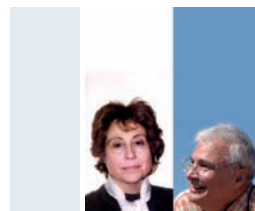


# El papel de la ciencia en la cultura: un recorrido didáctico por la física

**M.<sup>a</sup> Carmen Refolio Refolio y  
Jose María López Sancho\***

*Investigadora del programa El CSIC en la Escuela*

*Investigador y director del programa El CSIC en la Escuela*



---

## Palabras clave

Ciencia, desarrollo, conocimiento, revolución, didáctica, física.

---

## Resumen

Este artículo tiene como objetivo realizar un recorrido rápido por la historia de nuestra sociedad, poniendo de manifiesto la relación que existe entre ciencia y desarrollo social. Consideramos que la educación consiste en realizar ese recorrido, de tal manera que el niño reciba los valores y conocimientos que lo sitúen en el momento histórico en el que va a vivir.

---

## Introducción

Esta manera de ver la historia es relativamente moderna, ya que Arnold Joseph Toynbee (1889-1975), considerado como uno de los más importantes filósofos de la historia, en su obra *Estudio de la Historia*, de doce volúmenes, apenas cita el nombre de algún científico.

En nuestra opinión el objetivo de la educación consiste en preparar al alumno para entender el mundo en el que va a vivir y desenvolverse en él, de manera que sea útil para la sociedad.

Como profesores y científicos podemos decir que la cultura consiste en una serie de ingredientes intelectuales (valores y conocimientos), que se transmiten de una generación a la siguiente por todos los sistemas de enseñanza y comunicación establecidos y que constituyen las señas de identidad de dicha sociedad. Estos ingredientes intelectuales son responsables de que las sociedades tengan caracterís-

.....  
\* E-mail del autor: [lopezsancho@cfmac.csic.es](mailto:lopezsancho@cfmac.csic.es).

ticas diferenciadoras y presenten una fuerte coherencia a lo largo de su historia. El hecho de que se adquirieran a edades muy tempranas hace que se asocien a sentimientos íntimos y vivencias muy profundas, tan arraigadas que perduran a lo largo de la vida. Esto hace muy difícil la aceptación de otras señas de identidad diferentes, lo que dificulta la integración en sociedades en las que nos sentimos ajenos.

Los conocimientos y los valores están íntimamente unidos. La imagen del universo, de la sociedad y de la distribución de trabajo y riqueza que tiene el ciudadano depende de los modelos científicos y sociales que caractericen su época.

El CSIC en la Escuela considera que la ciencia se debe incluir como un ingrediente esencial de la historia, de la que forma parte y a la que está íntimamente unida. Por esa razón, en nuestras clases la historia forma la estructura o entramado sobre el que vamos situando los descubrimientos científicos, los modelos sociales y las revoluciones del pensamiento.

## Generación de conocimientos

Veremos (**Imagen 1** e **Imagen 2**) que, de la misma manera que la ontogenia (evolución del individuo) sigue el camino de la filogenia (evolución de la especie), los seres humanos recorren, al aprender, las mismas etapas que tuvieron que cubrir los científicos cuando construyeron los modelos y teorías de los que disponemos.



Imagen 1. Desarrollo filogenético.

El papel del maestro es conducirlos por los caminos más directos, evitando calles sin salidas y adarves que han retrasado el desarrollo de la historia.

## Aprendizaje

El primer problema con que nos encontramos, tanto en la historia como en la enseñanza, es el del obligado cambio de modelos para adaptarse

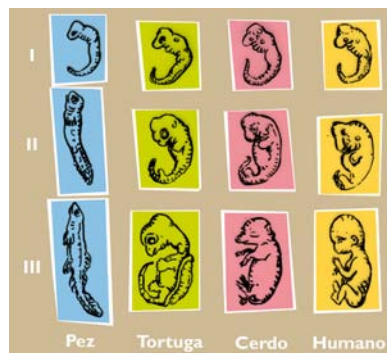


Imagen 2. Desarrollo ontogenético.

a nuevos tiempos. Y este cambio siempre es difícil, no ya por tener que admitir nuevas concepciones sino porque hay que destruir los antiguos preconceptos (Derrida). Por ello costó tanto admitir la igualdad de las personas ante la ley, sin importar género, raza o creencia religiosa, un problema que todavía está vigente.

## Conocimiento y cambio social

Conviene señalar que estos modelos que marcan el momento histórico son tanto sociales como científicos. Por eso se identifican los periodos más importantes de la humanidad por el tipo de modelos científicos y sociales aceptados y por las tecnologías utilizadas (es decir, el conocimiento del que disponen).

Si realizásemos un viaje en el tiempo y aterrizásemos en un punto de la historia desconocido para nosotros, las preguntas que tendríamos que hacer para determinar la época en la que habríamos caído se nos ocurren a todos; preguntaríamos por el modelo de sistema solar que tienen, por la estructura de la sociedad, es decir, si existen esclavos, si votan todos los ciudadanos, incluidas las mujeres, si saben todos leer y escribir, si se alumbran con velas o con electricidad, si viajan con tracción de sangre o con tracción a motor, si existe el teléfono, y tantas otras que nos servirían para fijar el momento histórico en que nos encontramos.

## Los comienzos

El primer gran paso lo constituyó el conocimiento necesario para mantener primero y luego producir el fuego. El Paleolítico se caracterizó por el uso de la piedra tosca para la construcción de herramientas y las técnicas de recolección estacional. Y en este periodo la transmisión del conocimiento se realiza exclusivamente por vía oral, utilizando casi con seguridad las pinturas rupestres.

El Neolítico utilizó técnicas más depuradas para trabajar la piedra e inventó la agricultura y la ganadería (como indica el mito de Caín y Abel) en un alarde de investigación, desarrollo e innovación de nuestros antepasados. Aparecen los primeros rudimentos de escritura de los que tenemos noticias a través de las tablillas de barro en escritura cuneiforme.

A partir de la Roma clásica, Europa comienza a adquirir una identidad que en el medievo era ya completa. En el siglo XII un viajero que viniera de oriente podía identificarla por los molinos de viento, los puentes de arco romano, los aperos de labranza y la forma en que se cultivan los campos.

Pero la clave de la identidad de Europa recaía en las abadías románicas que llevaban la vida religiosa y social de las personas, a la vez que el censo de las poblaciones. En estas abadías podía apreciarse tanto los conocimientos de los arquitectos como la cultura de sus bibliotecas y la habilidad de sus copistas. Ya existía, en esa época, una forma de transcribir la música, un paso importante en la cultura

## Nacimiento de las ciudades: el mundo Gótico

La influencia de la aparición la Cámara Alta en Inglaterra en la sociedad medieval fue inmediata.

Los reyes intentaron disminuir el poder de los nobles y apoyaron la formación de ciudades, repobladas con los siervos huidos de los feudos nobiliarios.

Así como en los dominios feudales la totalidad de los conocimientos requeridos para ejercer un oficio (casi exclusivamente el de agricultor) pasaban directamente de padres a hijos, en las ciudades ese sistema era insuficiente. Su desarrollo requería una estructura social que hacía necesaria una especialización desconocida en la sociedad rural.

Los oficios que fue necesario desarrollar en las ciudades requerían conocimientos técnicos extensos y muy diversos. Pero además era necesario tener la seguridad de que los que ejercían esos oficios dispusieran de los conocimientos necesarios para ejercerlos. Y así aparece la figura docente fundamental de la época: *la estructura gremial*.

Era el gremio el que concedía permiso para ejercer un oficio tras un aprendizaje que podía durar diez o doce años. Se comenzaba en un taller, a las órdenes de un maestro, como aprendiz; se continuaba como oficial y se terminaba como maestro, tras un examen que consistía en presentar la *obra maestra*. A esta categoría pertenecían los escultores, canteros, vidrieros, carpinteros, herreros, cirujanos, etc.

Pero este cambio cultural dejó al margen a las mujeres. Toda esta cultura estaba sujeta a la división de género, ya que las mujeres tenían sus propias labores que no evolucionaron porque los gremios, en general, no admitían aprendices femeninos. *Sus conocimientos los transmitían a sus hijas.*

La transmisión del saber clásico quedaba al margen de esta estructura y necesitaba una nueva institución. Así aparecen las *universidades*, con una estructura copiada de la gremial, donde se enseñaba el *trivium y el cuadrivium*.

Este paso del centro de gravedad de la sociedad, que se desplaza del campo a la ciudad, es el que recoge Umberto Eco en *El Nombre de la Rosa*. La iglesia de la ciudad domina ahora la vida religiosa en detrimento de los monasterios.

A la vez que iban pasado estas cosas, en España (Toledo) y Sicilia se formaron las Escuelas de Traductores que recopilaban todo el saber clásico y lo tradujeron al latín, «lingua

franca» de la época. En ese medio cultural los manuscritos de la escuela de traductores de Toledo viajaron a toda Europa a través de tres importantes vías: La de los peregrinos a Santiago de Compostela (**Imagen 3**), la de los romeros a Roma y la de los palmeros a Jerusalén. De esta manera el saber clásico se extendió por toda Europa.



**Imagen 3.** Principales rutas de peregrinación a Santiago de Compostela.

También el desarrollo de las ciudades hizo necesaria la construcción de edificios públicos que albergasen más personas, lo que llevó a invento del estilo gótico (ejemplo de I+D+i). Un siglo después monasterios, iglesias, palacios y edificios públicos eran góticos (que requerían mucho menos material), un alarde de ingeniería de la que todavía nos maravillamos.

## El Renacimiento

Las traducciones de los textos clásicos realizadas por los monjes provocaron el Renacimiento, que fue una explosión arquitectónica (Brunelleschi), artística (Miguel Ángel) y científica (Copérnico, Leonardo da Vinci).

La invención de la imprenta dio lugar, sobre todo en los países protestantes, al comienzo de la *alfabetización literal* de grandes capas de la sociedad para que pudieran leer e interpretar la Biblia. Es justamente en esta época, ya en el reinado de Carlos V, cuando Nicolás Copérnico, en un año fácil de recordar (1543) publica el libro *De Revolutionibus Orbium Coelestium*, de cuyo título deriva la palabra *revolución*. Aunque inicialmente ignorado el libro iba a provocar, años después, la primera revolución científica de la época.

## El Barroco y la Revolución Científica

Todo este movimiento desembocó, un siglo después, en el Barroco (Albinoni, Vivaldi, Bach, Hendel, Velazquez, Rembrant,...)

Y Galileo....

En el siglo XVII Galileo, Kepler, Boyle y Newton, entre otros, reintroducen el concepto de Ley de la Naturaleza, una ecuación entre medidas que siempre se cumple. Con ellos culmina la revolución científica que supuso la caída del paradigma de Aristóteles y Ptolomeo que había dominado el mundo medieval.

La gran aportación de Galileo (ocurrió hacia 1600), fue utilizar el lenguaje de las matemáticas para expresar las leyes de la naturaleza:  $V = e/t$

El empleo de las fórmulas no es solo una cuestión de lenguaje. Cada uno de los símbolos que aparecen representa una medida, es decir, un número. Con ello el mundo de la ciencia se limitó al mundo de las cosas que se pueden medir, es decir, al mundo de las magnitudes.

Fue precisamente el uso del lenguaje matemático lo que permitió a Newton (**Imagen 4**) a finales del siglo XVII formular las leyes de la mecánica y de la gravitación universal. Estas leyes son las mismas que se utilizan actualmente para calcular la trayectoria de los viajes a la Luna.

Pero no todo el mundo sabía matemáticas, el lenguaje de la ciencia, por tanto no podían interpretar sus símbolos. La ciencia pasa a ser patrimonio de los científicos y los ilustrados, apareciendo la clase de los científicamente analfabetos. *Y el conocimiento dejó de estar embebido en la sociedad para pasar a recluírse en las universidades.* Este cambio fue demasiado rápido para que la sociedad lo asimilara en tiempo real y dio lugar a un nuevo problema social: el analfabetismo científico de la sociedad.



Imagen 4. Isaac Newton.

## La primera revolución industrial

La aplicación del conocimiento científico (I) a la resolución de problemas reales (D+i) provocó la revolución industrial.

El mundo cambió como jamás había cambiado. Por ello los obreros tuvieron que especializarse y surgió una nueva clase: la de los obreros industriales. *Y de esta manera el conocimiento retorna a las clases sociales relacionadas con la ciencia y la industria.*

La revolución industrial provocó pues un nuevo cambio social.

En un principio las condiciones de trabajo fueron terribles y como siempre, los niños y las mujeres se llevaron la peor parte.

Afortunadamente la ciencia siguió contribuyendo al desarrollo industrial. Las nuevas fábricas eran cada vez más humanas y su desarrollo condujo paulatinamente a la desaparición de la esclavitud. Aunque costó mucho cambiar la mentalidad hoy se puede considerar formalmente destruido el preconcepto de la superioridad blanca.

Pero quedaba una enorme masa de personas sin acceso a la cultura. *Y el héroe de todo este tiempo fue el maestro de escuela.*

Sin embargo la enseñanza no era la misma para todo el mundo. El problema de género, camuflado en las sociedades preindustriales se hizo evidente.

Con el tiempo la ciencia y la técnica fueron evolucionando hasta permitir que hombres y mujeres pudiesen desarrollar los mismos trabajos. Pero el proceso de igualdad no comenzó hasta que las sufragistas emprendieron su lucha, que todavía continúa, contra ideas obsoletas que siempre benefician a alguien.

## El electromagnetismo y la segunda revolución industrial

Otro ejemplo de cambio social provocado por el conocimiento científico es el descubrimiento del electromagnetismo. En la historia del electromagnetismo se pueden distinguir dos caminos (**Imagen 5**) diferentes: el del magnetismo y el de la electricidad. Ambos caminos se encuentran a finales del curso académico de 1820, en un experimento de cátedra realizado por Hans Christian Oersted. Nosotros, en nuestras clases, recorreremos separadamente los dos caminos de la historia.

Ya en el siglo XVI Gilbert había estructurado el magnetismo, estableciendo el modelo de imán de polos que es el primero que enseñamos. Con este modelo se explica la imanación inducida y el magnetismo terrestre, construyendo en el aula una pequeña *terrella*, ejemplo explícito de modelo analógico. La representación del imán de polos permite, además, enunciar las leyes del magnetismo que los niños descubren en clase sin más que dejarlos jugar con dos imanes marcados.

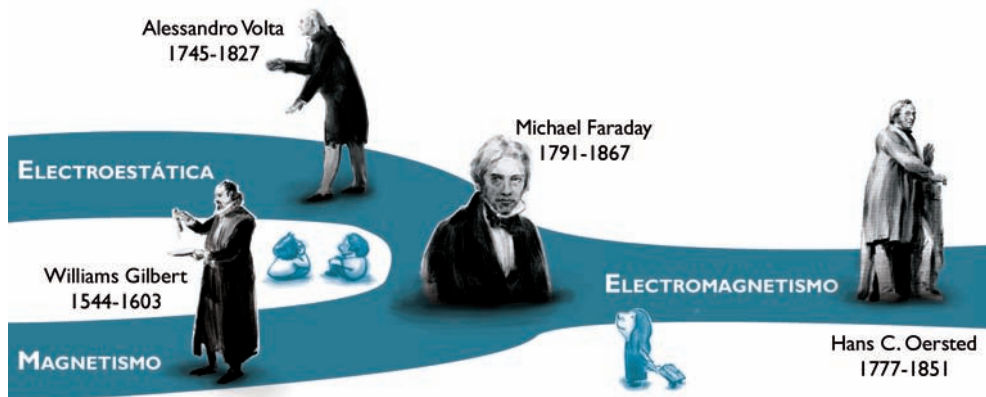


Imagen 5. El recorrido histórico de la electricidad y el del magnetismo.

A finales del siglo XVIII Galvani y Volta inventan un procedimiento para producir, y más tarde almacenar, electricidad. Oersted, utilizando estas pilas, realiza su famoso experimento (**Imagen 6**) y descubre la relación entre la electricidad y magnetismo, separados hasta este momento histórico. Ahora, ese experimento crucial lo repiten nuestros alumnos de primaria y deducen la primera ley de Ampere que Oersted no pudo descubrir.

En 1831 Faraday describe con su modelo de líneas de campo (**Imagen 7**) el experimento de Oersted y explica parte del electromagnetismo.

Maxwell lo desarrolla y completa. Esta rama de la física, el electromagnetismo, constituyó una de las grandes síntesis científicas que permitió no solamente unificar la electricidad y el magnetismo sino también entender la luz como una onda electromagnética.



Imagen 6. Experimento de Oersted.



Pero la luz era solo una parte de esta radiación que se extendía en un amplio espectro, desde las ondas de radio hasta los rayos gamma. En el centro del espectro hay una pequeña franja ocupada por la radiación luminosa que es la única que aprecia el ojo humano.

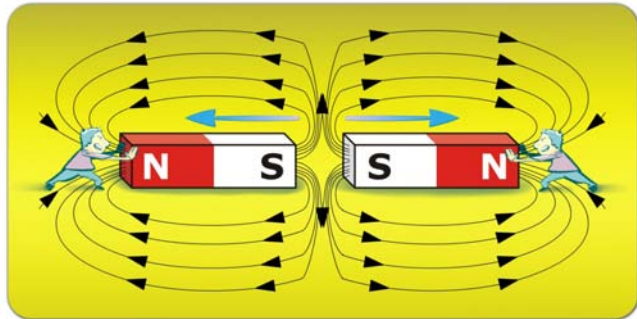


Imagen 7. Líneas de campo magnético.

Con Maxwell comenzado la segunda revolución industrial que ha originado los grandes avances tecnológicos del siglo XX.

## Consideraciones didácticas

En este apartado vamos a realizar algunas consideraciones sobre la deconstrucción de preconceptos y su sustitución por otros nuevos. Este proceso, tan fundamental en las revoluciones científicas, es también de vital importancia en la enseñanza de la ciencia en las primeras etapas de la educación.

Durante 20 siglos, desde Aristóteles a la revolución científica, la sociedad aceptaba el modelo de universo aristotélico que se basaba en una serie de preconceptos:

- La idea de que la Tierra permanece inmóvil en el centro del universo.
- La creencia de que las fuerzas producen velocidades.
- El preconcepto del *horror vacuum*.
- La falsa creencia de la independencia de la materia y la forma.

Como hemos señalado anteriormente, al referirnos a la ontogenia y la filogenia, nos encontramos con el hecho curioso de que los niños llegan al aula con los preconceptos aristotélicos interiorizados. Así no les sorprende que un príncipe pueda adquirir la forma de una rana sin dejar de ser príncipe, que la Tierra es plana y que el Sol gira en torno a nosotros. ¿Será que el desarrollo de las sociedades es paralelo al desarrollo de las personas?

La idea de que la Tierra permanece inmóvil en el centro del universo (modelo de Ptolomeo) debe ser *deconstruida* para que admitan el modelo de Copérnico. Para ello el profesor debe realizar una labor nada fácil, sin más instrumentos que la experimentación y el método socrático siendo éste el primer cambio de modelo científico que tienen que vivir nuestros alumnos. No debemos creer que fue fácil, en 1543, ni que sea fácil en nuestras aulas. De hecho fue tan costoso que, como hemos dicho, desde entonces se denominan revoluciones a los cambios de paradigma en honor al título del libro de Copérnico.

La creencia de que las fuerzas producen velocidades impide adquirir el concepto de inercia o primera ley de Newton, imprescindible para entender la mecánica moderna. El profesor debe contar con los conocimientos y recursos didácticos necesarios para ayudar a que los alumnos descubran el concepto de inercia, ya que sin él se encontrarán perdidos en los vericuetos de la dinámica.

El preconcepto del *horror vacuum* es la forma natural por la que los niños entienden por qué podemos beber un refresco utilizando una pajita: absorbemos el aire, hacemos vacío en la pajita y el líquido, empujado por el horror al vacío, ocupa el lugar que antes ocupaba el aire. Debemos destruir este preconcepto para que sean capaces de entender la presión atmosférica y los procesos de líquidos y gases. Y es también el profesor el que debe propiciar este difícil cambio.



**Imagen 8.** Protones, neutrones y electrones. CP Virgen de la Cabeza. Tudela.

La falsa creencia de la independencia de la materia y la forma es otro importante preconcepto, como hemos indicado con el ejemplo de la rana. Es necesario destruir esta idea aristotélica, ya que la ciencia actual se basa en que las propiedades de las sustancias se deben únicamente a la composición atómica (**Imagen 8**) y molecular de las mismas. Un material es conductor o aislante dependiendo de su estructura cristalina y composición atómica.

Otro gran cambio que tienen que asimilar nuestros alumnos es el de emplear el lenguaje matemático para describir situaciones reales.

Ese momento ocurre cuando usan por primera vez la aritmética para resolver problemas. Y lo vuelven a experimentar cuando emplean por primera vez las ecuaciones. Es este un momento importante de la formación de nuestros alumnos, el utilizar las ecuaciones como un lenguaje más, y los niños lo suelen interiorizar hacia los nueve o diez años. Como hemos dicho esta fue la gran revolución de Galileo, utilizar el lenguaje de las matemáticas para expresar las leyes de la naturaleza.

## Conclusiones

Queremos resaltar que la ciencia es el mayor factor de transformación de la sociedad. Los científicos, lejos de estar aislados en sus torres de marfil, están perfectamente integrados en la sociedad y son perfectamente conscientes de los problemas planteados. La mayoría de los cambios de paradigma y alteraciones en la estructura de la sociedad han estado impulsados por avances importantes en el conocimiento científico, constituyendo una parte esencial de nuestra cultura.

Otra característica de los seres humanos es la capacidad de aplicación de los conocimientos científicos que ha desarrollado para modificar el medio en el que vive. Esto convierte a la especie humana en la especie más agresiva para el preservar o destruir nuestro planeta, por lo que hay que educar a los niños de manera que sean conscientes de ello.