

EPISTEMOLOGÍA, CAOS Y ENSEÑANZA DE LAS CIENCIAS

LUFFIEGO, M.¹, BASTIDA, M.F.², RAMOS, F.³ y SOTO, J.¹

¹ Instituto de Bachillerato la Albericia. Av. Deporte s/n. 39012. Cantabria.

² Instituto de Bachillerato B° Pesquero. Marqués de la Ensenada. 39009. Cantabria.

³ Departamento de Educación. Edificio Interfacultativo. Av. Los Castros s/n.
Universidad de Cantabria. Cantabria.

SUMMARY

In this article it is maintained that modern science is going through a critical period where its epistemological assumptions and the use of a parcelling and reductionist methodology are questioned. This will surely have important implications in the teaching of the sciences, perhaps because the world today demands above all an epistemological change in the people who, within a few years, will occupy the posts in the production and reproduction of scientific and technical knowledge.

INTRODUCCIÓN

Durante siglos el pensamiento humano pecó de ser excesivamente especulativo y metafísico. A raíz de la obra de Copérnico, Kepler, Galileo y Newton, entre otros, se rompió con el pensamiento finalista y teleológico heredado de Aristóteles, desarrollándose una metodología para el estudio del comportamiento fenoménico de las cosas y con el objetivo de dar una explicación causal del mismo.

La novedad fundamental del denominado posteriormente método científico, estribaba en la puesta a punto de un método de interrogación de la naturaleza—la experimentación científica—y en recoger y tratar las «respuestas de la naturaleza» en el lenguaje de las matemáticas.

Primero en Inglaterra y poco después en el continente, se generó una fe ciega en la ciencia debido a sus éxitos en la descripción coherente del mundo. Se creyó que el modelo newtoniano del mundo era verdadero y totalizante, capaz, en lo sucesivo, de explicar todo fenómeno. El determinismo más radical se afincó en la ciencia, tal como lo ilustran las palabras de Laplace escritas a comienzos del s. XIX: «Para una inteligencia que conociera en un instante dado todas las fuerzas de la naturaleza y la situación de los seres que la componen y fuera suficientemente poderosa para someter esos datos al análisis matemático [...] nada sería incierto y el futuro y el pasado estarían presentes ante sus ojos.»

El programa mecanicista, que así puede denominarse el sucintamente recogido en el párrafo de Laplace, no podía ser más ambicioso. El conocimiento objetivo y verdadero estaba al alcance del método científico y el conseguirlo sólo era cuestión de tiempo; la verdad, como tal, no podía tener matices, cuando se llegaba a ella a través de una correcta descripción matemática se había logrado el conocimiento científico. Lo mismo sucedía con el error, simplemente se consideraba que un conocimiento erróneo no era científico. La verdad de una ley iluminaba la predicción a partir de los datos iniciales; en teoría, era posible determinar con rigor absoluto el curso de los acontecimientos.

La filosofía mecanicista fue desplazando paulatinamente a la escolástica de los círculos académicos y del poder. La palabra de Dios, fundamento de la concepción del mundo cristiano, fue envejeciendo y atrincherándose y su lugar ocupado por la palabra de la Ciencia. Y aunque de ninguna manera puede hablarse del mecanicismo como de un paradigma monolítico, ni tan siquiera en el campo de las ciencias de la naturaleza—recordemos que, sobre todo en la biología, la heterogeneidad de objetos, la divergencia de los intereses, la variedad de técnicas abren un abanico de disciplinas en el que en uno de sus polos se sitúan aquéllas de carácter reduccionista y en el otro las disciplinas de actitud integradora (Jacob 1970)—no obstante, la tendencia predominante ha sido la de

considerar el mundo y sus objetos como máquinas cuyo comportamiento puede ser comprendido a través del estudio de sus componentes elementales.

Ello condujo a la aparición, durante la Ilustración, de una nueva concepción del mundo basada en la idea de progreso, que revitalizó la historia, llegando a modificar radicalmente la vida de los ciudadanos occidentales, sus valores éticos, sus expectativas en este mundo así como la organización económica, social y política. El mundo actual es el resultado del impresionante cambio que supuso la revolución industrial, que tuvo su origen, entre otros factores —no lo olvidemos—, en el cambio conceptual, epistemológico y metodológico introducido por la revolución científica del s. xvii.

En el presente artículo se sostiene que en la actualidad el mundo atraviesa nuevamente una crisis profunda en la que se cuestionan no sólo los modos de vida actuales sino los propios fundamentos epistemológicos y metodológicos de la ciencia misma y que inevitablemente poseerá fuertes implicaciones para los distintos sistemas que componen la sociedad en general, y para el sistema educativo en particular. Nos centraremos, en primer lugar, en describir y explicar las razones de esta crisis científica para, a continuación, analizar las implicaciones que ello acarrea en la enseñanza de las ciencias.

LA CRÍTICA DE LA CIENCIA MECANICISTA

Reparemos en la síntesis del programa mecanicista que realiza Laplace en la frase anteriormente citada. Contiene un silogismo basado en tres premisas y una conclusión: si conociéramos todas las fuerzas de la naturaleza (las leyes universales), si conociéramos la situación de los seres que la componen (las condiciones iniciales) y si pudiéramos someter estos datos al análisis matemático, entonces nada sería incierto y el futuro y el pasado estarían presentes (podríamos predecir certeramente).

Aunque hoy en día existan potentes ordenadores que podrían llegar a cumplir la tercera premisa, mostraremos, sin embargo, la debilidad de las dos primeras.

El conocimiento de leyes universales verdaderas

La fundamentación de la ciencia mecanicista corrió a cargo de la filosofía de la ciencia de principios del s. xx: el neopositivismo o positivismo lógico. Según su punto de vista, era posible demarcar sin ambigüedad el conocimiento científico de otros tipos de conocimiento. Partiendo de proposiciones elementales significativas, o lo que es lo mismo, de proposiciones que hacen referencia a hechos simples y que pueden ser verificadas empíricamente, sería posible construir leyes y teorías científicas mediante combinación lógica de estas proposiciones elementales. De esta manera podría obtenerse un conocimiento probado, es decir, verdadero y objetivo y, por lo tanto, universal. La demarcación entre ciencia y pseudociencia consistiría precisamente en exigir que las teorías fueran probadas y verificadas a través de un estudio positivista.

Pronto se puso de manifiesto que la debilidad de la tesis verificacionista era doble: por una parte, que las proposiciones elementales son modificables, por cuanto la objetividad de la evidencia empírica no era tal al existir presuposiciones, paradigmas o constructos subjetivos desde los cuales se interpreta la realidad y, por otra, su carácter inductivo, ya que no existe un número finito de proposiciones elementales verificadas que puedan probar el carácter genérico de una ley científica.

La respuesta a las dificultades por las que atravesaba la corriente neopositivista fue elaborada por una nueva versión de la misma, que reconociendo que la verificación observacional y experimental nunca es concluyente, propuso el principio de confirmación gradual: si bien las teorías científicas no podían ser probadas, podían, sin embargo, tener diversos grados de confirmación a través de la experimentación.

Los trabajos de Popper (1959) fueron determinantes a la hora de desestimar también el nuevo criterio de demarcación. No sólo las teorías son imposibles de probar o verificar, sino que tampoco puede admitirse grado de confirmación alguno.

Pero Popper no abandonó por ello el objetivo de fundamentar la ciencia. Para salvar el objetivo demarcacionista, propuso un nuevo criterio, el criterio falsacionista, según el cual, aunque las teorías no pueden ser probadas sí pueden ser falsadas mediante experimentación. El nuevo criterio demarcacionista consiste entonces en que las teorías científicas, a diferencia de las pseudocientíficas, deben ser formuladas de modo que puedan ser sometidas a refutación experimental. La labor del científico será la de proponer hipótesis o conjeturas contrastables experimentalmente. En el curso de la contrastación se comprobará si los datos obtenidos experimentalmente son o no compatibles con las predicciones realizadas mediante deducción a partir de las hipótesis. El grado de corroboración de un teoría estará en función del número de éxitos que obtenga en las distintas contrastaciones a las que se vea sometida.

El argumento de Popper proporciona la puntilla a la corriente neopositivista, y aunque los filósofos historicistas (Kuhn, Lakatos, Toulmin, etc.) muestran de qué manera el criterio de demarcación de Popper y su visión lineal de la historia de la ciencia como un continuo de conjeturas y refutaciones no resisten el análisis histórico del progreso científico, para nuestro propósito es perfectamente válido, ya que muestra el error positivista y mecanicista de considerar que las leyes científicas poseen un carácter universal.

No obstante, a juzgar por lo que manifiestan los científicos en los medios de comunicación, creemos que la mayoría de ellos conservan un pensamiento positivista pragmático ya que, si bien consideran que las leyes no son universales, la ciencia sigue siendo fiable porque nos acerca progresivamente a la verdad y, sobre todo, porque puede predecir y controlar los fenómenos. En el siguiente punto trataremos de mostrar las limitaciones de esta idea y la nueva perspectiva desde la que debe ser entendida y aplicada.

El conocimiento preciso de las condiciones iniciales

El razonamiento que vamos a seguir intenta poner de manifiesto una cuestión primordial: aunque tuviéramos ocasión de disponer de una ley universal que describiera perfectamente un sistema, y de un procedimiento de cálculo inmejorable, tampoco nos serviría para predecir y, en consecuencia, para controlar la evolución de dicho sistema.

La clave para resolver esta aparente paradoja radica en entender las implicaciones de una propiedad que poseen la mayoría de los sistemas dinámicos: sensibilidad a las condiciones iniciales. *La teoría del caos* (teoría que ha venido a enriquecer nuestro concepto de complejidad) sostiene que aquellos sistemas dinámicos que puedan ser descritos por ecuaciones cuyas variables se encuentren en una relación no lineal atraviesan durante su evolución por fases de comportamiento caótico impredecible debido a la sensibilidad que poseen en las condiciones iniciales.

Acerquémonos al significado de esta interesante propiedad a través de un sencillo ejemplo. En la ecuación de la parábola $y = rx(1-x)$ existe un parámetro y dos variables relacionadas no linealmente. El parámetro r puede tomar valores entre 0 y 1 y, dependiendo de ello, se abomba más o menos la parábola, x es la variable independiente y oscila también en el mismo intervalo 0-1; e y la variable dependiente. Puede simularse la dinámica de un sistema que estuviera descrita por esta ecuación logística iterando valores de x (es decir, partiendo de un valor de x cualquiera se obtiene un valor de y , éste se vuelve a introducir como x con lo que obtenemos otro valor de y , y así sucesivamente). El resultado de la iteración es bien diferente al modificar la curvatura de la parábola dando distintos valores a r .

Tal como se observa en la figura 1, la sucesión de valores determinada por el valor inicial (semilla) de x tiende hacia un punto atractor. En este caso hay insensibilidad a las condiciones iniciales porque cualquier otra semilla de x genera una sucesión que se cierra sobre el mismo centro atractor. Se trata, por lo tanto, de un sistema determinista y predecible.

Figura 1

Cuando $r = 0,62$ cualquier valor de x iterado acaba cayendo en un punto atractor. Este caso describe adecuadamente la propiedad denominada: insensibilidad a las condiciones iniciales.

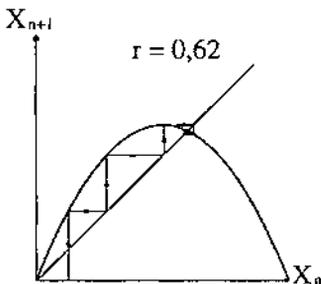


Figura 2

Al elevar el valor de r , las trayectorias que resultan de iterar valores de x se reparten entre dos centros atractores.

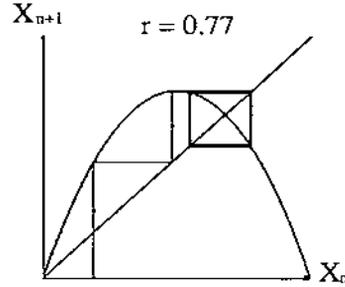
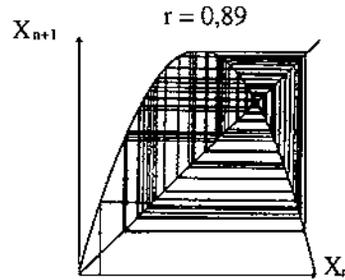


Figura 3

A medida que aumenta r , el número de atractores se va duplicando y una vez sobrepasado el valor $r = 0,89$ es tal su número que se origina caos.



En la figura 2 aparecen dos puntos atractores. Ocurren las cosas como si el atractor anterior se hubiera desdoblado en dos al aumentar el valor de r . Existe también insensibilidad hacia las condiciones iniciales, por lo que el modelo representa también un sistema determinista y predecible, aunque con un grado de predecibilidad menor.

Por el contrario, en la figura 3 se aprecia un fenómeno cualitativamente diferente: la aparición de un gran número de atractores. Al aumentar r , el número de ellos se va duplicando rápidamente hasta entrar en fase caótica en la que su número se convierte en infinito. Se dice entonces que el sistema se muestra sensible a las condiciones iniciales, es decir, una situación tal en la que dos semillas x , tan próximas como queramos, dan lugar a dos sucesiones de valores completamente divergentes. Ello significa que en una situación real, cualquier error cometido al determinar los datos iniciales generará tal discrepancia entre los valores teóricos calculados para seguir la evolución del sistema y su comportamiento real que hará inútil toda predicción a largo plazo. El modelo matemático descrito simula un sistema determinista (puesto que existe una ecuación que determina las sucesiones de valores) y a la vez impredecible (Crutchfield et al. 1986).

En las figuras 4 y 5 pueden observarse los modelos predecible e impredecible de manera más intuitiva. La bola en el sombrero de la figura 4 caerá siempre en el fondo del sombrero independientemente de su posición inicial. No ocurrirá lo mismo en la figura 5. En esta situación hay tal sensibilidad hacia las condiciones iniciales que ni la trayectoria ni la posición final son predecibles de antemano.

Figura 4

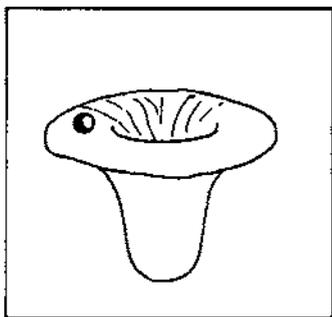
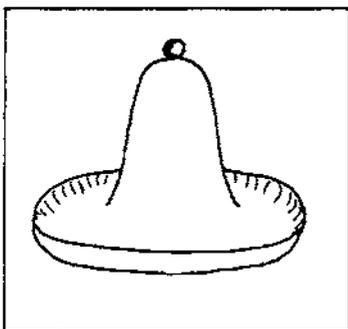


Figura 5



Falta imaginar un proceso dinámico por el que el sombrero se invagine y pase de la forma predecible a la impredecible y viceversa. En tal caso, el modelo del sombrero simularía de manera aceptable la evolución que experimentan los sistemas reales de características no lineales.

En efecto, parece ser que la dinámica de estos sistemas atraviesa por fases de estabilidad e inestabilidad: mientras se encuentran en fase estable, la predicción cuantitativa es posible, pero, si a causa del aumento de tensión (el sistema experimenta un aumento parámetro control), entran en fase caótica, entonces la predicción cuantitativa no es posible y hay que recurrir a la probabilística o a la cualitativa, aunque a largo plazo tampoco pueda garantizarse la bondad de las mismas. En la fase caótica hay una sensibilidad extrema a las condiciones iniciales y ello permite dar sentido a la vieja intuición de finales de siglo pasado del matemático Henri Poincaré, según la cual, pequeñas causas pueden provocar efectos

desproporcionados. En nuestro universo, numerosos ejemplos de sistemas caóticos tanto físicos, químicos como biológicos avalan la ubicuidad del caos (Rañada 1986).

Las implicaciones de la *teoría del caos*, para el ingenuo programa de Laplace y para los irreductibles positivistas pragmáticos, son evidentes. Si además de la crítica realizada a la universalidad de las leyes científicas, tampoco son fiables las medidas iniciales de las que partimos para hacer nuestras predicciones, ¿qué queda de la ciencia clásica?, ¿en base a qué criterios de racionalidad técnico-científica intervenimos en los sistemas naturales si nadie puede garantizar el control de nuestra intervención?

De ahora en adelante habremos de dialogar con un mundo complejo que no se deja reducir, simplificar ni manipular. Y ello es así porque concebimos la complejidad intergrada por diversos niveles de organización con propiedades emergentes irreductibles; porque está compuesta de sistemas complejos que no se deben simplificar, puesto que en su organización y evolución intervienen tanto lo aleatorio y el ruido externo, como lo regular y la señal, y, finalmente, porque hoy sabemos que existe un tipo de complejidad, ligada a la no linealidad de las variables de los distintos sistemas, que nos permite comprender que tampoco se puede predecir y manipular el comportamiento de los mismos, debido a la sensibilidad extrema que poseen a las condiciones iniciales.

La explicación y la comprensión de algunos fenómenos quedarán desligadas de nuestra capacidad para predecir y controlar a los mismos. Por el contrario, deberán asociarse a la incorporación de límites, a la predicción y a la prudencia de nuestra intervención en la naturaleza. En palabras de Prigogine y Stengers (1979): «[...] las ciencias de la naturaleza se han liberado de una concepción estrecha de la realidad objetiva, que cree que debe negar en sus principios la novedad y la diversidad en nombre de una ley universal inmutable. Se han liberado de una fascinación que nos representaba la racionalidad como cerrada, el conocimiento como en vías de terminación. Están, desde ahora, abiertas a lo imprevisible, del cual ya no hacen el signo de un conocimiento imperfecto, de un control insuficiente. Desde ahora, se han abierto al diálogo con una naturaleza que no puede ser dominada con una mirada teórica, sino solamente explorada, con un mundo abierto al cual pertenecemos, en la construcción del cual participamos [...] Ha llegado el momento de nuevas alianzas, ligadas desde siempre, durante mucho tiempo desconocidas, entre la historia de los hombres, la historia de las sociedades, de sus conocimientos y la aventura exploradora de la naturaleza.»

Por estos motivos, la nueva ciencia, la ciencia de la complejidad, deberá poner en marcha una nueva metodología, a la cual Morin (1982) denomina transdisciplinar, que, sin negar las particularidades de las distintas disciplinas, establezca un diálogo entre las mismas y aborde problemáticas con presupuestos epistemológicos menos ambiciosos que los positivistas y con criterios metodológicos holísticos e integradores.

LAS CONTRASTACIÓN CON LOS HECHOS REALES

Toda la argumentación anterior quedaría encuadrada en un estéril academicismo si no fuera porque los hechos reales apoyan la crítica realizada. En efecto, la intensa intervención practicada en los sistemas naturales en los últimos siglos está generando problemas medioambientales de carácter crítico que pueden llevar a una simplificación y empobrecimiento de los ecosistemas de consecuencias imprevisibles para las sociedades humanas.

El imperio de la idea del progreso que reina en la actualidad se halla construido en base a cierto número de creencias, alguna de las cuales relacionada con la epistemología de la ciencia mecanicista, a saber:

- el crecimiento económico puede ser ilimitado;
- los recursos del planeta son prácticamente inagotables;
- la ciencia y la técnica resolverán los problemas que se puedan presentar.

Este conjunto de hipótesis constituyen la ideología del modelo de desarrollo capitalista actual, así como la del modelo socialista que realmente existió. Se trata de un conjunto de creencias que ha penetrado en la conciencia de los ciudadanos occidentales —y en la de la mayoría de los ciudadanos del mundo— y que cumple la función de ayudar a legitimar el modelo de desarrollo actual y, en consecuencia, de canalizar el trabajo y la vida de los hombres con las notorias desigualdades existentes.

Como ya hemos señalado, durante los dos últimos siglos se ha experimentado este modelo con ahínco, con una intensidad y extensión crecientes, en ese gran laboratorio por el que ha sido tomada la naturaleza. En buena lógica popperiana sería el momento adecuado para hacer un balance de tal contrastación y, en el caso de que fuera negativo, corregir el conjunto de hipótesis del modelo de desarrollo. En tal sentido, cada vez son más numerosas y clamorosas las voces de científicos advirtiendo de nuestras acciones negativas sobre el medio (Meadows et al. 1991, Brown 1991, 1992).

Pero la visión kuhniana parece más adecuada a la hora de explicar lo que está sucediendo. El sistema científico-técnico se encuentra tan entretreído con el económico (programas I+D) que hasta que no entren en crisis y aparezcan nuevas alternativas, la simbiosis entre ciencia y economía continuará siendo el motor del desarrollo de las naciones industriales. La crisis medioambiental ya se ha destacado. Sin embargo, su diagnóstico se hace desde una perspectiva mecanicista y etnocéntrica sin considerar seriamente la posibilidad de modificar el conjunto de hipótesis del modelo de desarrollo (el golpe que para el modelo de desarrollo sostenible ha supuesto la conferencia de Río es buen ejemplo de ello), incluida la referente al papel de la ciencia y de la técnica en la sociedad. En este sentido, ¿no será que la ciencia no es aséptica, sino que es un subsistema interrelacionado con el resto de los

subsistemas sociales y que, por lo tanto, dado su papel, tiene una relativa pero importante responsabilidad en lo que está ocurriendo?

UN DIAGNÓSTICO ALTERNATIVO

Las consideraciones que hemos realizado atañen al núcleo de presupuestos epistemológicos que sostiene a la ciencia mecanicista, núcleo sin cuya modificación difícilmente puede realizarse un diagnóstico ajustado de la crisis medioambiental y mucho menos entrever una alternativa al modelo de desarrollo que no sea la de corregir y parchear los efectos nocivos que se están produciendo. Porque no solamente son las ciencias experimentales las que asumen ese núcleo epistemológico sino que también lo hacen ciencias como la economía (Naredo 1987), la sociología, etc., las cuales han contribuido a crear igualmente el mito de la ciencia verdadera y todopoderosa de nuestro tiempo.

Aunque no sea el momento adecuado de realizar una amplia exposición del posible diagnóstico alternativo, no obstante, haremos un resumen de sus puntos fundamentales con el fin de analizar posteriormente las implicaciones que ello pudiera tener para la enseñanza de las ciencias.

Desde una perspectiva de la complejidad, el universo no es un simple mecanismo sino algo complejo y en evolución, con numerosos niveles de organización imbricados entre sí, que empezamos a describir como dotado, en numerosas ocasiones, de un comportamiento no lineal.

Esta perspectiva modifica radicalmente los presupuestos epistemológicos que venía empleando la ciencia. Además de la evaluación interna que la propia ciencia realiza de sí misma en términos de racionalidad, verdad y objetividad, existe la necesidad, hoy más que nunca, de realizar una evaluación externa de la actividad científica. Desde este último punto de vista, ni la racionalidad, ni la verdad, ni la objetividad pueden considerarse valores exclusivos del conocimiento científico, sino características propias de todo conocimiento humano. Como tales, también son conceptos de carácter funcional, que permiten ajustar la actividad humana más adecuadamente al medio o contexto. Así, por ejemplo, aún cuando las sociedades tribales carecen de diversos subsistemas organizados, tales como el sanitario, el científico..., y, por lo tanto, pueden considerarse de menor complejidad que las sociedades occidentales actuales, no por ello su conocimiento deja de ser menos valioso que el nuestro. Al contrario, en algún sentido es más verdadero el conocimiento de estos hombres, destilado, casi exclusivamente, por acumulación de experiencias a lo largo de los siglos, que el conocimiento científico. En efecto, en numerosas ocasiones aquél se encuentra mejor ajustado tanto al sistema social como al ecológico propios, mientras que el conocimiento científico-técnico, construido en base a presupuestos epistemológicos mecanicistas, olvida con frecuencia que se aplica a sistemas más amplios en los que está produciendo disfunciones de intensidad y globalidad crecientes.

Amparados en la razón de una ciencia teórica basada en supuestos principios verdaderos, objetivos y universales, y empujados por la tendencia al desarrollo económico, hemos puesto en marcha una ciencia aplicada sustancialmente etnocéntrica. ¿No constituye ello una profunda contradicción? La razón científica debe asumir sus limitaciones epistemológicas, reconocer su amplio y variable margen de ignorancia, respetar lo desconocido incluyendo las culturas de otras sociedades y, en tal sentido, los científicos y sus organizaciones deberían mostrar un mayor grado de conciencia, prudencia y responsabilidad (Morin 1982), participando denodadamente en esa evaluación externa a través del seguimiento y control de su propia producción científico-técnica, dado que ésta trasciende el subsistema científico interaccionado con el social y el ecológico.

En el presente siglo se han producido grandes descubrimientos científicos e importantes invenciones técnicas, pero, con todo, lo más importante, fruto de los desarrollos de las ciencias de la complejidad (aquí se incluye la ciencia del caos), de las implicaciones del segundo principio de la termodinámica y de la necesidad de afrontar la crisis ecológica está por llegar: el cambio epistemológico en las ciencias y el cambio en el modelo de desarrollo de las sociedades.

Desde la nueva perspectiva, el diagnóstico de la crisis medioambiental es radicalmente diferente: los problemas medioambientales no son simples errores que puedan corregirse técnicamente sino que son consustanciales al modelo de desarrollo. El segundo principio de la termodinámica sostiene que el incremento de entropía en el universo es creciente, aunque en sistemas abiertos pueda conseguirse una disminución local de dicha entropía mediante su exportación al medio. Lo que en términos más prosaicos quiere decir que, si algunos países desarrollados son más limpios que otros, es entre otras cosas porque exportan contaminación y basura al medio, es decir, al resto de países (Rifkin 1980). Toda actuación humana y no humana añade inexorablemente entropía al universo. A los efectos de la crisis medioambiental, el problema, no obstante, no es tanto considerar el aumento ineludible de entropía, como el determinar si esa entropía generada es compatible o no con la salud de los ecosistemas (de ahí que disminuir ciertos tipos de contaminación sea algo positivo a sabiendas de que haciéndolo se añade un plus de entropía al resto del universo).

Y aquí es donde la visión mecanicista y la visión sistémica ofrecen dos diagnósticos diferentes. Para la última, el hombre interviene en ecosistemas dotados de una dinámica no lineal. Durante muchos años los efectos de tal intervención han sido absorbidos por la capacidad autorreguladora de los sistemas naturales, pero este estado de cosas no puede continuar indefinidamente. En efecto, si como fruto de la actuación humana los ecosistemas continúan tensionándose, puede llegar el momento en que se supere dicha capacidad y ocurra lo indeseado: que pequeñas causas provoquen grandes e imprevisibles efectos, al tiempo que éstos puedan aparecer a largo plazo. Los datos disponibles (Brown 1991, 1992, Meadows et al. 1991) muestran que la biosfera puede sufrir

en los próximos años importantes cambios críticos, debido a la sinergia de muchas de nuestras intervenciones. La alarma dentro de la comunidad científica es creciente y viene a sumarse a las voces más concienciadas que ya desde hace décadas advertían acerca de la pérdida de biodiversidad, de la destrucción anual de millones de hectáreas de bosques y de toneladas de suelo, del avance de la desertización, así como del creciente envenenamiento de la atmósfera y de las aguas por la contaminación.

Mientras que la visión mecanicista insiste en la necesidad de obtener nuevos datos con el objeto de precisar las causas de los problemas, de hacer predicciones correctas y de tomar medidas efectivas para el control de los efectos, la visión de la complejidad advierte de la imposibilidad de conocer suficientemente las causas, de hacer predicciones correctas y de controlar los procesos y efectos, abogando por un cambio cualitativo en el modelo de desarrollo que implique una desaceleración de la locomotora del progreso (Araujo 1992) y por una ciencia al servicio de ese propósito.

Nos hallamos frente a una gran bifurcación histórica (Laszlo 1989): o seguimos echando leña a la locomotora del progreso en un viaje que tarde o temprano acabará en el vacío (por ejemplo, tensionando aún más a los ecosistemas y a los hombres con la revolución biotecnológica de la que se esperan pingües beneficios para el capital más avanzado), o desaceleramos nuestro desarrollo, imbricamos nuestra economía en los principios por los que se rigen los ecosistemas y conservamos la biodiversidad y las múltiples —aunque cada vez menos numerosas— formas culturales de la especie humana aún existentes.

IMPLICACIONES PARA LA ENSEÑANZA DE LAS CIENCIAS

Cabe imaginar que el nuevo paradigma de la complejidad tendrá grandes repercusiones en el terreno de la educación, en general, y en el de la enseñanza de las ciencias, en particular, dado que la propia ciencia o sufre una gran mutación con el fin de hacer frente a los retos actuales y futuros o puede llegar a perder la legitimidad social de la que goza, cuando en el balance de sus realizaciones pesen más los problemas generados que los problemas resueltos.

Hemos de conocer mejor la imagen de la ciencia que manejan y transmiten los enseñantes de ciencias durante el proceso de enseñanza/aprendizaje. Aunque se han realizado abundantes estudios con profesores y alumnos acerca de cuáles son sus presupuestos epistemológicos (Pope y Scott 1983, Porlán 1986), sus conclusiones no distinguen entre aquéllos que denominamos positivistas «fuertes» (mecanicistas laplacianos) y los positivistas «débiles» o pragmáticos. Ambos se alimentan de una teoría del aprendizaje empirista pero mientras que para los primeros las leyes científicas son universales, verdaderas y objetivas, para los últimos, aunque los ideales de universalidad y verdad sean relativos, la ciencia y la

técnica permiten realizar predicciones acertadas así como controlar situaciones problemáticas. Aun a riesgo de equivocarnos, pensamos que el número de mecanicistas laplacianos es reducido puesto que, en plena época postmoderna, los absolutismos no gozan de muchos seguidores. Por el contrario, es bastante probable que el número de positivistas pragmáticos sea relativamente elevado. Y ello nos parece así porque la sociedad entera se alimenta de la creencia del potencial de la ciencia para controlar todo tipo de fenómenos.

Si fueran así las cosas, y a la vista de las consideraciones realizadas en este artículo, ¿no estaremos enseñando una ciencia con presupuestos del pasado? ¿No debería asumir el constructivismo la necesidad de un cambio epistemológico en los profesionales de la enseñanza de la ciencia? ¿Cuál es el cambio metodológico (Carrascosa y Gil 1985) que pretendemos promover en los alumnos: el de la ciencia plástica –parcelario y reduccionista– o el de la ciencia de la complejidad –sistémico e integrador?

La respuesta a estas cuestiones no es inmediata, necesitará de una construcción a medida que la propia ciencia modifique su paradigma y que aparezcan nuevos conceptos de carácter sistémico que permitan poner en marcha metodologías transdisciplinarias potentes. No se trata de erradicar los contenidos disciplinares: forman parte de la historia del pensamiento occidental. Se trata de concebirlos bajo un prisma epistemológico diferente y de trabajarlos con una metodología que no sea reduccionista y parcelaria y que sepa conciliar el análisis con la visión global. Como señalan Gil et al. (1991), un tratamiento disciplinar no ha de homologarse a una concepción reduccionista. Por poner un ejemplo, así como la historia recibió en su día las aportaciones de la economía y otras disciplinas pasando de ser una simple crónica de hechos a una disciplina de análisis e interpretación, del mismo modo existe hoy la necesidad de revisarla de nuevo a la luz de los estudios ecológicos y antropológicos, pues como dice Ponting (1991): «Los pilares de la historia humana se asientan en la forma de funcionar de los ecosistemas. Es evidente que ello tendría implicaciones acerca de nuestra noción de progreso, y nos ayudaría a redimensionar la historia del mundo occidental en un contexto más global.»

Estas cuestiones deben tener en un futuro inmediato una consideración central en el terreno de la educación secundaria y universitaria, porque creemos sencillamente que los alumnos merecen tener la ocasión de descolonizar su aparato conceptual de creencias, que, como hemos visto, cada vez tienen menor fundamento, tanto desde un punto de vista teórico como empírico. Ello no es fácil. Como vemos, la estructura del pensamiento positivista es compleja y para desmontarla se requieren argumentos que pongan en cuestión no sólo su carácter inductivista, sino otros relacionados con las ciencias de la complejidad, así como aquellos argumentos con carga empírica formulados a la luz de los datos relacionados con la crisis ecológica.

De ahí que, a nuestro juicio, las investigaciones acerca del pensamiento epistemológico de los profesores y alumnos deban apoyarse y completarse con otras que

sondeen cuál es su concepción del mundo, pero no en términos metafísicos, religiosos o cosmológicos sino en términos operativos; en concreto, qué piensan del progreso en general y del científico-técnico en particular. Porque, como ya hemos visto, la potencialidad de la ciencia y de la técnica para resolver problemas es una de las creencias que forman parte del núcleo ideológico del modelo de desarrollo actual.

Aunque de ninguna manera son extrapolables los datos recogidos por nosotros en entrevistas realizadas a varios alumnos de tercero de BUP, éstos manifestaron una idea que se encuentra muy extendida en nuestra sociedad: el progreso es homologado al aumento del PIB, del poder adquisitivo, de la capacidad de consumo, etc. Asimismo, el progreso es concebido como indefinido y compatible con el medio ambiente; éste ha de cuidarse, y para ello basta con que los políticos apunten en su agenda y en primera línea los problemas medioambientales y que destinen partidas económicas importantes para solucionarlos. Lo demás es cuestión de los científicos y técnicos.

He aquí un resumen del pensamiento tecnocrático dominante en nuestra época. Pensamiento que coincide con el de los políticos, economistas y un largo etcétera de personas que tienen cierta capacidad de decisión sobre las demás. ¿No resulta extraño que alumnos que tienen abundantes conceptos previos incorrectos en las distintas disciplinas, posean, sin embargo, una concepción del mundo «correcta» similar a la de nuestros «sabios» más prestigiosos? ¿No será que esta concepción, lineal y decimonónica, es la ideología básica del modelo de desarrollo adoptado que ha penetrado con gran eficacia en la mente de los ciudadanos?

Ahora parece que la preocupación por el medio ambiente es general. Si hemos de incorporar en los currículos las relaciones C/T/S, hagámoslo de una manera crítica, huyendo de planteamientos meramente conductuales o de corte naturalista, por no decir mecanicistas y tecnocráticos. Para ello no solamente es necesario trabajar en las direcciones antes indicadas sino también en la de promover una cultura científica que ha de estar ligada inextricablemente con la educación para una cultura política.

De acuerdo con Hodson (1992), para llevar este planteamiento al aula, podemos definir cuatro niveles de trabajo. En un primer nivel, los estudiantes han de ser conscientes del impacto ambiental y social de la ciencia y la tecnología y conocer la existencia de prácticas alternativas. Posteriormente, en un segundo nivel, los estudiantes deben sensibilizarse con la naturaleza socio-política de la práctica tecnológica y científica, es decir, a partir de la explicitación y puesta en cuestión de su propia noción de medio ambiente, deben analizar las causas subyacentes de la crisis medioambiental así como de los valores que apuntalan la industrialización y la explotación de los recursos naturales. Más tarde, los alumnos pueden comprender que la solución a los problemas ambientales no depende de una acción tecnológica sino de una acción sociopolítica en la que ellos mismos pueden verse implicados. Y por último, en un cuarto

nivel, los estudiantes deben intervenir efectivamente en los procesos de toma de decisiones, tanto en el ámbito de su propia escuela como en el social, llevando a cabo inspecciones, realizando declaraciones públicas, publicando cartas –en los periódicos– de denuncia y de propuestas alternativas, etc.

Para concluir, habremos de decir que para muchos analistas la entidad de la crisis actual es global, afecta no solamente a las actividades del hombre sobre el medio sino a instituciones sociales de diversa escala y a los

valores y forma de pensar del hombre occidental. Se habla, por lo tanto, de una crisis de civilización, del derrumbamiento del paradigma mecanicista y la emergencia de un nuevo paradigma: el paradigma de la complejidad. Como en todo cambio histórico, intervienen tanto elementos racionales como irracionales. Desde el ámbito educativo podemos ayudar a introducir cierta dosis de racionalidad en el proceso, lo que equivale a acercar el paradigma de la complejidad a las aulas. Esperemos que este artículo pueda contribuir en algo a lograr este propósito.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARAUJO, J., 1992. Más madera, *Ecosistemas*, Vol. 1 (3), pp. 6-7.
- BROWN, L.R., 1991. *La situación en el mundo*. Informe del World Watch Institute sobre el Desarrollo y el Medio Ambiente. (Apóstrofe: Barcelona).
- BROWN, L.R., 1992. *La situación en el mundo*. Informe del World Watch Institute sobre el Desarrollo y el Medio Ambiente. (Apóstrofe: Barcelona).
- CARRASCOSA, J. y GIL, D., 1985. La metodología de la superficialitat i l'aprenentatge de les ciències, *Ensenyanza de las Ciencias*, 3, pp. 113-120.
- CRUTCHFIELD, J.P., FARMER, J.D., PACKARD, N.H. y SHAW, R.S., 1986. Chaos, *Scientific American*, Vol. 225, pp. 46-57.
- GIL, D., CARRASCOSA, J., FURIÓ, C. y MARTÍNEZ-TORREGROSA, J., 1991. *La enseñanza de las ciencias en la educación secundaria*. (ICE/Horsori: Barcelona).
- HODSON, D., 1992. In search of a meaningful relationship: an exploration of some issues relating to integration in science and science education, *Int. J. Sci. Educ*, Vol. 14 (5), pp. 541-562.
- JACOB, F., 1970. *La lógica de lo viviente*. (Laia: Barcelona, 1973).
- LASZLO, E., 1989. *La gran bifurcación*. (Gedisa: Barcelona, 1990).
- MEADOWS, D.H., MEADOWS, D.L. y RANDERS, J. 1991. *Más allá de los límites del crecimiento* (Aguilar: Madrid, 1992).
- MORÍN, E., 1982. *Ciencia con consciencia*. (Anthropos: Barcelona, 1984).
- NAREDO, J.M., 1987. *La economía en evolución*. (Siglo XXI: Madrid).
- PONTING, C., 1991. *Historia verde del mundo*. (Paidós: Barcelona, 1992).
- POPE, M.L. y SCOTT, E.M., 1983. La epistemología y la práctica de los profesores, en R. Porlán, J.E. García y P. Cañal (compiladores), *Constructivismo y enseñanza de las ciencias*. (Díada: Sevilla, 1988).
- POPPER, K.R., 1959. *La lógica de la investigación científica*. (Tecnos: Madrid, 1972).
- PORLÁN, R., 1986. El pensamiento científico y pedagógico de maestros en formación, en R. Porlán, J.E. García y P. Cañal (compiladores), *Constructivismo y enseñanza de las ciencias*. (Díada: Sevilla, 1988).
- PRIGOGINE, I. y STENGERS, I., 1979. *La nueva alianza*. Metamorfosis de la ciencia. (Alianza Editorial: Madrid, 1983).
- RAÑADA, A.F., 1986. Movimiento caótico, *Investigación y Ciencia*, pp. 12-23.
- RIFKIN, J., 1980. *Entropía. Hacia el mundo invernadero*. (Urano: Barcelona, 1990).