

Revolución en la ciencia y otras revoluciones

Jesús Lahera Claramonte

Departamento de Didáctica de Ciencias Experimentales. Universidad Complutense de Madrid.

Resumen

Desde unas reflexiones previas sobre revolución en sentido sociológico se muestra un análisis forzosamente esquemático sobre revolución en la ciencia, con las distintas interpretaciones propuestas, considerándose un ejemplo —revolución copernicana— asumido en la cultura general en sentido amplio. Finalmente se reflexiona sobre una revolución actual en la enseñanza, que debe escribirse aún entre signos de interrogación.

Introducción

En esta época de final de milenio —el fin de la historia, el fin de la dialéctica de la historia según Fukuyama— resulta casi inactual hablar de revoluciones, de revoluciones pendientes, aunque desgraciadamente los conflictos y guerras siguen manteniendo actualidad. Autotitulados filósofos jó-

venes nos dicen que hay que recuperar la utopía: las causas perdidas son las utopías de antes, que hay que recuperar; no parece excesivamente imaginativo este discurso. Algún otro pensador, más viejo, perfila un discurso más joven: la situación actual de prepotencia del binomio Capital + Estado conducirá al aburrimiento, a un tiempo vacío que será aliento de rebelión.

En este temporal final/inicio de milenio aún cabe hablar de alguna revolución pendiente. Nuestro Premio Nobel, Profesor Ochoa, ha sugerido como revolución pendiente la solidaridad. La solidaridad —pensamos ahora por nuestra cuenta— como factor esencial en la búsqueda de un orden nuevo, sin bloques pero con estructuras supranacionales, con una visión global del planeta, en una democracia a reinventar.

El vocablo revolución procede de la astronomía griega. Aparece también en el título de la obra de Copérnico *De Revolutionibus...* Curioso término

aplicado al movimiento de los astros: dar vueltas para pasar al cabo del tiempo por el mismo sitio. Un vocablo que no debería haber trasladado su significado —circular, periódico— a otros ámbitos, a no ser premonitoriamente: revolución, el eterno retorno nihilista. Pero revolución fue utilizado preferentemente para designar a los movimientos o cambios sociales drásticos, con un matiz añadido de violencia. Y así reformulado se integró de nuevo en la ciencia, para describir el propio desarrollo científico: revolución en la ciencia.

Revolución en sentido sociológico

En la ciencia política no está definido nítidamente qué debe entenderse por revolución. Desde luego implica un cambio social, es la expresión de conflictos y tensiones que desencadenan una nueva dinámica.

El análisis clásico de Brinton (1952) sobre los elementos catalizadores de la resolución de la revolución —grandes desigualdades económicas, fuerte antagonismo de clases, deserción de los intelectuales, ineficiente máquina de gobierno, clase gobernante políticamente inepta— puede parecer excesivamente simplificador. Otros expertos en sociología política, a partir de los datos empíricos señalan por inducción: intervención exterior, existencia de minorías de agitación eficaces, fuente económica para sufragar al menos al principio el coste de la revolución, debilidad crónica o momentánea de las

fuerzas conservadoras, que desaparecen, apoyan la contrarrevolución... o se convierten fervorosamente: la revolución como conversión. Y cualquier análisis sobre el asunto debe inscribirse en una continua revisión del propio concepto de revolución, desde la mitificación liberal romántica, pasando después por el concepto de revolución burguesa y las interpretaciones marxistas y antimarxistas hasta la situación actual, en que no parecen formularse alternativas a la universalización de la democracia liberal occidental: la "historia inmóvil".

Desde el punto de vista de la ciencia nos parece especialmente atractiva la interpretación —inicialmente hegeliana— de la revolución como síntesis. La revolución ya no es choque ni caos histórico, sino necesidad de síntesis, amoldamiento, dialéctica entre opuestos. Ejemplo relevante es la Revolución francesa, la gran síntesis histórica burguesía/aristocracia; dos culturas que se juntarán violentamente provocando la gran explosión de valores, la dispersión histórica, el origen de un nuevo orden. La síntesis; los burgueses son acusados al llegar al poder de conservadores, toda revolución engendra nuevas demandas y da origen a otra... La dialéctica de la historia, un proceso donde el hombre se desarrolla, donde la Humanidad encuentra la libertad, su crítica. Países sin síntesis serán países sin dialéctica histórica; por tanto, menos formados, menos libres, más tristes. Muchas naciones han tenido estos referenciales históricos: la

Revolución Gloriosa de 1688 en Inglaterra, la Revolución norteamericana de 1776, la citada Revolución francesa de 1789, la Revolución rusa de 1917, encuadrada por algún experto prospectivo en las Revoluciones Gloriosas de la Europa del Este...

Por lo demás, aunque los datos históricos empíricos apunten hacia ello, debemos resistirnos a admitir que las cosas tienen que cambiar para que sigan siendo como son; que si queremos que todo siga como está tenemos que cambiarlo todo. Y ser revolucionarios ante la aparente inutilidad de las revoluciones, ante la constatación de que la historia de las revoluciones es la historia de sus fracasos, pues ¿hay certeza de que hubiere sido mejor el devenir de la Humanidad si no se hubieran producido?

Revolución en la ciencia

En sentido amplio y globalizador, podrían reseñarse acontecimientos o procesos que han producido cambios relevantes en el desarrollo de la Humanidad. Charles Galton Darwin, nieto de Darwin, físico, señalaba en 1952 cuatro Revoluciones ya hechas (descubrimiento del fuego, invención de la agricultura, asentamientos urbanos, Revolución científica en la que estamos inmersos desde la ciencia moderna, desde hace sólo unos quinientos años) y tres Revoluciones pendientes (cuando se agoten las reservas de combustibles fósiles, el descubrimiento de una nueva fuente de alimentación para la humanidad y

una revolución interna: la modificación deliberada de la naturaleza humana).

También puede hacerse una lectura de las revoluciones desde el desarrollo tecnológico y de progreso, en la interacción ciencia básica/técnica. La Revolución industrial, sobre la base del invento de la máquina de vapor y paralela al desarrollo de la termología; la Revolución de las Comunicaciones, por ondas electromagnéticas de Hertz predichas desde la ciencia básica por Maxwell; la Revolución de la Electrónica y Microelectrónica; la Revolución de la Ingeniería genética... Pero aquí nos referimos al desarrollo de la propia ciencia, sobre cómo han surgido las ideas que la han hecho avanzar. Y sobre esta cuestión no hay unanimidad; hay diversas interpretaciones en controversia, aunque siempre y por todos se señalan hitos relevantes: Copérnico, Newton, Lavoisier, Darwin, Wegener, Einstein, se hable o no de revoluciones.

La primera referencia obligada son las ideas iniciales y básicas de Kuhn (1962) sobre la estructura de las Revoluciones Científicas. El paradigma, las realizaciones científicas universalmente reconocidas que durante cierto tiempo proporcionan modelos de problemas y soluciones a la comunidad científica; la ciencia normal, investigación basada firmemente en una o más realizaciones reconocidas; el paradigma en crisis dando origen a un nuevo paradigma que acabará por ser asumido entrando de nuevo en ciencia normal; las revoluciones científicas –transacciones de un paradigma a otro– co-

mo episodios no acumulativos de la ciencia.

La interpretación kuhniana ha resultado influyente. En la actualidad, Cohen (1989) ha analizado y reestructurado el modelo, señalando sus méritos indudables (la misma persistencia de su terminología) junto con matizaciones a debate (no todas revoluciones son producto de una crisis; el esquema parece más aplicable a las ciencias físicas que a las restantes). Ha señalado cuatro etapas en toda revolución (revolución íntima, primeros informes, en ciencia privada; revolución en los papeles, adopción de la teoría por otros científicos, en ciencia pública), y sobre todo ha propuesto una metodología para procesar y decidir sobre las presuntas revoluciones científicas (testimonio de los observadores contemporáneos y eventualmente del propio investigador; examen de la documentación histórica vinculada con el tema y posterior a la época en que se produjo la revolución sometida a examen; juicio de los historiadores —de la ciencia y de la filosofía—; opinión de los especialistas en nuestros días).

La extensa investigación de Cohen, en este tratamiento, da el veredicto favorable a las siguientes revoluciones: Revolución newtoniana, Revolución química de Lavoisier, Revolución darwiniana, Relatividad y Física cuántica, conocidas al menos por sus nombres a nivel popular. Pero curiosamente presenta como revolución emblemática, en la que las cuatro pruebas dan resultados afirmativos, otra revolución que tenemos la impre-

sión es menos conocida a nivel popular: la Revolución en las Ciencias de la Tierra sobre la deriva o desplazamiento relativo de los continentes, la tectónica de placas. El ciudadano medio suele conocer nombres como Newton, Lavoisier, Einstein, Darwin. ¿También Wegener?

Sobre el progreso de la ciencia por revoluciones, el mismo Cohen ha afirmado: “En la actualidad se da por sentado que las revoluciones científicas sí se producen, aunque hay quienes no creen en ellas, y entre los creyentes no existe consenso sobre cuáles acontecimientos de la historia de la ciencia constituyen revoluciones”.

De modo que hay científicos que no creen en las revoluciones científicas... No debe sorprender. Históricamente hubo una tradición científica dominante en este sentido: Poincaré, Boltzman, Rutherford, en particular una personalidad tan influyente como Mach, desde el positivismo lógico del Círculo de Viena (1922). Un nuevo modelo de las teorías científicas: las magnitudes se definen operativamente; las leyes físicas son relaciones entre magnitudes así definidas; las teorías son modelos para explicar la Naturaleza con la mayor economía posible de pensamiento, con el criterio básico de utilidad aparente. Al no plantearse la verdad absoluta, ninguna teoría de Newton y de Einstein son válidas cada una en su dominio o campo de aplicación; en cierta manera los paradigmas son compatibles. En este contexto, pues, no tiene mucho sentido hablar de revoluciones convulsivas,

sino más bien de evolución, incluso en sentido darwiniano. En la selección natural de teorías entran en juego pruebas de verificación, en apoyo, y de falsación, en contra.

En la línea acumulativa/evolutiva de la ciencia pueden ser inscritos Toulmin —el concepto de revolución es escaso en la investigación y dudoso para comprender los cambios científicos—; Lakatos —metodología de los programas de investigación y de reconstrucción racional—; Laudan —las revoluciones científicas en su contexto: no es posible escribir la historia de una disciplina sin tener en cuenta los desarrollos acontecidos a la vez en las disciplinas o manifestaciones culturales vecinas—.

Y finalmente, puede reseñarse otro modelo peculiar: Feyerabend (1974), la teoría anarquista del desarrollo del conocimiento científico. No cree Feyerabend que las revoluciones (sociales y científicas) se hagan con plena consciencia; en las revoluciones científicas, no cree que haya claridad de ideas y de métodos, ni mucho menos de la concepción de instrumentos que habrán de ser después inventados para justificarlo todo. La acción anarquista —la que no está directamente relacionada ni con la teoría ni con las instituciones existentes— juega un papel esencial.

Este es el panorama, aunque expuestos los modelos de manera muy esquemática. A fines de elección, puede ejercerse también la opción de la perplejidad en sentido filosófico actual: no renunciar a ninguna propuesta ni lograrlas hacerlas del todo compatibles.

Revolución Copernicana

Revolución copernicana, un ejemplo asumido en nuestra cultura; giro copernicano, expresión usual en nuestro lenguaje cotidiano. Pero ¿fue una verdadera revolución?

Cuando en clase de física trato este asunto suelo comentar a los alumnos el resultado de una encuesta hecha en Francia hace unos años, en una muestra representativa del ciudadano medio, con una pregunta muy simple: ¿Se mueve el Sol o se mueve la Tierra? El resultado fue favorable, por mayoría, al movimiento del Sol. Las sonrisas de los alumnos —que en secundaria han seguido cursos de física de un nivel ciertamente elevado— suelen helarse en los labios cuando les solicito si pueden dar alguna prueba concluyente de que es la Tierra quien se mueve, pues si no, el ciudadano medio francés actúa con más lógica: describe lo que ve.

La suposición de un Sol fijo y la Tierra en movimiento fue ya sugerida, sin éxito, por Aristarco de Samos (siglo III a. de C.). Claudio Ptolomeo (siglo II a. de C.), en la aurora de la física, en el esplendor del Museo/Biblioteca de Alejandría establece el modelo geocéntrico, con la Tierra inmóvil. La mayoría de sus obras han llegado incólumes hasta hoy, como *Sintaxis Mathematica* (*Almagesto* en la cultura árabe), *Las hipótesis de los planetas* disponible ahora en edición popular (1987).

En el modelo de Ptolomeo, el Universo se describe como la Tierra y un conjunto de esferas cristalinas, encajadas unas dentro de otras, en rotación

con ejes distintos. El movimiento debe seguir dos dogmas de la más vieja procedencia filosófica: debe ser circular y uniforme. Y según ellos siempre encuentran explicación los problemas que se presentan: el movimiento de los planetas, mediante epiciclos y deferentes; la aparente marcha del Sol, con el artificio del ecuante. La persistencia de este modelo durante casi 2000 años es justificada por varios motivos. Además de las inevitables razones de índole religiosa, las contundentes razones en el contexto de la filosofía natural: si la Tierra se moviera a rotare, los cuerpos no podrían caer perpendicularmente al suelo; las nubes quedarían retrasadas; el alcance de los proyectiles sería distinto hacia el Este que hacia el Oeste; el paralaje estelar sería de varios grados... Nada de esto se había observado. El modelo ptolomeico es de "sentido común": he ahí la última razón de su supervivencia.

Es preciso trasladarnos hasta mediados del siglo XVI. En 1543 aparece, el mismo día que moría su autor Copérnico, *De Revolutionibus Orbium Caelestium*. Unos 30 años antes Copérnico había escrito una obra breve conocida como *Commentariolus*, un texto con entidad propia, con sólo tres o cuatro copias disponibles en su época, y ahora en edición popular (1983). Leamos las intenciones de Copérnico en este texto:

"Habiendo reparado en los defectos de las propuestas de Ptolomeo, me preguntaba a menudo si sería posible hallar un sistema de

círculos más racional, mediante el cual se pudiese dar cuenta de toda irregularidad aparente sin tener que postular movimiento alguno distinto del uniforme alrededor de los centros correspondientes, tal y como el principio del movimiento perfecto exige".

El pensamiento de Copérnico no podía ser más conservador: preservar los dogmas más antiguos que se remontaban a Platón: la perfección del círculo y de la uniformidad. No obstante, los postulados propuestos ya en *Commentariolus* son drásticos: no existe un centro único de todos los círculos o esferas celestes, todas las esferas giran en torno al Sol. Por lo demás, es reconocida la habilidad de Copérnico en muchos terrenos. Superó brillantemente los escollos religiosos y a su manera las objeciones provenientes de la filosofía natural: las nubes no quedan atrás, pues las arrastra la Tierra; el paralaje estelar es inapreciable porque las estrellas están a distancias inmensas; el movimiento de caída de los cuerpos en un sistema móvil, mejor no tratarlo. Conservador Copérnico, hasta en el título de su obra principal, haciendo referencia a esferas celestes. Utiliza la metodología ptolomeica de epiciclos, que hace más compleja (epiciclo sobre epiciclo = epiciclete). Neugebauer ha analizado el paralelismo *De Revolutionibus/Almagesto*, mostrando que se corresponden capítulo por capítulo, teorema por teorema, tabla por tabla. El estilo de Copérnico se hace viciosamente tan complejo y farragoso como

el de Ptolomeo, el discurso operativo presenta escasa modernidad.

Así, la propuesta de Copérnico no parece una revolución, un cambio kuhniano de paradigma, encajando más bien en una interpretación positivista del desarrollo de la ciencia, anotando además Gingerich (1975) en sus cálculos con computadora que los resultados copernicanos no son más precisos que los ptolomeicos. Ahora se estima con consenso generalizado que la revolución copernicana, para tomar cuerpo, tendría que pasar por Tycho Brahe (copernicano a medias: todos los planetas, excepto la Tierra, giran alrededor del Sol, y éste gira alrededor de la Tierra, que está inmóvil); por Kepler (con *Astronomía Nueva* no sólo en el título: órbitas elípticas, “anima motrix” como intuición de una fuerza general, armonía en el movimiento de los astros); por Galileo (intentando aclarar las “obviedades” cotidianas, planteando el movimiento sobre un sistema móvil —Einstein ha hablado de una verdadera revolución galileana—); hasta Newton. La obra de Newton, la aplicación al sistema del mundo de *Los Principios matemáticos de la filosofía natural*, inventando el cálculo matemático idóneo, estableciendo una fuerza específica para explicar la estructura del Universo. Un cambio de paradigma, una revolución, aunque modestamente —y referido a otro tema— Newton afirmó que “había visto más lejos porque se había subido a hombros de gigantes”. Revolución como síntesis, la síntesis de Newton.

¿Y cómo se trata este asunto en los libros de texto, en la enseñanza? ¿A

quien no le han enseñado que la Tierra gira y se traslada en torno al Sol? ¿Quién no sabe la fórmula de gravitación de Newton, incluso el recitado de las leyes de Kepler? Pero...

En un enfoque humanístico —considerar la ciencia como elemento de la cultura de un maestro— es posible un tratamiento adecuado, incluso desde la física “dura”. Al menos, el discurso básico es muy simple. Estamos acostumbrados, mal acostumbrados, a estudiar la física sólo en sistemas fijos o que consideramos fijos; debemos ahora estudiar cómo suceden las cosas en sistemas móviles, en rotación y en traslación. Al estudiar la física en los sistemas en rotación, aparecen desde la física clásica, efectos nuevos: fuerza centrífuga y fuerza de Coriolis, que actúan y modifican los movimientos en el sistema que consideramos que gira. La conclusión parece inmediata: si en la Tierra se observan estos fenómenos debe concluirse que rota, que gira. La demostración experimental concluyente de la rotación de la Tierra: el péndulo de Foucault (estamos ya a mediados del siglo XIX), con versiones didácticas actuales de sorprendente sencillez. El péndulo de Foucault, que suele verse —¿y entenderse también?— en todos los Museos de la Ciencia.

¿Revolución actual en la enseñanza?

La terminología de Kuhn no es extraña en la enseñanza: revolución y educación, las crisis de los modelos

educativos propuestos, los paradigmas de enseñanza/aprendizaje, etc.

Son conocidos los análisis de los paradigmas de enseñanza/aprendizaje en las últimas décadas: transmisión de conocimientos ya elaborados; descubrimiento inductivo y autónomo; descubrimiento dirigido; aprendizaje acorde con los procesos científicos. Siempre en el ámbito de alguno de los marcos referenciales generales de las visiones de cómo tiene lugar el aprendizaje: orientación evolutiva, orientación behaviorista, aprendizaje significativo. En principio, hay consenso en el rechazo de un único “método científico” estático y aplicable a cualquier situación. La visión simplista del método científico, invocado así frecuentemente desde otras áreas, ¡y expresión del más genuino y reprobable empirismo inductista! No hay una única forma de hacer ciencia, ni una única manera de enseñarla o aprenderla. Como ha indicado Hodson (1988), el hecho de que la ciencia no tenga un sólo método no significa que la ciencia no tenga métodos. El método científico, como el conocimiento que genera, cambia y se desarrolla; cuando la situación cambia, cambian los métodos.

Suele haber consenso en admitir que los deficientes resultados en la práctica de las propuestas —tan atractivas— de aprendizaje por descubrimiento condujo a un reforzamiento del modelo transmisión/asimilación significativa de conocimientos, acentuando el segundo término de este binomio.

Parece emerger en estos momentos actuales un nuevo paradigma: el modelo constructivista. Presenta para nosotros un rasgo especialmente querido: aunque muy fundamentado epistemológicamente no se desarrolla como algo puramente académico, sino desde la propia actividad docente. Como Driver y Oldham (1986) han señalado “la orientación constructivista supone concebir el curriculum no como un cuerpo de conocimientos o habilidades, sino como el programa de actividades a través de las cuales los conocimientos pueden ser construidos y adquiridos”. La apuesta de numerosos colectivos trabajando en esta línea, los cambios conceptuales, metodológicos y actitudinales que al parecer se producen, la existencia de relevantes conversos, apuntan a la emergencia de un nuevo paradigma, a una revolución.

Una orientación sugerida, en ocasiones propuesta, en los Diseños Curriculares Base: la sustitución de un paradigma en gran parte conductista (no total, solía contemplarse también la producción divergente) por un paradigma en gran parte constructivista (no total, suelen contemplarse los procesos de la ciencia). Pero en la praxis del constructivismo los maestros y los profesores de maestros deberán conocer y asumir primero las investigaciones de otros grupos; y después se verán obligados a una docencia/investigación cotidiana. Si no, a nivel general, la loable propuesta constructivista puede ser una “revolución copernicana” en la enseñanza.

Bibliografía

- Brinton, C. (1952). The anatomy of revolution. Prentice-Hall, New York.
- Cohen, I.B. (1989): Revolución en la ciencia. Gedisa, Barcelona.
- Copérnico, N. (1983): Opúsculos sobre el movimiento de la Tierra. Commentariolus. Alianza Editorial, Madrid.
- Driver, R. y Oldham, V. (1988): Un enfoque constructivista del desarrollo curricular en Ciencias, en Constructivismo y Enseñanza de las Ciencias. Diada Editoras, Sevilla.
- Feyerabend, P.K. (1974): Contra el método. Ariel, Barcelona.
- Gingerich, O. (1975): The nature of scientific discovery: a symposium commemorating the 5th anniversary of the birth of Nicolaus Copernicus. Smithsonian Institution Press, Washington.
- Hodson, D. (1988): Filosofía de la ciencia y Educación científica, en Constructivismo y Enseñanza de las Ciencias. Diada Editoras, Sevilla.
- Kragh, H. (1989): Introducción a la historia de la ciencia. Crítica, Barcelona.
- Kuhn, S.T. (1975): La estructura de las revoluciones científicas. Fondo de Cultura Económica, México.
- Ptolomeo, C. (1987): Las hipótesis de los planetas. Alianza Editorial, Madrid.