composición o características podían ser de interés, dando lugar a un enorme desarrollo de esta rama de la química.

No podemos olvidar lo que ha supuesto dicho desarrollo para la vida actual, desde las vitaminas a los plásticos, pasando por las fibras artificiales, los tintes, los plaguicidas y la casi totalidad de los medicamentos, así como las implicaciones que todos estos procesos han tenido en los nuevos materiales, a la vez que han permitido un mejor conocimiento de la estructura molecular y, en general, de la materia. Actualmente se conocen más de un millón de compuestos orgánicos, entre los que ya existían en la naturaleza y los que se sintetizaron por primera vez en un laboratorio.

Es necesario tener también presente, sin embargo, las repercusiones negativas de algunas de dichas sustancias para el medio ambiente, incluidos los seres vivos, como los denominados COP (contaminantes orgánicos persistentes), que incluyen insecticidas, fungicidas, algunos plásticos y compuestos organoclorados en general. Podemos recordar a ese respecto la tragedia de Seveso, debido a la acumulación de dioxina (uno de esos contaminantes COP, altamente tóxico) procedente de la purificación de un herbicida (el mismo con el que la aviación norteamericana destruyó bosques de Vietnam) que se fabricaba en una planta industrial de dicha población. Se produjo una explosión que tuvo

gravísimas consecuencias para los seres vivos de la zona y sus proximidades. Ya nos referimos en el capítulo 1, al hablar de la importancia de la alfabetización científica como requisito para la toma de decisiones fundamentadas, a un peligroso pesticida clorado, el DDT. Las consecuencias del uso de dicha sustancia fueron mostradas por la zoóloga estadounidense Rachel Carson en su hermoso libro *Silent Spring* (Carson, 1980), que jugó un significativo papel, junto con las protestas ciudadanas, en la posterior prohibición de dicha sustancia, tras vencer las mayores resistencias por parte de sectores industriales e incluso científicos.

Y es necesario volver a insistir aquí en que las preocupaciones en torno a la utilización de estos compuestos no cuestionan el desarrollo de la investigación en este ni en ningún otro campo, pero sí se oponen a la aplicación precipitada, que persigue beneficios particulares y sin suficientes garantías, de los nuevos productos obtenidos (Vilches y Gil-Pérez, 2003). Y todo ello remite a la necesidad de la participación ciudadana en la toma de decisiones como garantía de aplicación del principio de precaución.

A este respecto puede ser conveniente, y resulta normalmente muy motivador y atractivo para los estudiantes, realizar debates en torno a polémicas de actualidad que tienen lugar en la sociedad sobre los temas estudiados. Dichos debates resultan muy fructíferos cuando en pequeños grupos los estudiantes preparan las diferentes posiciones, que representan a los “actores” implicados en la situación problemática, a modo de simulación del proceso de toma de decisiones, y exponen en clase los diferentes argumentos. Por ejemplo, en torno a las síntesis orgánicas, que acabamos de comentar; o a las repercusiones de los desarrollos de la electrónica y las comunicaciones; o el problema de la contaminación acústica y sus secuelas; o el de los organismos manipulados genéticamente (GMO), etc. Pero hablar de debates, intercambios y tomas de decisiones nos conduce a abordar un último aspecto esencial relacionado con las tareas de recapitulación: la comunicación del trabajo realizado.

## LA COMUNICACIÓN DEL TRABAJO REALIZADO

También la comunicación es algo que está presente desde el origen mismo de una investigación, con el acceso a la información acumulada (pensemos en el recurso de Copérnico a la historia de los modelos astronómicos, etc.), el intercambio entre investigadores, etc. Pero hay momentos en que es necesario y conveniente comunicar de manera más cuidadosa y pública el trabajo realizado, sus conclusiones (por provisionales que éstas sean) y sus perspectivas. Conviene, pues, plantearse el papel de la comunicación en las recapitulaciones, formas de comunicación que se deberían potenciar, etc.

---

### Propuesta de trabajo

---

*Consideremos el papel de la comunicación del trabajo realizado.*

---

*¿De qué formas se podría realizar?*

---

Es importante que los estudiantes sepan que los científicos dedican una gran parte de su trabajo a la comunicación: escribir, presentar comunicaciones en congresos... y, sobre todo, leer. Es necesario señalar, a este respecto, la importancia de asomar a los estudiantes a la historia de la ciencia para reforzar sus construcciones. Como vemos una vez más, la historia y la filosofía de la ciencia pueden y deben jugar un papel esencial en todo el

proceso de enseñanza/aprendizaje (Sánchez Ron, 1988; Matthews, 1991 y 1994; Gil-Pérez, 1993; Solbes y Traver, 1996). De hecho, el modelo de aprendizaje de las ciencias como investigación se apoya, como hemos podido constatar en la casi totalidad de capítulos de este libro, en las contribuciones de la historia y la filosofía de la ciencia en la enseñanza de las ciencias.

Y es importante igualmente que los estudiantes “vivan” las tensiones y satisfacciones que la comunicación (oral y, sobre todo, escrita) comportan.

Es necesario subrayar la importancia que pueden tener, para apoyar todo trabajo científico, las lecturas y comentarios de textos vinculados a la problemática estudiada, la elaboración por los propios estudiantes de memorias científicas, gráficos, esquemas, mapas conceptuales, etc., que recojan a modo de síntesis el trabajo realizado, sin olvidar las repercusiones, la relación con otros campos, las perspectivas abiertas, etc.

Pero comunicar no se reduce a la lectoescritura. Es conveniente extender esta comunicación a otro tipo de productos (prototipos elaborados, etc.), lo que nos remite de nuevo a la educación no reglada y a las visitas a (pero también preparación de) exposiciones, etc.

## A MODO DE RECAPITULACIÓN

A modo de recapitulación, valga la redundancia, de este capítulo dedicado precisamente a las recapitulaciones y perspectivas, insistiremos en la necesidad de dar toda su importancia a estas actividades, que conviene realizar cada vez que se precise reorientar el trabajo en curso, pero que, lógicamente, adquieren un papel relevante al terminar un estudio, antes de comenzar otro. En particular, conviene destacar que constituyen ocasiones privilegiadas de enriquecer el aprendizaje y *de contribuir a superar los habituales reduccionismos y deformaciones de la naturaleza de la ciencia*. A tal fin incluimos a continuación una última propuesta de trabajo.

---

### Propuesta de trabajo

---

*Consideremos de qué forma las actividades de recapitulación permiten salir al paso de las distintas visiones deformadas de la actividad científica y tecnológica.*

---

Podemos señalar, resumidamente, que estas actividades de recapitulación permiten cuestionar, de forma reiterada, las visiones deformadas de la ciencia que analizamos en el capítulo 2. Por ejemplo, salimos al paso de una visión rígida al plantear la remodelación del proceso de investigación. La visión exclusivamente analítica se ve contrarrestada al considerar la integración de dominios aparentemente inconexos, la superación de las supuestas barreras entre distintos campos. Cuestionamos la visión acumulativa, de crecimiento lineal de los conocimientos científicos, al abordar las grandes revoluciones científicas. Y, por citar otro ejemplo, contribuimos a superar la visión descontextualizada, al considerar las controvertidas relaciones CTSA y tener en cuenta la toma de decisiones, al proponer la elaboración y diseño de productos, al contemplar las perspectivas abiertas, etc.

Terminaremos este capítulo resaltando que uno de los objetivos básicos de las actividades que aquí se proponen ha de ser contribuir a algo fundamental: mostrar el carácter de aventura apasionante *del pensamiento y de la acción* que la actividad científica posee.

Pero el desarrollo del modelo de aprendizaje como investigación que estamos realizando no puede darse por completo sin considerar el papel de la evaluación, que abordaremos a continuación. Debemos puntualizar que el haber dejado este tema para el último lugar no responde a su habitual planteamiento *después* de la enseñanza, error que discutiremos detenidamente, sino a la necesidad de que la evaluación tenga presente el conjunto de aspectos contemplados, desde el planteamiento de los problemas hasta la recapitulación y consideración de las perspectivas abiertas.

**NOTA:**

Este capítulo ha sido preparado originalmente para este libro.

**Referencias bibliográficas en este capítulo**

- ALLARD, M. (1999). Le partenariat école-musée: quelques pistes de réflexion. *Aster*, 29, 27-40.
- CARSON, R. (1980). *Primavera silenciosa*. Barcelona: Grijalbo.
- FORTÍN-DEBART, C. (1999). Analyse de l'offre des institutions muséales en médiation environnementale. *Aster*, 29, 85-100.
- GIL-PÉREZ, D. (1981). *Evolución de la idea de materia*. Valencia: ICE Universitat de Valencia.
- GIL-PÉREZ, D. (1993). Contribución de la historia y la filosofía de las ciencias al desarrollo de un modelo de enseñanza-aprendizaje de las ciencias como investigación. *Enseñanza de las Ciencias*, 11 (2), 197-212.
- GIL-PÉREZ, D., CARRASCOSA, J., FURIÓ, C. y MARTÍNEZ TORREGROSA, J. (1991). *La enseñanza de las ciencias en la educación secundaria*. Barcelona: Horsori.
- GIL-PÉREZ, D. y SOLBES, J. (1993). The introduction of modern physics: overcoming a deformed vision of science. *International Journal of Science Education*, 15(3), 255-260.
- GIL-PÉREZ, D., VILCHES, A., EDWARDS, M., PRAIA, J., MARQUES, L. y OLIVEIRA, T. (2003). A proposal to enrich teachers' perception of the state of the world. First results. *Environmental Education Research*, 9(1), 67-90.
- GIL-PÉREZ, D., VILCHES, A. y GONZÁLEZ, M. (2002). Otro mundo es posible: de la emergencia planetaria a la sociedad sostenible. *Didáctica de las Ciencias Experimentales y Sociales*, 16, 57-81.
- GIRAULT, Y. (1999). L' école et ses partenaires scientifiques. *Aster*, 29, 3-8.
- GONZÁLEZ, M., GIL-PÉREZ, D. y VILCHES, A. (2002). Los museos de ciencias como instrumentos de reflexión sobre los problemas del planeta. *TEA. Tecne, Episteme y Didaxis*, 12, 98-112.
- HOLTON, G. y ROLLER, D. (1963). *Fundamentos de la Física Moderna*. Barcelona: Reverté.
- KOSTER, E. H. (1999). In search of relevance: Science centers as innovators in the evolution of museums, *Daedalus*, 28(3), 277-296.
- KUHN, T. S. (1971). *La estructura de las revoluciones científicas*. México: Fondo de Cultura Económica.
- LANGVIN, P. (1926). La valeur éducative de l'histoire des sciences. *Bulletin de la Société Française de Pédagogie*, 22, décembre 1926.
- MAIZTEGUI, A., ACEVEDO, J. A., CAAMAÑO, A., CACHAPUZ, A., CAÑAL, P., CARVALHO, A. M. P., DEL CARMEN, L., DUMAS CARRÉ, A., GARRITZ, A., GIL-PÉREZ, D., GONZÁLEZ, E., GRAS MARTÍ, A., GUIASOLA, J., LÓPEZ CEREZO J. A., MACEDO, B., MARTÍNEZ TORREGROSA, J., MORENO, A., PRAIA, J., RUEDA, C., TRICÁRICO, H., VALDÉS, P. y VILCHES, A. (2002). Papel de la tecnología en la educación científica: una dimensión olvidada. *Revista Iberoamericana de Educación*, 28, 129-155.
- MASON, S. F. (1985). *Historia de las ciencias*. Volumen 5. Madrid: Alianza.
- MATTHEWS, M. R. (1991). Un lugar para la historia y la filosofía en la enseñanza de las ciencias. *Comunicación, Lenguaje y Educación*, 11-12, 141-155.
- MATTHEWS, M. R. (1994). Historia, filosofía y enseñanza de las ciencias: aproximación actual. *Enseñanza de las Ciencias*. 12(2), 255-277.
- NACIONES UNIDAS (1992). *UN Conference on Environment and Development, Agenda 21 Rio Declaration, Forest Principles*. Paris: UNESCO.



PEDRETTI, E. (2002). T. Kuhn Meets T. Rex: Critical Conversations and New Directions in Science Centres and Science Museums. *Studies in Science Education*, 37, 1-42.

QUINTANILLA, M. A. y SÁNCHEZ RON, J. M. (1997). *Ciencia, Tecnología y Sociedad*. Madrid: Santillana.

SÁNCHEZ RON, J. M. (1988). Usos y abusos de la historia de la ciencia en la enseñanza. *Enseñanza de las Ciencias*. 6(2), 179-188.

SÁNCHEZ RON, J. M. (1999). *Como al león por sus garras*. Madrid: Debate.

SCRIVE, M. (1989). Le film d'exposition scientifique, un choc entre deux cultures. *Aster*, 9, 69-83.

SERRES, M. (1991). *Historia de las Ciencias*. Madrid: Cátedra.

SOLBES, J. (2002). *Les emprems de la Ciència. Ciència, Tecnologia, Societat : Unes relacions controvertides*. Valencia: Germania.

SOLBES, J. y 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. y VILCHES, A. (1997). STS interactions and the teaching of physics and chemistry. *Science Education*, 81(4), 377-386.

VILCHES, A. y GIL-PÉREZ, D. (2003). *Construyamos un futuro sostenible. Diálogos de supervivencia*. Madrid: Cambridge University Press.

