

TEMA DEL DÍA

UNA TEORÍA DE LA TIERRA Y UNA TEORÍA DEL MEDIO AMBIENTE

Earth Theory and Environment Theory

José Antonio Pascual Trillo (*)

RESUMEN:

La enseñanza de las Ciencias de la Tierra y del Medio Ambiente exige partir de una teoría de la Tierra y de una teoría del medio ambiente. Se analizan ambas cuestiones y se propone una forma de organizar los contenidos de las Ciencias Ambientales.

ABSTRACT:

The teaching of the Earth and Environmental Sciences demands to depart of a theory of the Earth and a theory of the environment. This paper analyzes both problems and proposes an organization of the contents of the Environmental Sciences.

Palabras clave: *Ciencias de la Tierra y del Medio Ambiente. Sistemas terrestres. Sistemas ambientales. Teoría de sistemas.*

Keywords: *Earth and Environmental Sciences. Earth Systems. Environmental Systems. Systems Theory.*

REVOLUCIONES CIENTÍFICAS EN LAS CIENCIAS NATURALES

La historia de la formulación de la teoría de la evolución por Darwin constituye uno de los hitos históricos de la ciencia más analizados. Del mismo modo, la encarnizada batalla librada inicialmente en el marco de la Inglaterra victoriana entre defensores y detractores de la nueva teoría reviste un gran interés a la hora de comprender los aspectos que intervienen en la construcción del pensamiento científico y en la sustitución de viejas ideas por nuevas. En este caso, el paradigma de la lucha encuentra un referente concreto en la conocida batalla dialéctica entre Thomas Henry Huxley (“el dogo de Darwin”) y el obispo Samuel Wilberforce (“Sam el jabonoso”), un pugilato al parecer más recreado en sus detalles que lo que fue en la realidad. En cualquier caso, para muchos historiadores de la biología, las ideas de Darwin, aunque muy pronto aparentemente vencedoras entre la comunidad de naturalistas, no fueron verdaderamente comprendidas ni integradas hasta mucho tiempo después. Fue, por tanto, una victoria más aparente que real. El redescubrimiento de las leyes de Mendel al inicio del nuevo siglo abriría un camino paralelo en los afanes de comprender la base de la vida; camino que convergería con las tesis darwinistas a mitad del siglo con la formulación de la teoría sintética de la evolución. La noción de revolución científica encuentra su

plasmación específica en el campo de las ciencias biológicas en este largo episodio iniciado por la prodigiosa mente de Darwin. “Nada puede entenderse en la biología si no es a la luz de la evolución”, escribiría al respecto uno de los más prestigiosos genetistas de la historia, Theodosius Dobzhansky.

En 1910, el meteorólogo Alfred Wegener emprendió su personal aventura intelectual en solitario: el sorprendente paralelismo entre las líneas de costa situadas a ambos lados del Atlántico le llevó a publicar dos breves artículos en 1912, que darían origen 3 años después a un libro en alemán (“Origen de los continentes y océanos”) donde se plasman sus ideas acerca de la movilidad horizontal de los continentes sobre la superficie del planeta. El libro tuvo que esperar hasta su tercera edición corregida para ser traducido en 1924 al inglés, francés, español y ruso. Será, sin embargo, la cuarta edición, nuevamente corregida, la que mejor recoge las ideas finales de Wegener y, por ello, la más leída en la actualidad (fue nuevamente publicada en 1966, cuando la recuperación de la deriva continental como génesis de la tectónica de placas encuentre su momento de auge revolucionario).

El rechazo a las ideas de Wegener fue mayoritario entre la comunidad de geólogos. El hecho de que fuera meteorólogo de formación no es ajeno al comportamiento refractario de los geólogos. Incluso en

(*) IES El Escorial. Avda La Fresneda s/n. El Escorial (Madrid). E-mail: jpasual@platea.pntic.mec.es

fecha tan tardía como 1943, el prestigioso paleontólogo Gary Simpson, uno de los padres de la teoría sintética de la evolución, refería en una revista científica el casi absoluto acuerdo de los paleontólogos en rechazar las tesis de la deriva continental. Pero hacía mucho que Wegener no podía participar en el debate: en 1930 había muerto entre los hielos de Groenlandia en una expedición científica. Wegener había subestimado el poder conservador de la ciencia cuando, en una carta escrita a su suegro, el famoso meteorólogo Köppen, fechada en 1911, escribió: “no creo que a las antiguas ideas les queden más de diez años de vida”. Pasado ese plazo, concretamente en 1926, R. T. Chamberlin escribía: “si hemos de creer en la hipótesis de Wegener, hemos de olvidar todo lo que se ha aprendido en los últimos setenta años y volver a empezar desde el comienzo”; una frase que casi rezuma pereza científica.

La deriva continental durmió en los anaqueles de las bibliotecas geológicas y, levemente, en las cabezas de unos pocos geólogos, hasta que a comienzos de los años cincuenta algunos avances técnicos permitieron obtener nuevos datos en los campos del paleomagnetismo, la datación de rocas y el sondeo de los fondos marinos. Entonces, el proceso se aceleró y para finales de la década todo estaba listo para la revolución científica: en 1960 Hess presentó su hipótesis de la expansión de los fondos oceánicos publicada dos años después, algo después Vine encajó en las nuevas teorías emergentes la distribución de las anomalías magnéticas que presentan las rocas de los fondos oceánicos y, finalmente, Tuzo Wilson propuso en 1965 la teoría de la tectónica de placas de forma global, luego formalizada geoméricamente por Jason Morgan. A comienzos de la década siguiente prácticamente toda la comunidad científica se había “convertido” a la nueva teoría explicativa de la Tierra. Para muchos habían nacido, medio siglo después de las primeras ideas de Wegener, las ciencias de la Tierra.

LA TERCERA CULTURA: CIENCIA Y SOCIEDAD EN EL SIGLO XXI

Si Darwin nos llevó hasta la nueva biología y Wegener a las nuevas ciencias geológicas, el ocaso del siglo XX nos ha permitido comprender que el conocimiento científico ha pecado durante mucho tiempo de una excesiva fragmentación. Los nuevos campos de la complejidad se yerguen para muchos como un nuevo reto intelectual por resolver. El campo de la sistémica como fórmula de interpretación y modelización de los sistemas complejos y los ámbitos globales ha alcanzado tanto a la investigación como a la educación. Cuando algunos siguen insistiendo en la obsoleta diferenciación entre ciencias y humanidades, un campo emergente de confluencia e integración va avanzando tanto desde los antiguos ámbitos de las ciencias naturales como desde las sociales. El biólogo Edward Wilson (1999) lo ha calificado recientemente como “consiliencia”, una palabra intraducible que refiere a la unidad del conocimiento o el saber unificado. Wilson define

cuatro campos en los que ya se puede encontrar un proceso avanzado de convergencia: las neurociencias cognitivas, la genética del comportamiento humano, la biología evolutiva y las ciencias ambientales. En cualquier caso, la necesidad de hacer converger e integrar los conocimientos construidos para formar una imagen coherente del mundo es algo fundamental en la educación de cada persona. Por eso, a la hora de enfrentar la secuencia a seguir en la construcción guiada del conocimiento científico, es decir, en la enseñanza de la ciencia, reaparece el problema de la dualidad entre análisis y síntesis: prevalencia del método analítico-reduccionista como campo tradicional de avance de las ciencias, al menos hasta “ayer”, o recuperación de la visión holística-global, un intento de integración y síntesis del conocimiento. Enfrentamiento o encuentro, en fin, de lo simple con lo complejo; algo que ya Ilya Prigogine e Isabelle Stengers (1990) propusieron superar en una nueva alianza que suponga un cambio evolutivo de la ciencia, ya que, en sus propias palabras “el descubrimiento de la complejidad es, ante todo, un desafío”.

Y la complejidad invade y caracteriza el sentido de la vida y, por tanto, la comprensión de la Tierra y el fenómeno de la vida ha de enfrentarse con ella. Por eso, aunque en los primeros momentos de la enseñanza de la ciencia, en Primaria y el primer ciclo de la Secundaria Obligatoria, el abordaje de los procesos y fenómenos se pretende desde una visión globalizadora simple, para dar paso al desmenuzamiento de la realidad que permiten las disciplinas científicas clásicas (física, química, geología, biología); al final de la Secundaria (Bachillerato) parece necesario incorporar al proceso de aprendizaje materias que ayuden a sintetizar e integrar los conocimientos “de las partes” para trascender el parcelamiento y la compartimentación y reconstruir una visión global. Entonces se imponen enfoques que incorporen la noción de sistemas: puentes entre las partes y comprensión de propiedades emergentes.

TRES TEORÍAS PARA LA CULTURA CIENTÍFICA: LA TEORÍA DE LA TIERRA, LA TEORÍA DEL SER HUMANO Y SU CULTURA Y LA TEORÍA DEL MEDIO AMBIENTE

Desde el ámbito de las relaciones entre los seres humanos y la naturaleza hay tres aspectos esenciales por enfrentar: la necesidad de contar con una “teoría de la Tierra” que permita albergar la coexistencia de la geosfera y la biosfera, por un lado; la importancia de partir de una “teoría de la humanidad” que incorpore e integre lo cultural con lo biológico de la especie humana (vuelvo a traer aquí las palabras -creo que sugerentes en medio de la polémica a menudo interesada y sesgada que inunda desde hace algunos años el torpe debate de las llamadas “humanidades” en la educación de nuestro país- del antropólogo Marvin Harris (1991): “la misión mínima de toda reforma educativa moderna consiste en impartir una perspectiva comparativa, mundial y evolutiva sobre la identidad de nuestra especie y sobre lo que pode-

mos y no podemos esperar que nuestras culturas hagan por nosotros”); y, finalmente, como necesario campo de interacción entre seres humanos y Tierra, una “teoría del medio ambiente”.

Dejaré ahora de lado la cuestión de cómo se aborda y trata desde el ámbito educativo la construcción de una teoría de la especie humana y su cultura (la cuestión fundamental para Harris), para centrarme en las otras dos vertientes apuntadas: la construcción educativa de una teoría de la Tierra y la de una teoría del medio ambiente. Ambas, desde luego, deberían partir de enfoques globalizadores o sistémicos.

LA CUESTIÓN NO RESUELTA DE LAS CIENCIAS DE LA TIERRA

La cuestión de las ciencias de la Tierra ha sido mal solucionada de un plumazo con el apartado de los “sistemas terrestres” dentro de los contenidos de la materia “Ciencias de la Tierra y del Medio Ambiente”. Es cierto que buena parte de los contenidos fundamentales para la construcción de una teoría de la Tierra han sido abordados con diferente intensidad a lo largo de los cursos anteriores de la Secundaria (por otra parte no necesariamente cursados por todo el alumnado), pero se hurta la posibilidad de trabajarlos de una forma coherente y suficiente al reducirlos y marginarlos en el marco de una materia de la extensión y complejidad de las CTMA (Pascual, 1998 a, 1998 b, 2000 a). Por otra parte, la integración de una visión científica heredera de las ideas de Wegener con la propia de las ideas evolucionadas a partir de las de Darwin permitiría, con el aditamento de los numerosos avances producidos en la geofísica, la microbiología o la ecología evolutiva, entre otros campos, construir educativamente una teoría científica de la Tierra como hábitat de los seres vivos y las personas, a la escala de los objetivos planteados en el bachillerato (tanto como formación general de los alumnos como de orientación y preparación para estudios superiores). No hay que olvidar que el bachillerato constituye, desde la enseñanza formal, el más alto escalón general de conocimientos no especializados en la formación de las personas cultas de la sociedad futura. Comprender cómo se gestaron las revoluciones científicas de Wegener y Darwin y cómo se adueñaron e impregnaron el pensamiento científico moderno es, sin ninguna duda, uno de los mejores sustratos para entender la realidad del mecanismo de funcionamiento de las ciencias que tratan con la complejidad de la naturaleza en las sociedades contemporáneas. Además, la posibilidad de abordar coherentemente la comprensión del funcionamiento dinámico de la Tierra y la vida a lo largo del tiempo geológico, desde una visión integrada y sistémica y en relación con las leyes físico-naturales, supone dotar de un broche educativo fundamental a quienes han escogido la opción educativa de comprender de forma general la naturaleza a través de la ciencia (¿y no es eso lo más razonable en la comprensión moderna de la realidad?).

LA CUESTIÓN MAL RESUELTA DE LAS CIENCIAS AMBIENTALES

Por otra parte, la opción de integrar en una materia la comprensión de las relaciones entre los seres humanos y la naturaleza representa introducir en la enseñanza formal el amplio y emergente campo de las ciencias ambientales (Pascual 2000 b). En este caso, por las propias repercusiones que dicha comprensión conlleva, los objetivos deberían ser más ambiciosos, hasta abarcar a en su aprendizaje a todo aquellos que optan por campos profesionales que inciden en aspectos importantes de dicha relación (tecnología, ciencia, pensamiento, política, economía).

En este caso, la necesidad de dotar de un orden y categorización coherentes con la visión sistémica que se pretende idónea para las ciencias ambientales, en una materia aún no consolidada por su corta historia, exige ser especialmente cuidadosos a la hora de abordar su organización curricular. No se ha favorecido ese orden congruente con la opción sistémica en la presentación de los contenidos, aunque se ha pretendido seguir aquella en los objetivos. Por ello, es importante tratar de realizar una reorganización de los contenidos enmarcándolos en un esquema global sistémico. Una posible propuesta, que ya he presentado en algunas otras ocasiones (Pascual, 1998 a y 2000 a), supone reorganizar los contenidos didácticos en aras de dicha visión de sistemas (una breve exposición de dicha reorganización se expone en la Tabla 1).

CONCLUSIONES ABIERTAS

Desde una organización de contenidos como la anterior creo que puede asignarse un “papel” específico a cada uno de ellos dentro de una visión global presidida por el método sistémico y centrada en una teoría del medio ambiente. Así se dotaría de coherencia y “homogeneidad” a las diferentes formas de desarrollar por los distintos centros la materia CTMA en su vertiente de “ciencias ambientales”, sin renunciar por ello a la complejidad inherente a las ciencias ambientales y sin caer en el reduccionismo y el sesgo que hacen peligrar la visión necesariamente sistémica de la aproximación ambiental.

Frente a esta visión se alzan muchas trabas ligadas a la rigidez que impone la existencia de un currículo problemático ya aprobado (aunque revisable), aunque son sobre todo las consecuencias de los efectos de las pruebas de acceso a la Universidad los factores más determinantes en la forma de abordar la materia. Por ello, la capacidad de alcanzar acuerdos en este sentido entre los coordinadores de las PAUs y los profesores de la materia darán un sentido u otro a la materia favoreciendo o no su coherencia (desde luego, un mecanismo corrector imperfecto que debiera ser solucionado desde la reformulación curricular que el paso del tiempo y la progresiva definición de los campos del conocimiento ambiental van exigiendo para la coherencia de las ciencias ambientales, pero que, por el momento, es una solución practicable).

El método	<p>Incluyen dos aspectos de la idea de método, uno más didáctico y otro más ligado al enfoque general de la materia.</p> <p>El primero está presentado en el currículo bajo el título “aproximación al trabajo científico”. A los contenidos ahí señalados debieran añadirse aquellos métodos de enseñanza/aprendizaje que, resultando ser procedimientos propios del trabajo científico, aparecen como idóneos para esta materia; entre ellos están los estudios de casos, las simulaciones, la solución de problemas, las pequeñas investigaciones,... Este bloque tiene un sentido fundamental de orientación didáctica y metodológica, pero también incluye aprendizajes concretos de aprehensión de métodos y procedimientos de indagación, investigación, razonamiento, etc., reuniendo un “saber hacer” que se aprende, utiliza y aplica en la construcción científica de otros contenidos.</p> <p>El segundo aspecto refiere al método de aproximación o enfoque general de la materia, recogido en la aportación de la teoría de sistemas, entendida fundamentalmente desde su capacidad de ofrecer un “enfoque sistémico” fundamental para la comprensión del “medio ambiente”, verdadero “núcleo duro” conceptual. Es decir, el método sistémico representa la “herramienta” capaz de facilitar-nos el estudio, comprensión e interpretación del medio ambiente. La teoría de sistemas adquiere así un sentido perceptivo-conceptual y hasta instrumental, que exige comprender y, sobre todo, aplicar al resto del programa ese enfoque, evitando que se convierta en una parte prácticamente aislada e inconexa, como ha llegado a ocurrir en algunos casos.</p>
El enfoque general o “núcleo duro” conceptual de la materia	<p>La materia parte de una teoría implícita del medio ambiente: su núcleo conceptual. Ahí radica alguno de los problemas, dada la polisemia de este término redundante. En este sentido, de las tres versiones dominantes en el uso del término “medio ambiente” (como entorno de algo, como enumeración de factores que afectan a algo o como sistema), la materia elegiría preferentemente la concepción denominada sistémica.</p>
Los conceptos clave	<p>Son aquellos contenidos cuya aplicación y uso es indispensable a la hora de abordar la construcción conceptual del sistema ambiental (es decir, su modelización) que nos permita la comprensión de la dinámica y funcionamiento interactivo de los sistemas natural y socioeconómico. Estos contenidos condicionarán, lógicamente, la forma de interpretar y explicar los problemas ambientales dentro de un marco global. Entre ellos destaca la noción de entradas o “inputs” a los sistemas (recursos), salidas o “outputs” (residuos), dinámicas internas (procesos), modificaciones estructurales o dinámicas (impactos), alteraciones de procesos (riesgos inducidos), alteraciones de ocupación y límites (capacidad de carga o acogida), etc. Con el uso de estos elementos sistémicos es posible dar coherencia conceptual a una materia compleja y global, huyendo de su conversión en un anecdotario interminable de datos, casos y situaciones (que sólo adquieren sentido “enganchados” a este tipo de esquemas).</p>
Procedimientos o técnicas de varios tipos	<p>Además de los procedimientos de carácter más general, que determinarán metodologías didácticas apropiadas para la adquisición de esos y otros contenidos, hay otro tipo de procedimientos, que suelen ser específicos de cada aspecto determinado de la materia, que constituyen métodos o técnicas concretas. Pueden ser ordenarlos en tres escalas jerarquizadas, siendo importante la comprensión del diferente grado de los tres tipos y de lo que cada uno representa. Dada la complejidad de unos y la variedad de otros, los objetivos educativos aquí deben ser ponderados, de forma que en unos casos se buscará comprender de forma global el sentido y la aplicabilidad de los métodos, y en otros se podrán seleccionar técnicas concretas en función de la programación concreta desarrollada, aunque pudieran elegirse otras en casos diferentes; lo importante, por tanto, no es el dominio de una técnica específica (en las más específicas), sino el conocimiento de su existencia y, como en el estudio de casos, aplicar alguna en una situación concreta.</p> <p>La clasificación jerárquica en tres niveles (de más concreto a más global) podría ser la siguiente:</p> <ol style="list-style-type: none"> (1) las técnicas de medición y toma de datos; (2) los métodos o técnicas de valoración, los de toma de decisiones técnicas y los de gestión; y (3) la ordenación territorial y la planificación ambiental. Sobre esta clasificación general es posible asentar la orientación y el objeto de los aprendizajes que se pretenden desarrollar.
Los problemas ambientales	<p>Se trata del aspecto central que, a nuestro juicio, debiera organizar la mayor parte de las programaciones y, por tanto, el contenido real de las actividades de enseñanza y de aprendizaje. Los problemas ambientales pueden ser seleccionados u organizados mediante diferentes criterios, como son su ubicación en la escala local-global, su mayor relación con un tipo u otro de causalidad central (ligados al uso de los recursos, ligados a la ocupación o alteración de sistemas naturales o ligados a la producción de residuos,...), su mayor o menor complejidad causal, etc. Lo importante, en este caso, es que se aborde el estudio y comprensión de los principales tipos, de forma que se permita alcanzar no sólo una buena comprensión de éstos, sino, además, que se haya podido desarrollar un buen conjunto de herramientas conceptuales y procedimientos de análisis e interpretación de diferentes tipos de problemáticas ambientales, permitiendo una visión suficientemente global e interactiva (sistémica) de la crisis ambiental.</p>
Aspectos de carácter ético y social	<p>La comprensión e interpretación racional de los problemas ambientales en una forma global y sistémica no puede ser el último paso ni en los contenidos ni en los objetivos de la materia; falta incluir el aprendizaje sobre la “construcción” de alternativas viables, éticas y razonadas capaces de enfrentarse de forma global con las causas de los problemas ambientales que han sido científica y socioeconómicamente analizados (y no sólo conocer algo acerca de las técnicas o métodos de medición o de reducción de impactos concretos). Este contenido fundamental trataría, pues, de todo lo relacionado con la generación de alternativas y soluciones globales a las causas de los problemas ambientales, es decir, la construcción de modelos de sostenibilidad para las actividades humanas, la consideración de la solidaridad inter e intrageneracional como objetivo ético y ambiental, la integración de desarrollo y conservación, etc.; en definitiva: la construcción de una sociedad mundial sostenible e integrada en su medio ambiente. Este contenido, que representará siempre un objetivo final irrenunciable para las ciencias ambientales, puede ir siendo construido parcialmente según se van desarrollando las capacidades de interpretación de lo que ocurre y su porqué en cada problema ambiental trabajado; probablemente, algunas pautas puedan ir siendo motivo de enseñanza desde los primeros momentos de la materia, pero, desde luego, habrá de constituir un contenido recapitulador final de la programación.</p>

Tabla 1: Criterios para una reordenación de los contenidos de la materia (modificado de Pascual 1998 a y 2000 a)

Los otros aspectos apuntados anteriormente, que afectan en gran manera a la no resuelta cuestión del campo educativo propio que albergue la enseñanza de una teoría de la Tierra (como unidad geocológica en evolución) y la necesidad de replantear la ubicación de las ciencias ambientales son harina de otro costal, quedando todas las posibles soluciones en un ámbito de toma de decisiones más alto e inaccesible al profesorado, al parecer. Tal vez los actuales aires de modificación que soplan en la educación secundaria pudieran permitir abrir de verdad un debate fructífero en estos temas, pero eso exige que haya una mayor apertura de miras y preocupaciones que los de la mera cuestión de las mal planteadas “humanidades”.

Por tanto, para la vertiente de “ciencias de la Tierra” de las CTMA, el asunto se antoja de más difícil solución ya que no creo que sea posible hacerlo en el marco de la actual materia. Para enfrentarlo sería necesaria la estructuración de los contenidos geológicos (incluyendo en esa consideración la estructura y dinámica de las capas fluidas de la Tierra) y los biológico-ecológicos bajo una perspectiva sistémica y evolutiva que configure el campo de enseñanza de una teoría global sobre la Tierra en todas sus dimensiones (inerte y viva). Algo pendiente de resolver en nuestro bachillerato de ciencias, pero que parece esencial en la comprensión científica de la Tierra para cualquier persona culta del siglo XXI.

Por cierto, aunque aquí haya sido dejado de lado, tampoco parece muy evidente que la enseñanza

de una teoría coherente e integradora del ser humano desde la biología y la cultura tenga cabida científica aceptable en el marco de nuestro sistema educativo a la escala del bachillerato (el reto de Marvin Harris también queda por resolver).

BIBLIOGRAFÍA

Harris, M. (1991). *Nuestra especie*. Alianza Editorial. Madrid.

Pascual Trillo, J.A. (1998 a). Por unas ciencias ambientales y unas ciencias de la Tierra. Reflexiones críticas y propuestas para un debate. *Enseñanza de las Ciencias*, 16 (2): 341-351.

Pascual Trillo, J.A. (1998 b). De unas ciencias de la Tierra y del Medio Ambiente hacia unas Ciencias de la Tierra y unas Ciencias Ambientales. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra* 6 (1): 47-51.

Pascual Trillo, J.A. (2000 a). Un enfoque de sistemas para las Ciencias de la Tierra y del Medio Ambiente. *Aspectos didácticos de Ciencias de la Tierra y del Medio Ambiente.2*. ICE. Universidad de Zaragoza. Zaragoza.

Pascual Trillo, J.A. (2000 b). *El teatro de la ciencia y el drama ambiental. Una aproximación a las ciencias ambientales*. Miraguano Ediciones. Madrid.

Prigogine, I y Stengers, I. (1999). *La nueva alianza. Metamorfosis de la ciencia*. (2ª edición). Alianza Editorial. Madrid.

Wilson, E.O. (1999). *Consilience. La unidad del conocimiento*. Galaxia Gutenberg - Círculo de Lectores. Barcelona. ■