

UNA EDUCACIÓN PARA EL SIGLO XXI

LA FORMACIÓN CIENTÍFICA

Maurice Allais

La enseñanza de las ciencias es una de las claves del futuro. La definición pedagógica del espíritu científico constituye, pues, una tarea primordial. Maurice Allais, Premio Nobel de Economía en 1988 y antiguo director del CNRS (Centre National de la Recherche Scientifique) francés, se embarca aquí en una valiente empresa, reflexionar sobre algunos puntos clave que definen la ciencia, su espíritu y los principios fundamentales de la investigación científica.¹

Definir las condiciones de la formación científica es un objetivo tan amplio que, considerado en toda su dimensión, es realmente imposible tratarlo en algunas pocas páginas.¹

Me limitaré a definir lo que es el espíritu científico y a enumerar brevemente algunos de los principios fundamentales que se deben aplicar a una formación científica.

I. El espíritu científico

Antes de nada, debemos preguntarnos cómo podemos definir el espíritu científico, cuáles son los principios fundamentales de la investigación científica y cuáles son las perversiones de la ciencia que se constatan muy a menudo.

¿Qué es la ciencia?

• **La creación de modelos:** Encontramos la ciencia allí donde existen regularidades susceptibles de ser analizadas o de ser predichas.

Toda ciencia se fundamenta en unos modelos, y todo modelo conlleva tres niveles bien distintos: partir de hipótesis bien explícitas, deducir de estas hipótesis todas las consecuencias y nada más que las consecuencias y confrontar estas consecuencias con los datos obtenidos de la observación.

De estas tres fases, sólo la primera y la tercera, la elaboración de hipótesis y la confrontación de los resultados con los datos de la observación, tienen interés para el análisis de la realidad. La segunda fase, puramente lógica y matemática, es decir tautológica, no presenta otro interés que el matemático.

En la elaboración de las teorías y de sus modelos, la abstracción juega un papel primordial. El papel de la ciencia es el de simplificar y el de escoger; es el de reducir los hechos a los datos significativos y de buscar sus principales dependencias.

Toda ciencia implica entonces necesariamente un compromiso entre el deseo de simplicidad y el deseo de similitud. Es muy cómodo obtener una gran simplicidad, pero existe el riesgo de proporcionar una imagen alejada de los hechos y una gran similitud hace que el modelo sea demasiado complejo y prácticamente inutilizable.

- **La intuición creadora:** Durante la elaboración de la ciencia, es decir, durante la construcción de las teorías y de sus modelos, es la intuición creadora la que desempeña un papel preponderante. Gracias a ella se realiza, a partir de los conocimientos ya adquiridos, la elección de la hipótesis, o sea, la elección de los conceptos que permiten representar lo que es esencial de la realidad.

- **La observación de los hechos:** La deducción lógica, sea matemática o no, estará desprovista de todo valor en cuanto a comprensión si no permanece estre-

chamente ligada al estudio de la realidad. La regla de oro que domina toda disciplina científica es la de someterse a los datos obtenidos con la experiencia. Esta norma es la misma para todas las ciencias. Cualquier teoría no puede ser admitida si no ha sido previamente verificada por los datos de la experiencia.

- **La utilización de las matemáticas:** Las matemáticas constituyen un instrumento inigualable y casi insustituible para probar la coherencia lógica del modelo sobre el cual se fundamenta una teoría y para extraer su verdadero contenido.

La formulación matemática tiene la inestimable ventaja de forzar el espíritu hacia la reflexión y la precisión. Proporciona la posibilidad de descubrir todas las consecuencias y nada más que las consecuencias de las hipótesis elaboradas a partir de la experiencia anterior, y por consiguiente, de dejar en evidencia su contenido efectivo.

Pero todo autor que utilice las matemáticas debería imponerse la utilización de un lenguaje inteligible para expresar el significado de sus hipótesis y el significado de los resultados que obtiene. Cuanto más abstracta sea su teoría, más el científico debe ceñirse a esta obligación.

Maurice Allais



Ingeniero de minas de formación, dedicó además gran parte de su vida profesional a otras dos grandes vocaciones: la historia y la física teórica y experimental. En 1936 inició su carrera en el servicio público como ingeniero de minas. Desde entonces se sucedió en varios cargos de responsabilidad dentro de la Administración francesa, coincidiendo con algunos de los momentos más críticos de la Segunda Guerra Mundial. En 1948 abandona definitivamente sus deberes en la Administración para dedicarse a la educación, la investigación y la escritura. Fue nombrado entonces catedrático de análisis económico en la Escuela Nacional Superior de Minas y más tarde director de la Unidad de Investigación del CNRS (Centre National de la Recherche Scientifique). Entre 1941 y 1948 publicó algunas de sus mejores obras: *Búsqueda de una disciplina económica* y *Economía e interés*. Sus aportaciones a las ciencias económicas en la búsqueda de las condiciones óptimas para garantizar la efectividad de la economía, así como el análisis de los factores determinantes de la distribución de los ingresos, le llevaron al Premio Nobel de Economía en 1988.

*Demasiados estudiosos de la teoría
tienden a no tener en cuenta hechos
que contradigan sus convicciones*

De hecho, las matemáticas no son más que una herramienta para explorar lo real. En esta exploración, las matemáticas no son un objetivo en sí mismas sino un medio.

Principios fundamentales de la investigación científica

¿Cuáles son entonces los principios fundamentales de la investigación científica? Como mínimo tres son esenciales: una sumisión incondicional a las enseñanzas de la experiencia, un espíritu crítico y una concepción clara de la naturaleza de las teorías.

- **Una sumisión incondicional a las enseñanzas de la experiencia:** El primer principio de una investigación científica es el del predominio absoluto de los hechos observados sobre los análisis teóricos. Sólo los hechos constatables son los que tienen una realidad física, y la verdadera realidad física reside en el conjunto de resultados experimentales. Una célebre máxima mantiene que «la experiencia es la única fuente de verdad. Sólo ella puede enseñarnos algo nuevo, sólo ella puede proporcionarnos la certeza».

Siempre es el fenómeno concreto el que determina si una teoría debe ser aceptada o rechazada. No hay, y tampoco podría existir, ningún otro criterio sobre la verdad de una teoría que su demostración más o menos perfecta a través de fenómenos concretos. Demasiados estudiosos de la teoría tienden a no tener en cuenta hechos que contradigan sus convicciones.

- **Un espíritu crítico:** El segundo principio de la investigación científica es el de tener un espíritu crítico. Un agravante del error es creer que es verdad. Entonces, el que se equivoca lo hace doblemente. Se equivoca porque se equivoca y se equivoca porque no sabe que se equivoca. Cuantos más motivos tengamos de pensar que tenemos razón, más debemos estar convencidos de la relatividad de toda convicción, y más debemos permanecer abiertos a opiniones diferentes a las nuestras.

En el mundo de la ciencia, la noción de «verdad» es, en realidad, muy relativa. Ninguna teoría ni ningún

modelo pueden pretender representar la «verdad absoluta» y, si realmente existiera esta verdad, siempre nos será inaccesible. Sólo existen modelos más o menos bien comprobados por los datos de la observación.

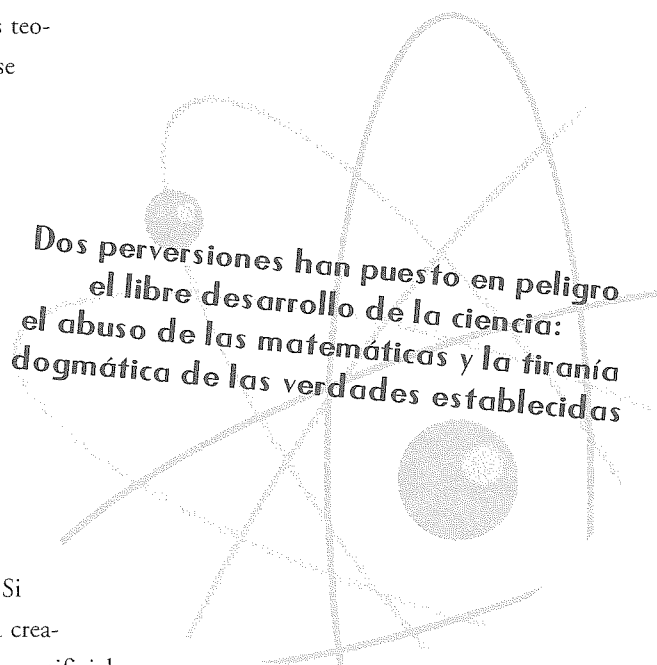
La historia de la física muestra que unos mismos hechos pueden ser explicados por teorías completamente diferentes. El resultado de todo ello es que las comprobaciones experimentales de una teoría, en un momento dado, no podrían probar la validez definitiva de esta teoría.

• **La oposición falaz entre teoría y práctica:** El tercer principio de la investigación científica es el de tener una comprensión bien clara de la naturaleza de las teorías. Frecuentemente se opone práctica y teoría. Se dice que «la práctica es una cosa y la teoría otra», que «la teoría, por causa de su abstracción, está alejada de las realidades».

Una oposición tal es totalmente falaz, ya que una teoría sólo es válida en la medida en que constituye una realidad condensada. Si no fuera así, sería una pura creación del espíritu, del todo artificial que, desde el punto de vista científico, no tiene ningún valor. Por el contrario, si realmente es una condensación de lo real, puede resultar extremadamente útil porque representa, bajo una forma muy fácil de utilizar, un alud de información de todo tipo sobre fenómenos observados.

Las perversiones de la ciencia

De hecho, dos perversiones han puesto en peligro el libre desarrollo de la ciencia: el abuso de las matemáticas y la tiranía dogmática de las verdades establecidas.



• **El abuso de las matemáticas:** En un principio, en toda ciencia, el rigor de las deducciones de los matemáticos no debe producir ilusión alguna.

Leyendo algunas memorias contemporáneas, choca ver el creciente abuso del formalismo matemático. Tendemos a olvidar que el verdadero progreso no consiste en una exposición puramente formal, sino en el descubrimiento de ideas directrices que están en la base de toda demostración. Son estas ideas de base las que conviene explicitar y discutir en lugar de disimularlas detrás de un simbolismo matemático más o menos hermético. De hecho, en todos los ámbitos, la

literatura contemporánea ofrece innumera-

bles ejemplos de aberraciones que se

pueden cometer cuando se

obvia el principio esencial

de que una teoría sólo es

válida en la medida en

que se corresponde

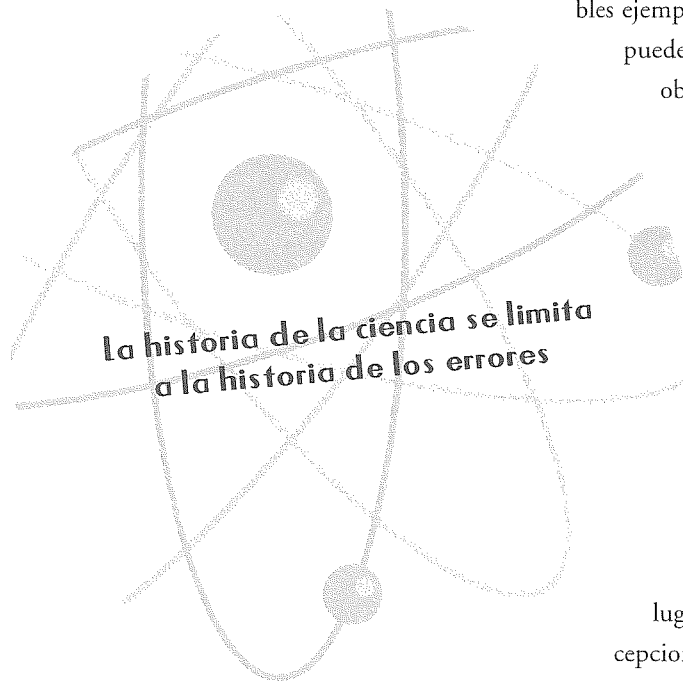
con unos hechos

observados, y que la

única fuente de ver-

dad es la experien-

cia.



**La historia de la ciencia se limita
a la historia de los errores**

• **El dogmatismo y la tiranía de las «verdades establecidas»:**

En segundo

lugar, en cada época, las con-

cepciones innovadoras han sido

combatidas y rechazadas por el poder

tiránico de las «verdades establecidas». Desde

siempre el fanatismo dogmático e intolerante no ha

cejado en su empeño de oponerse al progreso de la

ciencia y a la revisión de los postulados correspondien-

tes a las teorías admitidas cuando nuevos hechos las

han invalidado. Sin ningún lugar a dudas se puede

afirmar que la historia de la ciencia se limita a la histo-

ria de los errores de los hombres «competentes».

En realidad, el consentimiento universal, y el de

la mayoría, no pueden ser considerados como criterios

de la verdad. En último término, la condición esencial

del progreso de la ciencia es una sumisión total a las

enseñanzas de la experiencia, única fuente real de

nuestro conocimiento. No hay, ni puede haber, otro criterio de la verdad de una teoría que no sea su correspondencia más o menos perfecta con los fenómenos concretos. Tarde o temprano, los hechos acaban por imponerse sobre las teorías que los niegan. La ciencia es un devenir perpetuo que elimina las «verdades establecidas». Será el futuro el que finalmente juzgará las obras y los hombres.

II. La adquisición del espíritu científico

Viendo lo que caracteriza el espíritu científico, ¿cuál debe ser la enseñanza más indicada para que los jóvenes puedan adquirir el espíritu científico?

Tienen que darse seis condiciones como mínimo: la enseñanza debe fundamentarse sobre *lo concreto*, sobre *visiones de conjunto*, sobre *análisis críticos*, debe enseñarse las matemáticas como si se tratara de una herramienta, y la enseñanza debe ser siempre *activa*, *descentralizada* y basada en la *selección*.

• **Una enseñanza fundamentada sobre lo concreto:** Ante todo, la enseñanza debe fundamentarse sobre lo concreto. La abstracción es ciertamente indispensable pero sólo podemos justificarla en la medida en que se basa en lo concreto y en que prepara la explicación de los fenómenos o de su utilización.

Así, por ejemplo, se enseña la mecánica racional a partir de innumerables cálculos teóricos y se da un lugar irrisorio a las experiencias fundamentales sobre las cuales descansan los principios generales de la mecánica. De hecho, todo curso de mecánica racional que se precie, debería iniciarse con el comentario de algunas experiencias básicas, como la de la peonza o la del péndulo de Foucault. Es imposible encontrar nada mejor para contribuir a la formación científica. Dicen que Tycho Brahe, en 1560, cuando tenía 14 años, se sorprendió, durante un eclipse solar, de la exactitud con la cual las efemérides habían anunciado el fenómeno y que este hecho hizo que se despertara su vocación de astrónomo.

Todo esto que sirve para la enseñanza superior vale también para la enseñanza secundaria y primaria.

Toda enseñanza debe partir de lo concreto y concluir en lo concreto.

• **Las indispensables visiones de conjunto:** Para llegar a ser eficaz, toda enseñanza debe complementarse con visiones de conjunto, dejando traslucir las líneas directrices de esta enseñanza, su evolución histórica y su relación con los principios generales de la filosofía de las ciencias. En toda enseñanza son las ideas generales y los principios vectores los más difíciles de asimilar. Pero son estas ideas y estos principios los más importantes, los más necesarios para una comprensión plena de las cuestiones tratadas. Desgraciadamente, demasiado a menudo, son obviados.

• **La necesidad de los análisis críticos:** Toda enseñanza debe ir complementada por análisis críticos sobre el significado y el alcance de las experiencias y de los modelos y de las teorías que los representan. En la enseñanza debemos considerar como esenciales la discusión de las hipótesis de salida, el comentario de los métodos de resolución, la interpretación de los resultados, la inteligencia de los tamaños escogidos y los ejercicios de aplicación.

La exposición de hechos inexplicados y contradictorios mediante teorías admitidas debería ocupar un lugar preferente en la enseñanza superior.

Demasiado a menudo, la enseñanza tiende a tomar una forma dogmática y definitiva. No hay nada más opuesto al espíritu científico y al progreso que esta reducción de la ciencia a planteamientos dogmáticos.

La teoría de la gravitación universal de Newton, por ejemplo, ha sido comprobada durante siglos. A pesar de ello esta teoría se basa al menos en una hipótesis falsa, la de la transmisión instantánea de las fuerzas de atracción a distancia, sin medio intermediario. Pero esta hipótesis no se ha discutido ni se ha profundizado en ella en ningún tratado científico. Permanece aún insuficientemente comentada.

• **Una enseñanza de las matemáticas orientada hacia las aplicaciones:** De hecho, la enseñanza de las matemáticas siempre tiende a ser demasiado abstracta. Pero, para la gran mayoría de los estudiantes, su obje-

vo no es el de formar matemáticos puros sino el de preparar espíritus capaces de comprender y de utilizar las matemáticas, lo que es diferente.

Es cierto que la enseñanza de las matemáticas debe mantener un gran rigor intelectual, pero este rigor debe ceñirse a la comprensión del alcance de las hipótesis y de la interpretación de los resultados. No debe convertirse en un pretexto para hacer matemáticas por sí mismas.

La enseñanza de las matemáticas debe presentarlas como una herramienta para explorar lo real. Debe ayudar a una mayor comprensión de la relación que permiten establecer las matemáticas entre la abstracción y lo real.

Descentralización y selección

• **Una enseñanza activa:** La enseñanza sólo puede ser eficaz si va acompañada de apuntes o clases escritas y si las horas de enseñanza se dedican casi de manera exclusiva a comentarios sobre los apuntes y a intercambios de puntos de vista con los estudiantes. De hecho, la única ventaja real de la enseñanza oral es la presencia del maestro que puede responder a las preguntas de los estudiantes y comentarles las dificultades de los temas tratados.

Pero para la formación de los estudiantes lo más importante no es el contenido de los programas sino la calidad de los maestros, no es tanto lo que se enseña sino cómo se enseña.

El objetivo primero de toda enseñanza es el de facilitar a los estudiantes todas las herramientas para que puedan afrontar el estudio eficaz de cualquier cuestión que su profesión les planteará en el curso de su carrera.

Para ello hace falta que la enseñanza dé preferencia a los métodos intuitivos y a los resultados experimentales, pero aportando a los estudiantes todos los elementos necesarios para que puedan trabajar después de una manera rigurosa cualquier cuestión que se les plantee y utilizar eficazmente todo estudio aunque sea de un nivel muy elevado.

En ningún momento se enseña a los estudiantes cuáles son los métodos de organización del trabajo más eficaces. A pesar de ello, creo que de todas las enseñanzas posibles, la de la organización del trabajo personal es la más útil y la más necesaria.

• **Una enseñanza descentralizada y fundamentada en la selección:** Finalmente, la formación científica debe descentralizarse. Debe mantenerse la descentralización de las grandes escuelas, pero también debe potenciarse la de las universidades.

Sólo podremos asegurar una formación científica de calidad si se descentraliza en lugar de centralizar y si se salvaguarda una indispensable diversidad frente a la uniformización.

Pero esta formación científica de alto nivel implica una doble selección, la de los alumnos y la de los que enseñan.

Querer proporcionar una formación científica de masas conservando la calidad es un objetivo irrealizable. Un objetivo tal sólo puede reducir la calidad media de los estudiantes y de los profesores a un nivel mediocre.

Verdaderamente, oponiéndose a la promoción de elites de todos los estratos sociales, la negación de la selección es fundamentalmente antidemocrática. ¶

Notas

1 Este texto corresponde a la intervención que el autor presentó durante la sesión solemne del martes 27 de mayo de 1997 en la Academia francesa de las Ciencias Morales y Políticas.