

¿VIDA EXTRATERRESTRE? ASPECTOS EPISTEMOLÓGICOS PARA EL AULA

Manuel Fernández-González

Departamento de Didáctica de las Ciencias Experimentales. Universidad de Granada
(España). E-mail: mfgfaber@ugr.es

[Recibido en Mayo de 2009, aceptado en Julio de 2009]

RESUMEN (Inglés)

El presente trabajo ofrece un resumen de los avances que experimenta hoy día un campo de investigación apasionante como es el de la búsqueda de vida extraterrestre. Pero nuestro objetivo no se detiene en la mera información. Hemos utilizado esta temática para plantear cuestiones epistemológicas centradas en la función que desempeñan las hipótesis y el contraste permanente con los hechos que surgen. La estrategia seguida sitúa al alumno en el papel de científico y le hace vivir el desarrollo del conocimiento y el mecanismo de su evolución. Todo ello de acuerdo con las tendencias actuales de la didáctica de las ciencias, presentes ya en la asignatura "Ciencias para el mundo contemporáneo". Se muestran y explican los materiales concretos utilizados, así como el modo de empleo en el aula.

Palabras clave: enseñanza de las ciencias; Ciencias para el mundo contemporáneo; vida extraterrestre; naturaleza de la ciencia; epistemología; hipótesis.

INTRODUCCIÓN

En el mundo de la educación existe clara conciencia de que los tiempos que corren son tiempos de crisis, particularmente en la enseñanza de las ciencias. Ya en la década de los 80 el problema se había constatado. Diversos autores (p.ej. Nielsen y Thomsen, 1990), para tratar de enderezar la situación, propusieron como medidas correctoras abandonar la visión de ciencia centrada en sí misma que se enseñaba, y abrirla a sus aspectos contextuales: históricos, epistemológicos, cotidianos y CTS.

Bien es cierto que en la actualidad la didáctica de las ciencias se ha afianzado como disciplina autónoma y potenciado sus capacidades, lo que permite analizar con más solvencia los problemas educativos. Otra cosa es que sus directrices sean siempre tenidas en cuenta. De todos modos es un hecho que los diseños curriculares han ido incorporando contenidos contextuales como los indicados (Matthews, 1994) y fomentando los relacionados con la actualidad científica transmitida por los medios de comunicación (De Pro y Ezquerra, 2005). Se trata así de ofrecer al alumno una ciencia más atractiva y más cercana a la realidad.

En nuestro país la reciente incorporación de la asignatura “Ciencias para el mundo contemporáneo”, común para 1º de bachillerato (M.E.C., 2007), ha potenciado enormemente esta tendencia. En tal iniciativa hemos seguido a otros países como Gran Bretaña y Francia (Pedrinacci, 2006) que, a su vez, recogieron la idea central de alfabetización científica impulsada por el Project 2061 en los EE.UU. (AAAS, 1993). Su objetivo primordial es suplir una de las carencias que en los últimos tiempos se ha atribuido a la educación escolar: la falta de una cultura científica, que forme mejor para vivir en una sociedad donde la ciencia y la tecnología juegan un papel fundamental (Cañal, 2006).

Sea pues en el marco de una disciplina u otra, los contenidos pertenecientes al entorno de la ciencia forman ya parte de nuestra enseñanza y reclaman igualdad de consideración con los más disciplinares. Unas veces pueden aparecer en temas propios del programa, otras pueden incluirse como complemento a los demás. Y aquí surge una dificultad: el profesorado ha sido formado en el núcleo duro de la ciencia, sin atender a parámetros del entorno de la misma (Mellado y González, 2000). Esto puede frenar la puesta en práctica del nuevo enfoque ¿Se ha asumido este problema estructural? ¿Se le ha procurado al profesor una mínima formación en dicha temática? ¿Se han puesto a su disposición materiales suficientes?

El objeto de este trabajo es, en principio, suministrar información de un tema sugerente y de actualidad, que aparece con frecuencia en los medios de comunicación. Nos referimos a la posibilidad de vida extraterrestre y, particularmente, en planetas de otros sistemas estelares. Pero no nos vamos a detener ahí porque nuestra intención es utilizar estos contenidos para introducirnos en el terreno de la naturaleza de la ciencia (NdC), cuyo carácter formativo es señalado repetidamente en la literatura didáctica (McComas, Clough y Almazroa, 1998). No hemos pretendido pues diseñar un curso de introducción a la NdC, sino algo más puntual: ejemplificar una secuencia de enseñanza de un aspecto concreto de la misma. Para ello hemos preparado una propuesta que utiliza un tema científico (vida extraterrestre) como contexto, y permite al alumno practicar el planteamiento de hipótesis y reflexionar acerca del mecanismo de evolución de la ciencia.

Aclaremos que la NdC, entendida en su sentido más amplio, muestra parcelas muy diversas (Acevedo, 2008) y que nosotros vamos a centrarnos en lo que podría considerarse su componente medular: la epistemología. Nos adentramos en un terreno espinoso para el profesor, dada la escasa presencia en su formación de este tipo de contenidos. Pero al problema anterior se añade otro de segundo orden, relacionado con lo que se conoce como conocimiento didáctico del contenido (Abell, 2008).

Según esta orientación, un profesor debe conocer no solo los contenidos de la propia disciplina y los principios psicopedagógicos generales, sino también los métodos y estrategias más idóneos para enseñarla. En nuestro caso, el primer factor incluiría el problemático conocimiento de la NdC, además del tema-marco en el que se va a enseñar. Superado este escollo, se presenta otro: ¿cómo enseñar la NdC? (Acevedo, 2009).

Conscientes de las dificultades reseñadas, presentamos al profesor material didáctico sobre los aspectos de NdC indicados, junto a una estrategia-guía para su enseñanza. Es cierto que esto nos sitúa en el ámbito del conocimiento didáctico del contenido, pero los lazos con el conocimiento del contenido nunca pueden ser eliminados. El esfuerzo que el profesor debe hacer para integrarlos de modo interactivo, ciertamente han de incidir en una mejora tanto de su comprensión sobre la NdC como del modo de enseñarla.

Por lo que respecta a los alumnos, la estrategia va a brindarles la ocasión de ejercitarse activamente aspectos epistemológicos de interés, que es la manera más idónea, de lograr un aprendizaje efectivo.

PARTE 1. EL ESTADO DE LA CUESTIÓN

En esta primera parte, tras una breve presentación y una exposición del principio-guía, se ofrece un resumen de la actualidad del tema. Puesto que es un terreno en el que los acontecimientos se suceden muy rápidamente, no es de extrañar que en poco tiempo surjan informaciones que rebasen o desmientan las recogidas. Pero esto no altera en absoluto los objetivos didácticos trazados.

El resumen se ha hecho seleccionando y dosificando la información en función del propósito buscado: la preparación para tomar contacto con algunos aspectos epistemológicos esenciales, como el papel que juegan las hipótesis en la evolución de la ciencia.

¿Vida extraterrestre?

La búsqueda de vida extraterrestre se ha convertido hoy día en un tema de investigación central de proyectos internacionales (NASA-TPF, 2009; SETI, 2008; ESA-Darwin, 2009). ¿Qué se busca en concreto? Vida en la forma que conocemos, esto es, agrupaciones de moléculas complejas basadas en la química del carbono, que utilizan agua líquida como medio de dispersión. ¿Dónde buscarla? En principio en nuestro sistema solar. Descartados Mercurio y Venus por sus elevadas temperaturas, y los planetas gaseosos, nos quedan Marte y algunas lunas de Júpiter (Europa) y Saturno (Titán), que podrían tener agua líquida bajo su superficie helada. ¿Y entonces? Los progresos de la astronomía han propiciado estos últimos tiempos el descubrimiento de planetas alrededor de otras estrellas: son los exoplanetas. Con ellos la esperanza de encontrar vida extraterrestre ha recobrado nuevas fuerzas.

Aunque hablamos de vida en términos generales, para ser más precisos habría que distinguir entre vida elemental, vida compleja y vida inteligente. La evolución que conocemos ha seguido este vector, no en progresión lineal sino a saltos. Particularmente, el paso de vida elemental a vida compleja es muy difícil. Por este motivo la primera posiblemente pueda ser más común en el universo que la segunda, pero esta última ciertamente es más vulnerable a los factores de extinción.

Sea de un modo u otro, la vida necesita mucho tiempo para surgir y, sobre todo, para evolucionar. Así, la Tierra se formó hace $4,5 \cdot 10^9$ años y la vida no apareció en ella hasta hace $3,5 \cdot 10^9$ años. Pero durante casi $3 \cdot 10^9$ permaneció confinada en el agua de

los océanos bajo la simple forma de bacterias, antes de diversificarse y explotar literalmente en el Precámbrico, hace unos 700 millones de años.

El principio copernicano

La cosmología moderna descansa sobre el llamado principio copernicano (reformulado como principio de mediocridad) que sugiere que la Tierra es un planeta común que gira alrededor de una estrella ordinaria (Wikipedia, 2009a). La idea original viene, como sabemos, de Copérnico, el cual había señalado en el siglo XVI que la Tierra no ocupaba un lugar privilegiado en el centro del universo. Puesto que la Tierra es un planeta común y el Sol una estrella ordinaria, entonces si solo en nuestra galaxia hay millones de estrellas parecidas al Sol ¿por qué no tantos otros sistemas como el solar? Y si en la Tierra hay vida inteligente, fruto de la evolución darwiniana, ¿por qué no en otros planetas semejantes?

Desde tiempos de Galileo la ciencia moderna, y en particular la astronomía, no han hecho más que guiarse por este principio. La hipótesis de fondo es que las leyes que rigen en la parcela conocida del universo son las mismas que en el resto, y la disposición estructural que muestra, semejante. El principio, de corte inductivo, intenta, partiendo de conocimientos sobre el entorno próximo, establecer normas universales. Se ha mostrado valioso para iniciar el estudio de regiones inexploradas, pero nadie puede garantizar que siempre nos guíe por el camino adecuado.

De todos modos, es indudable que ha contribuido a ampliar el conocimiento sobre planetas, estrellas, galaxias y el cosmos en su conjunto. En la actualidad orienta la investigación de vida extraterrestre, dirigiendo la atención al entorno de estrellas como el Sol, a fin de buscar planetas rocosos y de temperaturas moderadas como la Tierra.

El principio impulsa, pues, la creencia de que las estrellas poseen planetas a su alrededor, que sus sistemas planetarios no difieren mucho de nuestro sistema solar y que en ellos puede haber vida avanzada como en la Tierra.

El descubrimiento de exoplanetas

Desde épocas pasadas los astrónomos, siguiendo el principio copernicano, estaban convencidos de que había planetas alrededor de todas las estrellas. Pero hasta hace 20 años la búsqueda había sido en vano.

El primer exoplaneta fue encontrado en 1995 por Mayor y Queloz alrededor de la estrella 51 Peg, un clon casi perfecto del Sol (Wikipedia, 2009b). El planeta, 51 Peg b, era sorprendente: un gigante gaseoso que giraba en una órbita ultracorta alrededor de su estrella (periodo orbital: 4 días!).

A partir de entonces los descubrimientos de exoplanetas se han sucedido sin pausa (Schneider, 2009). Las técnicas de detección empleadas suelen ser indirectas, basadas en las perturbaciones que provocan sobre su estrella. En enero de 2009 se contaban ya casi 350 exoplanetas. Entre ellos muchos gigantes gaseosos, pero también algún planeta tipo terrestre, como el recientemente aparecido 581 Gliese c (Campbell, 2007).

Nuestro sistema solar, una formación atípica

El descubrimiento de exoplanetas ha permitido comenzar el estudio de sistemas planetarios de diferentes estrellas. Hasta el momento se conocen unos veinte sistemas con más de un planeta y los datos iniciales revelan que ninguno se parece al nuestro. En ellos es común encontrar planetas siguiendo órbitas marcadamente elípticas (en el sistema solar todas son casi circulares) y gigantes gaseosos a distancias increíblemente pequeñas de su estrella (fig.1).

A medida que se suceden los descubrimientos se impone una evidencia: son las distribuciones planetarias inesperadas las que siguen la regla, mientras que la representada por nuestro sistema solar parece la excepción (Brunier, 2009). El principio copernicano nos ha fallado en este caso.

Recientes investigaciones confirman lo dicho. Así, Thommes, Matsumura y Rasio (2008) han modelizado por ordenador la formación y evolución de unos 250 sistemas planetarios a partir de una nube de gas y polvo en rotación alrededor de una estrella naciente. Los resultados corroboran que los sistemas parecidos al nuestro son verdaderamente inusuales.

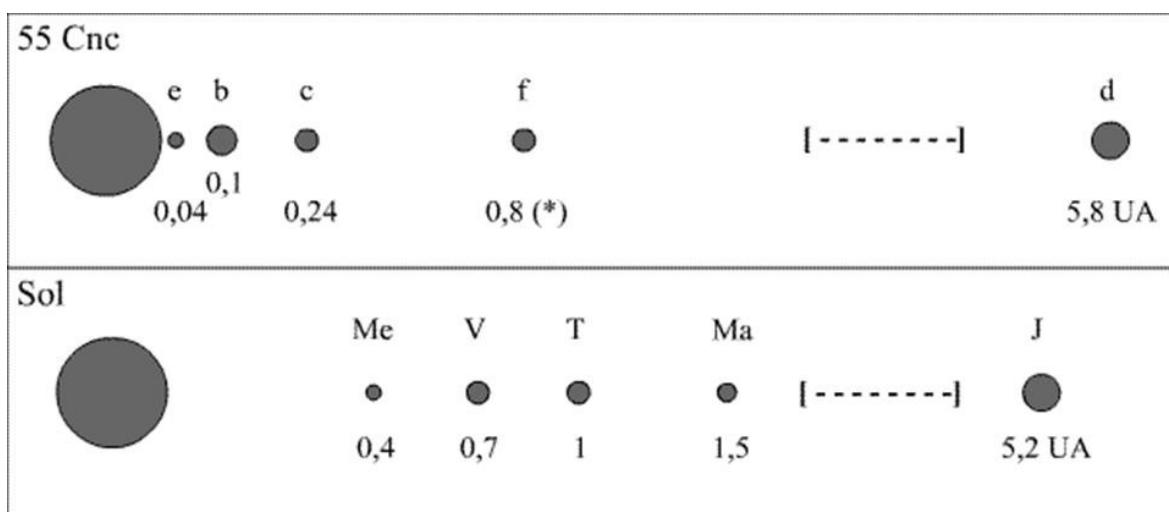


Figura 1.- Sistema de la estrella 55 Cnc (NASA, 2007) en comparación con el sistema solar (no están a escala). (*) Planeta de órbita muy excéntrica. Unidad astronómica, $UA=1,5 \cdot 10^8$ km.

La hipótesis de “Tierra rara”

En el año 2000 se publica un libro de gran impacto, *Rare Earth* (Ward y Brownlee, 2000). Para sus autores, científicos de prestigio, la existencia de vida avanzada en la Tierra es el resultado de una serie de circunstancias tan improbables que nuestro planeta ha de ser considerado como excepcional en toda la galaxia.

La hipótesis de “Tierra rara” se basa en los hechos los siguientes:

- Su situación en la zona habitable del sistema solar, cuyas temperaturas moderadas permiten la existencia de agua líquida en su superficie.

- Un satélite, la Luna, excepcionalmente masivo, que le evita tener una precesión importante sobre su eje, lo que produciría cambios climáticos catastróficos.
- Una órbita casi circular, que contribuye también a proporcionar un clima estable.
- Un campo magnético intenso que la pone a salvo de las radiaciones solares y cósmicas que podrían impedir toda forma de vida.
- Una tectónica de placas muy activa que, al regularizar los intercambios térmico y gaseoso entre núcleo y superficie, estabiliza las temperaturas, al tiempo que favorece la evolución biológica.
- Un guardaespaldas poderoso, el planeta Júpiter, que la protege en gran parte de impactos de cometas y asteroides (recuérdese la colisión del cometa Shoemaker-Levy 9 en 1994).

La idea de "Tierra rara", acogida por algunos como portadora de un nuevo finalismo religioso, es la antítesis del principio copernicano. Pero, a su vez, está en concordancia con la Paradoja de Fermi (Wikipedia, 2009c), quien señaló en 1950 un fuerte desacuerdo entre la alta estimación de civilizaciones extraterrestres y la absoluta falta de pruebas sobre ellas. Todavía en 1974 científicos como Carl Sagan habían estimado en 10^6 las civilizaciones extraterrestres que existían en la Vía Láctea.

En la actualidad prosigue el debate entre los partidarios de "Tierra rara" y los que defienden la "universalidad de la vida". Estos últimos han recuperado el optimismo inicial, decaído por falta de pruebas, con el reciente descubrimiento de exoplanetas, alguno de los cuales (aún por descubrir) podría presentar condiciones de vida.

Zona habitable de una galaxia

Los exobiólogos han acuñado el término de zona habitable de una estrella para designar aquella región de su entorno dentro de la cual las temperaturas permiten agua en estado líquido (si no hay agua, no hay vida). Dependiendo del tipo de estrella (enana, gigante, etc.) la zona estará más próxima o más alejada de esta. Pero la sola ubicación en la zona no garantiza que el planeta albergue vida si no se cumplen también otros requisitos (p.ej. atmósfera). En el sistema solar la Tierra es el único planeta que se encuentra en dicha zona.

De igual modo, también se habla de zona habitable a nivel de galaxia. Esta última es una región bastante limitada, de forma toroidal y muy alejada del centro. En el caso de la Vía Láctea podría contener sólo un 5-10% de las estrellas.

Los principales factores que restringen la posibilidad de vida en una galaxia son:

- Las estrellas gigantes tienen una existencia corta, que difícilmente permite la aparición y menos, la evolución de la vida. Imposible también en sistemas de estrellas dobles, cuyos planetas no pueden seguir órbitas estables.
- Las explosiones de supernova producen radiaciones que podrían causar extinciones masivas en un radio de hasta 30 años-luz (en nuestra galaxia explota 1 cada 100 años). A esto se añaden las hipernovas, un millón de veces

más poderosas. Todo ello es más frecuente en el centro de la galaxia, donde la concentración de estrellas es mayor. Por eso, la zona habitable se encuentra muy alejada del mismo.

- El agujero negro central de la galaxia actúa también en el mismo sentido, pues al atraer todo tipo de materia irradia intensamente un entorno muy amplio.
- El alejamiento del centro. Cuanto más alejada se encuentra una estrella, menor la abundancia de elementos que siguen al helio (la actividad nuclear es más incompleta). Por eso, las estrellas situadas más allá de la zona habitable carecen de los elementos necesarios para la formación de planetas terrestres y de vida en ellos (p.ej. Carbono).

PARTE 2. UTILIZACIÓN DIDÁCTICA

La información dada en la parte 1 es resumen de un tema no habitual, que se encuentra muy diseminado en la bibliografía. Puede ser utilizada en clase de modo diverso. Lo más común sería como complemento, sin más, de algún tema afín, siguiendo una metodología de corte clásico. Pero, como hemos indicado, lo que aquí se pretende es que sirva de soporte a la enseñanza de determinados aspectos epistemológicos, siguiendo una estrategia acorde con la filosofía de la asignatura "Ciencias para el mundo contemporáneo" (Fernández, 2008).

De cualquier modo, la información permite al profesor conocer de antemano el tema que va a ser objeto de estudio. Así podrá dirigir con más efectividad el proceso de enseñanza y, particularmente la búsqueda de información por parte de los alumnos, orientándola mejor y evitando dispersiones innecesarias.

Metodología

Siguiendo la metodología de aprendizaje por investigación dirigida, partimos de un problema científico, actual y sugestivo. La posibilidad de vida extraterrestre reúne estas características y, además, trata un campo de saber actualmente en construcción, por lo que se presta a vivir en directo el planteamiento de cuestiones epistemológicas.

La actividad se inicia con una cuestión de estas características, que sirve para concienciar a los alumnos en el tema, al tiempo que es ocasión para que expliciten sus creencias. El profesor examina particularmente las hipótesis utilizadas, que para hacer el trabajo más nítido, será conveniente descomponer en varias más simples. A continuación, en clase, explica las ideas generales sobre las que se asienta el tema (ver "¿Vida extraterrestre?") y las que subyacen a las hipótesis emitidas (ver "El principio copernicano"). Encarga entonces a los grupos las tareas de búsqueda de información. Cada tarea se cierra con una cuestión que da pie a discutir si la información recogida confirma, limita o refuta alguna de las hipótesis elementales. Para terminar, plantea una cuestión final que obliga a reflexionar sobre los aspectos epistemológicos tratados (fig.2).

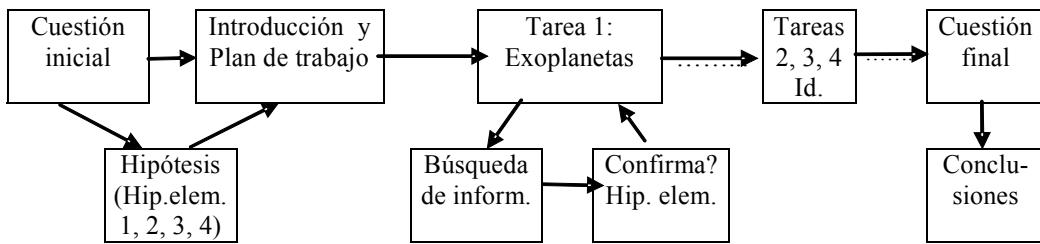


Figura 2.- Esquema del desarrollo de la actividad. Los recuadros de arriba son las etapas que propone el profesor y las de abajo, las tareas de los alumnos.

Aspectos epistemológicos

Como se ha indicado, vamos a trabajar en el aula de modo operativo un concepto central en la construcción de la ciencia: las hipótesis (Hempel, 1973). Cualquier hipótesis tiene esencialmente un perfil explicativo y funciona como una herramienta predictiva. La predicción puede presentar grados muy diferentes, por ejemplo, ser más rutinaria o más audaz, estar más fundamentada o menos. Si este último es el caso, en lugar de hablar de predicción, hablamos de estimación. Una estimación es en esencia una predicción de alto riesgo, porque está basada en hipótesis poco consolidadas.

Por cierto, el principio copernicano, ya expuesto, tiene un componente predictivo-estimativo muy importante. De ahí su uso habitual en cosmología para imaginar lo que puede ocurrir en otros lugares del universo alejados de nuestro entorno próximo.

Otro rasgo consustancial a cualquier hipótesis es su carácter provisional. Sabido es que cuando se acumulan nuevos hechos que la desmienten, suele ser sustituida por otra más adecuada. En cambio, como sabemos, no ocurre lo mismo si la hipótesis forma parte de una teoría bien asentada, en cuyo caso puede resistir mejor a hechos que la contradigan (Chalmers, 1990).

En el diseño que sigue vamos a crear una situación en la que el alumno habrá de hacer una estimación. Seguidamente tendrá que explicitar la hipótesis en la que descansa, para después ponerla a prueba con la información recogida y, tal como están las cosas, la mayor parte de las veces habrá de cambiarla a fin de ajustarla a dicha información. Este es fundamentalmente el mecanismo de evolución de la ciencia.

Conviene aclarar que el resultado de la contrastación depende de la hipótesis emitida y de la información recogida. Como en nuestro caso, y fruto del trabajo de los alumnos, podemos encontrar variedad de unas y otras, podrían resultar diversas posibilidades de confirmación o refutación. Esto no debe preocuparnos en exceso pues, emitida de modo razonable una hipótesis y habiéndose recogido con arreglo a ella información adecuada (aunque no esté completa), lo más importante es que la contrastación con los elementos de que se dispone sea correcta.

La estrategia empleada es, en todo caso, una estrategia explícita y reflexiva que viene enmarcada en un tema controvertido. Esto significa que aborda de modo intencional y

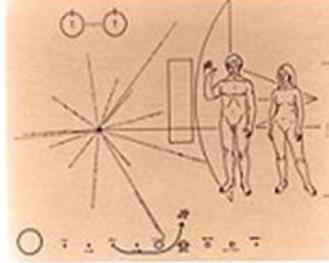
directo algunos aspectos de NdC contenidos en el tema, y opera reflexivamente sobre ellos a fin de obtener unas conclusiones. Tales características son señaladas como las más idóneas para su enseñanza (Acevedo, 2009).

Cuestión inicial de clase

La cuestión que aparece en la figura 3 fue ensayada con un grupo de 30 alumnos de 2º-3º de Magisterio y otro de 25 de 4º-5º de Ciencias (Físicas y Químicas). Como no era nuestro propósito estudiar las ideas de los alumnos, la experiencia se utilizó especialmente para detectar y eliminar defectos de la estrategia o documentos originales.

¿EXISTE VIDA FUERA DE LA TIERRA?

En los años 1970, ante la posibilidad de vida inteligente en nuestra galaxia y por todo el universo, la NASA envió en las sondas Pioneer 10 y 11 una placa con un mensaje destinado a los extraterrestres (fig. adjunta).



Cuestión

(a) Hacer alguna estimación numérica sobre la posibilidad de que exista en nuestra galaxia (Vía Láctea) vida inteligente en planetas que giran alrededor de otras estrellas. Dato.- Número de estrellas de la Vía Láctea:
 $250.000.000.000$, es decir, $2,5 \cdot 10^{11}$

(b) ¿Qué hipótesis hemos utilizado para nuestra estimación? (es decir, en qué nos hemos basado para hacerla). Dar una explicación al respecto.

Nota: Leer primero el ejemplo aclaratorio antes de abordar la respuesta.

Ejemplo aclaratorio (Podría hacerse de modo práctico).- En una estantería tenemos una cajita cerrada con bolas de colores. En el último estante, fuera de nuestro alcance, vemos una caja cerrada mucho más grande que pone "bolas". ¿Cuántas bolas podría haber en ella? Y de estas, ¿cuántas azules? Hacer una estimación.

(a) Medimos las dimensiones de la caja pequeña (p.ej. $12 \times 6 \times 10$ cm). La abrimos y contamos las bolas totales y las azules (p.ej. 24 y 3). De este lejos valoramos a ojo las dimensiones que puede tener la caja grande (p.ej. $35 \times 12 \times 20$ cm). Una vez que tenemos los volúmenes de las dos cajas, podemos estimar el nº de bolas mediante una proporción.

$$V_1 = 12 \times 6 \times 10 = 720 \text{ cm}^3; V_2 = 35 \times 12 \times 20 = 8400 \text{ cm}^3$$

$$720 / 8400 = 24 / x \quad ? \quad x = 280 \text{ bolas}; \quad 24 / 3 = 280 / x \quad ? \quad x = 35 \text{ bolas azules}$$

(Cuidado: Una estimación no es una certeza. Dentro de la caja podría haber un nº de bolas muy diferente al estimado).

(b) Hipótesis utilizadas. La caja grande: 1) Contiene bolas realmente; 2) El tamaño de las bolas es idéntico al conocido; 3) Las bolas son también de colores; 4) El porcentaje de bolas azules es el mismo; 5) Las cajas están igual de llenas.

Figura 3.- Cuestión ensayada con alumnos de Magisterio y de Ciencias.

Respuesta muy generalizada

Una respuesta muy generalizada, con todas sus variantes, entre las recogidas fue la siguiente:

a) *Suponiendo que cada estrella tiene una media de 10 planetas y de ellos 1 con vida inteligente, en nuestra galaxia tendríamos:*

$2,5 \cdot 10^{11}$ estr. $\times 1$ plan.con vida-i/estr. = $2,5 \cdot 10^{11}$ plan.con vida-i

b) *Hipótesis general:*

Todas las estrellas tienen sistemas planetarios parecidos al sistema solar

Comentarios y análisis de la hipótesis

La anterior es una respuesta muy usual entre las recogidas, con una variante que consiste en limitar, aplicando algún porcentaje, el número de estrellas y/o planetas que podrían cumplir los requisitos. Vamos a tomarla como referencia para nuestros comentarios, aunque cualquier otra podría dar lugar a un esquema parecido.

Ahora el profesor debe comentar el principio copernicano, así como su presencia en las respuestas y en la hipótesis general. Si se descompone esta en varias, deben igualmente comentarse. En nuestro caso, las hipótesis elementales contenidas en la general son:

- Hipótesis 1: Todas las estrellas tienen planetas.
- Hipótesis 2: Sus sistemas planetarios son parecidos al sistema solar (en nº de planetas, tipos o disposición).
- Hipótesis 3: Los sistemas planetarios no difieren excesivamente unos de otros por su situación en la galaxia o por el tipo de estrella central.
- Hipótesis 4: En cada sistema planetario hay en promedio un planeta similar a la Tierra, capaz de albergar vida inteligente.

Tareas de confirmación/refutación de las hipótesis

Siguen ahora las tareas de búsqueda de información, con la que se discute la viabilidad de las hipótesis. Puesto que tenemos cuatro hipótesis elementales, se divide la actividad en cuatro tareas que precisan información como la ofrecida en los apartados de la parte 1.

Las tareas se cierran con una cuestión donde los alumnos han de contrastar las hipótesis elementales. Aunque la cuestión señala diversas opciones, desde el apoyo al rechazo de la hipótesis, pueden emplearse otras no citadas (p.ej. "no la apoya", "no la desmiente", etc.).

- Tarea 1.- Búsqueda de información: Exoplanetas (ver "El descubrimiento de exoplanetas"). Cuestión 1: ¿Con qué hipótesis de las anteriormente expuestas está relacionada la información recogida? ¿La confirma / restringe su validez / la contradice?
- Tarea 2.- Búsqueda de información: Sistemas extrasolares (ver "Nuestro sistema solar: una formación atípica"). Cuestión 2: Id. que la cuestión 1.
- Tarea 3.- Búsqueda de información: Hipótesis de Tierra rara (ver "La hipótesis de Tierra Rara"). Cuestión 3: Id. que la cuestión 1.
- Tarea 4.- Búsqueda de información: Concepto de zona habitable de una galaxia (ver "Zona habitable de una galaxia"). Cuestión 4: Id. que la cuestión 1.

Teniendo en cuenta las hipótesis elementales y suponiendo la información recogida similar a la de los apartados de la parte 1, los resultados de cada tarea podrían ser:

T1: Hip.1; La apoya (en los casos conocidos). T2: Hip.2; La contradice/No la apoya. T3: Hip.4; La contradice. T4: Hip.3; La contradice/No la apoya.

No debe concederse excesiva importancia a que la información de que se dispone sea incompleta. Lo esencial es seguir adecuadamente el proceso de validación de las hipótesis.

El diseño propuesto, muy adaptado a la asignatura CMC, admite diversas variantes. Así, cuando el factor tiempo es acuciante y los alumnos tienen ya experiencia de investigación bibliográfica, el profesor puede suministrarles fotocopias ya preparadas. Igualmente, puede restringir el trabajo a una sola de las hipótesis elementales, o abordar directamente la hipótesis global.

Cuestión final

Propone una tarea de corte constructivista para que el alumno termine por consolidar su visión acerca del modo en que la ciencia evoluciona. Para ello se le dirige a: 1) que advierta la necesidad de modificar o cambiar una hipótesis cuando surgen nuevos conocimientos no compatibles con ella; 2) percibir que este mecanismo de sucesión de hipótesis está a la base de la evolución de la ciencia.

La actividad sobre vida extraterrestre la iniciamos con la cuestión siguiente

[Se reproduce aquí la cuestión inicial]

1) En ese momento la respuesta que diste a *b* fue:

[En caso de olvido, el profesor se la recuerda]

Tras conocer los últimos descubrimientos de la ciencia sobre el tema estudiado ¿cómo modificarías la hipótesis inicial? Vuelve a escribirla:

2) Reflexionando sobre el trabajo que hemos realizado (tareas 1, 2, 3 y 4) ¿qué podríamos deducir acerca de cómo avanza la ciencia?

(Es decir, qué hace en primer lugar la ciencia para explicar un problema del que se dispone de una información escasa y qué ocurre luego a medida que se adquieren nuevos conocimientos sobre el mismo).

REFLEXIONES FINALES

En el presente trabajo se han reseñado los avances que experimenta un campo de la ciencia de gran actualidad, como es el de búsqueda de vida extraterrestre. La información suministrada ha servido para preparar estrategias de enseñanza que permiten a los alumnos tomar contacto y familiarizarse con determinados aspectos epistemológicos, concretamente, con el papel de las hipótesis.

La misma información, por ser muy rica en matices, también podría haberse orientado con otras finalidades. No lo hemos hecho así para no alargar el trabajo ni dispersarnos en exceso. Pero puede ser fácilmente utilizable para servir de aplicación a:

- conceptos pertenecientes a la pura ciencia (p.ej. ¿Qué condiciones debe cumplir un planeta gigante para seguir una órbita de 4 días de periodo?)
- cuestiones éticas y sociológicas (p.ej. ¿Qué piensas del dinero que se gasta en investigar la posibilidad de vida extraterrestre?) (PEEP, 2009)
- aspectos religiosos y psicológicos (p.ej. Antiguamente se pensaba que la Tierra ocupaba el centro del universo y el hombre el centro de la creación ¿Se vuelve a esta idea con la hipótesis de "Tierra rara"?)
- creencias del ámbito de la pseudociencia, muy arraigadas, y, por tanto, con necesidad de ser clarificadas (p.ej. Qué opinas de la siguiente afirmación: "Naves extraterrestres, conocidas como OVNIs, visitan la Tierra con frecuencia") (Yates y Chandler, 2000).

Volviendo al tema principal de nuestro estudio, debe recalarse que el campo de conocimiento (vida extraterrestre) elegido como marco, por encontrarse en los comienzos de su andadura, es donde una hipótesis adquiere mayor relieve. Pero al mismo tiempo es donde resulta más vulnerable ante nuevos hechos que surgen sin pausa y pueden contradecirla. Como vemos, la situación elegida encaja muy bien con nuestro propósito pues en ella se encuentran resaltadas las características objeto de estudio.

En la secuencia didáctica hemos colocado al alumno asumiendo el papel de científico y lo hemos enfrentado a cuestiones de transfondo epistemológico. En primer lugar, planteándole un interrogante, se le fuerza a hacer una estimación, que normalmente es guiada por el principio copernicano. Esto explica el hecho de que buena parte de las respuestas sean parecidas, pues el alumno tiende a explicar lo desconocido estableciendo una semejanza (afortunada o no) con lo conocido. Como vemos, a nivel escolar el principio está desprovisto de su componente epistemológica y se manifiesta como un mero mecanismo psicológico.

En la situación descrita el alumno actúa como el científico que ha obtenido unos resultados en su investigación y ha de decidir si éstos ratifican o no las hipótesis iniciales. Aquí la contrastación se ha realizado con la información a la que ha tenido acceso y no con datos experimentales. Dicha información ha terminado, excepto en una ocasión, alterando, cuando no desmintiendo, las hipótesis elementales. El principio copernicano, utilizado para elaborar la hipótesis inicial cuando la información era escasa, no se ha mostrado pues enteramente fiable.

Otro punto a destacar es el siguiente: puesto que la cuestión inicial se plantea en un contexto parecido al de los años 70, hemos hecho recorrer al alumno casi 40 años de progreso. Ha podido vivir así el desarrollo del conocimiento científico y el mecanismo de su evolución. Ha comprobado que las antiguas creencias, basadas en determinadas hipótesis, pueden ser borradas, o, en el mejor de los casos, alteradas, al ser desmentidas por los hechos.

De este modo, ante los ojos del alumno se destaca el valor de las hipótesis y al mismo tiempo aparece el mecanismo de evolución de la ciencia.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AAAS (American Association for the Advancement of Science) (1993). *Benchmarks for Science Literacy*. New York: Oxford University Press.
- ABELL, S.K. (2008). Twenty Years Later: Does pedagogical content knowledge remain a useful idea? *International Journal of Science Education*, 30(10), 1405-1416.
- ACEVEDO DÍAZ, J.A. (2008). El estado actual de la naturaleza de la ciencia en la didáctica de las ciencias. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 5(2), 134-169.
- ACEVEDO DÍAZ, J.A. (2009). Conocimiento didáctico del contenido para la enseñanza de la naturaleza de la ciencia (II). *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 6(2), 164-189.
- BRUNIER, S. (2009). Un système pas comme les autres. *Science et Vie* (Hors série), 246, 92-97.
- CAMPBELL, J. (2007). Meet the neighbours. *BBC News*. En: <http://news.bbc.co.uk/1/hi/magazine/6592707.stm>
- CAÑAL, P. (Ed.) (2006). Alfabetización científica. *Investigación en la Escuela*, 60.
- CHALMERS, A.F. (1990). *¿Qué es esa cosa llamada ciencia?* (8ª ed.). Madrid: Siglo XXI.
- DE PRO, A. y EZQUERRA, A. (2005). ¿Qué ciencia ve nuestra sociedad? *Alambique*, 43, 37-48.
- ESA (European Space Agency) (2009). *Darwin overview*. En: http://www.esa.int/esaSC/120382_index_0_m.html
- FERNÁNDEZ-GONZÁLEZ, M. (2008). Ciencias para el mundo contemporáneo. Algunas reflexiones didácticas. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 5(2), 185-199.
- HEMPEL, C.G. (1973). *Filosofía de la Ciencia Natural*. Madrid: Alianza Editorial.
- MATTHEWS, M. (1994). *Science Teaching* (cap. 3). New York: Routledge.
- McCOMAS, W.F., CLOUGH, M.P. y ALMAZROA, H. (1998). The Role and Character of the Nature of Science in Science Education. En W.F. McComas (Ed.). *The Nature of Science in Science Education* (pp. 9-14). Dordrecht: Kluwer.
- M.E.C. (Ministerio de Educación y Ciencia) (2007, pp. 45387-9). *B.O.E.* nº266 de 06-11-2007.
- MELLADO, V. y GONZÁLEZ, T. (2000). La formación inicial del profesorado de ciencias. En F.J. Perales y P. Cañal (Dirs.). *Didáctica de las ciencias experimentales*. (pp. 535-555). Alcoy: Marfil.
- NASA (2007). *Scientists Discover Record Fifth Planet Orbiting Nearby Star*. En: <http://www1.nasa.gov/audience/formedia/telecon-20071106/index.html>
- NASA-TPF (2009). *Terrestrial Planet Finder*. En: <http://planetquest.jpl.nasa.gov/TPF>

- NIELSEN, H. y THOMSEN, P.V. (1990). History and philosophy of science in physics education. *International Journal of Science Education*, 12(3), 308-316.
- PEDRINACCI, E. (Coord.) (2006). Ciencias para el mundo contemporáneo. *Alambique*, 49.
- PEEP (Physics & Ethics Education Project) (2009). En: <http://www.peep.ac.uk/content/index.php>
- SCHNEIDER, J. (2009). *L'Encyclopédie des Planètes Extrasolaires*. En: <http://exoplanet.eu/index.php>
- SETI (Search for Extra-Terrestrial Intelligence) (2008). En: <http://www.seti.org>
- THOMMES, E.W., MATSUMURA, S. y RASIO, F.A. (2008). Gas Disks to Gas Giants: Simulating the Birth of Planetary Systems. *Science*, 321, 5890, 814-817.
- WARD, P.D. y BROWNLEE, D. (2000). *Rare Earth. Why Complex Life is Uncommon in the Universe*. New York: Springer. [Se ofrecen fragmentos seleccionados en: <http://books.google.es>]
- WIKIPEDIA (2009a). *Copernican principle*. En: http://en.wikipedia.org/wiki/Copernican_principle
- WIKIPEDIA (2009b). *51 Pegasi b*. En: http://en.wikipedia.org/wiki/51_Peg_b
- WIKIPEDIA (2009c). *Fermi Paradox*. En: http://en.wikipedia.org/Fermi_paradox
- YATES, G.C.R. y CHANDLER, M. (2000). Where Have all the Skeptics Gone?: Patterns of New Age Beliefs and Anti-scientific Attitudes in Preservice Primary Teachers. *Research in Science Education*, 30(4), 377-387.

LIFE IN OUTER SPACE? EPISTEMOLOGICAL ASPECTS FOR THE CLASSROOM

SUMMARY

This article is a summary of recent advances in research on the possibility of life in outer space. However, it provides much more than a description of what others have done. We have used this topic to pose epistemological questions that focus on the function of hypotheses as well as their constant verification in the context of new events. The strategy followed places students in the role of the scientist, and allows them to actively participate in the development of knowledge and how it evolves. This process is in consonance with modern tendencies in science teaching, actually reflected in the subject, "Ciencias para el mundo contemporáneo" [Science for Public Understanding]. This article shows teaching materials used, and also explains how they are used in the classroom.

Key words: science teaching; Science for Public Understanding; extraterrestrial life; nature of science; epistemology; hypotheses.