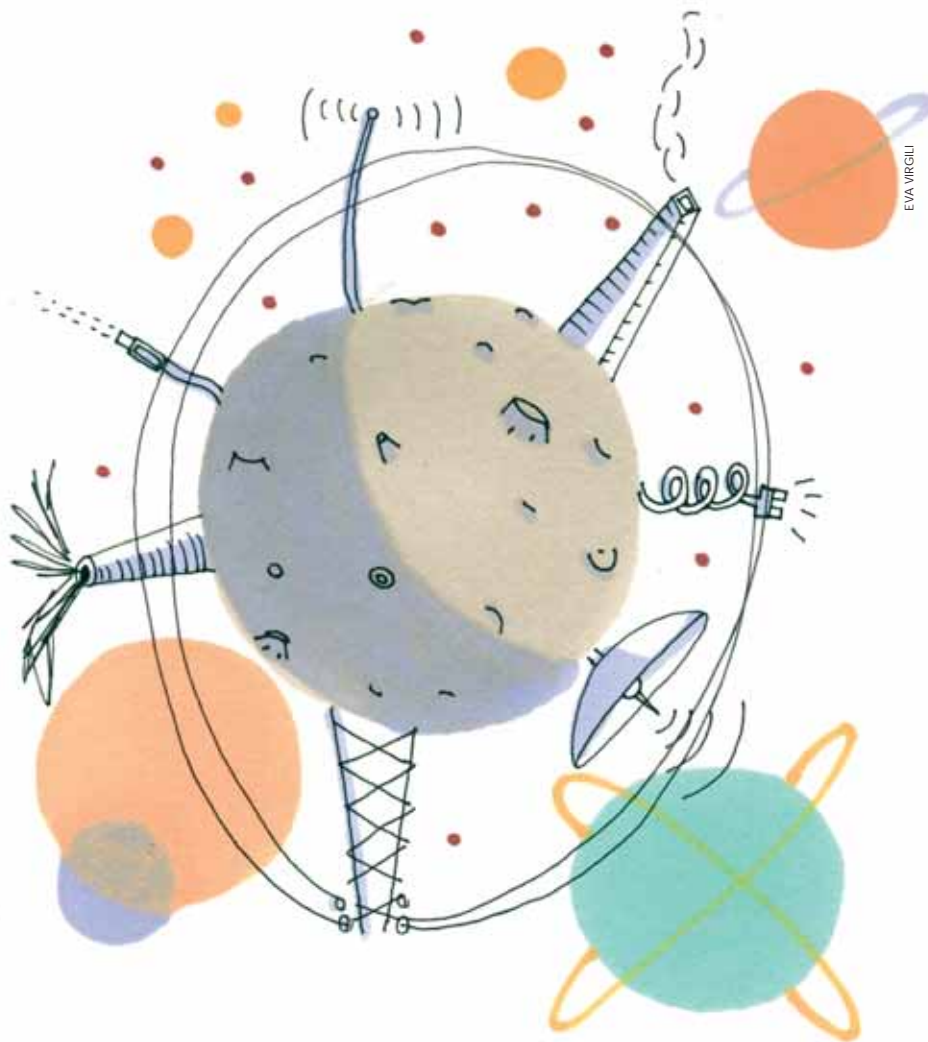


¿Hasta cuándo podremos derrochar energía?

El tratamiento didáctico de la crisis energética



El alumnado no suele alarmarse ante la grave escasez energética. Pero su percepción de un mundo de recursos ilimitados se puede cuestionar si se trabaja a fondo el concepto de energía, se sitúa la problemática a escala planetaria, se relativiza la idea de bienestar asociada a su consumo desmedido y se analizan de manera más rigurosa las alternativas al agotamiento de los combustibles fósiles.

FERNANDO BALLEÑILLA GARCÍA DE GAMARRA
Universidad de Alicante.
Correo-e: fernando@ballenilla.net
J. EDUARDO GARCÍA DÍAZ
Universidad de Sevilla.
Correo-e: jeduardo@us.es

La alumna copia en su cuaderno de clase la frase que acaba de pronunciar el profesor: "La energía ni se crea ni se destruye, sólo se transforma". En otra página de su cuaderno hay otra frase: "Debemos ahorrar energía, pues estamos agotando los recursos energéticos".

No esperemos que nuestra alumna, ante esta aparente contradicción, piense algo como: "¿En qué quedamos? Si se ago-

ta la energía es que se destruye". Las dos anotaciones de su cuaderno no sólo están separadas en el espacio y en el tiempo, sino que también son contenidos disociados en su mente. Cada uno de ellos se genera y se activa en un contexto concreto. Y ambos son irrelevantes para la alumna. El principio termodinámico no es otra cosa que una "verdad" más de las muchas que hay que aprender porque sí. Y la idea del ahorro es una recomendación sin sentido para una adolescente que vive en un mundo consumista y despilfarrador.

¿Es posible cambiar esta situación? ¿Qué papel podría jugar el conocimiento científico en la construcción de argumentos que cuestionen su concepción de un mundo de recursos ilimitados? En lo que sigue, intentaremos dar algunas orientaciones sobre estas cuestiones.

El final del petróleo barato (y de otras muchas cosas)

"Nuestra ignorancia no es tan grande como nuestra incapacidad para utilizar lo que sabemos". Esta frase es de Marion King Hubbert, un distinguido geofísico estadounidense al que se debe, entre otras cosas, su contribución a la comprensión del fenómeno de la plasticidad de las rocas de la corteza profunda por la gran presión a la que están sometidas, y diversos estudios, de mucho interés desde el punto de vista de la prospección petrolífera, sobre la migración de fluidos a través de las rocas porosas. En 1956 presentó una ponencia en el congreso del American Petroleum Institute, en San Antonio, Texas, en la que afirmaba: "De acuerdo con la información actualmente disponible, la producción de petróleo y gas natural a escala mundial llegará probablemente a su clímax dentro de medio siglo, mientras que tanto para los Estados Unidos como para Texas, el cenit de su producción pueden tener lugar en los próximos 10 o 15 años".

Esta afirmación contrastaba con el pensamiento dominante en su época, que no concebía límites a la actividad humana ocasionados por la escasez de recursos. Los límites se veían más bien en la capacidad o no de explotarlos, pero no en su escasez.

Hubbert, en 1956, estimó el cenit mundial de producción petrolífera para medio siglo después (2006), y el de Texas y

EEUU, para entre 1966 y 1971. Estas afirmaciones le acarrearón el disgusto de la industria petrolera y el escepticismo de sus colegas, pero éste duró sólo catorce años, porque, efectivamente, en 1970 (véase el Cuadro 1) se alcanzó el pico de producción de petróleo en EEUU con cerca de 3,5 gigabarriles/año (1Gb = mil millones de barriles).

Lo que está ocurriendo en la actualidad con el precio del petróleo tiene una fácil explicación desde la teoría de Hubbert. Como él predijo y como mantiene ASPO (Association for the Study of Peak Oil and Gas), parece que ya hemos superado el cenit del petróleo convencional, y desde 2005 nos encontramos en una meseta de producción de todos los combustibles líquidos (Cuadro 2). Cuando EEUU atravesó su cenit, pudo aumentar sus importaciones, pero en el caso de la producción mundial eso no es posible, por lo que no es extraño el aumento galopante de los precios.

¿Qué pasará cuando la producción, como describe la teoría de Hubbert, comience a declinar entre un 3% y un 5% anual? Que la brecha que hay ahora entre la demanda y una producción que no aumenta (y que está poniendo en un brete a la economía mundial), se agravará. La energía se encarecerá, y también lo disponible o fabricado gracias a ella, es decir: todo. Pero, además, también miles de productos directamente procedentes de la petroquímica, ya que el 15% del petróleo tiene esa finalidad.

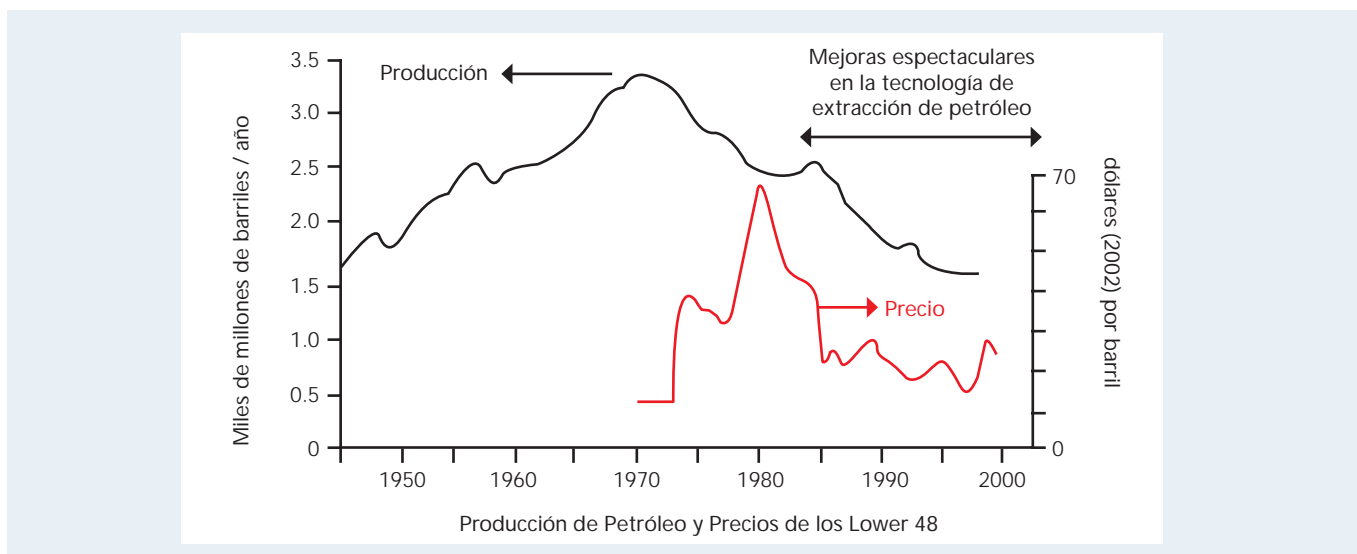
La única alternativa racional a esta situación es acompañar la contracción, que inevitablemente se va a producir, con un decrecimiento lo más organizado y solidario posible. De no ser así, la catástrofe está asegurada.

Pero para abordar de una forma racional esta grave escasez será necesario realizar profundos y revolucionarios cambios sociales. Se trata de una tarea urgente, porque a medida que pase el tiempo la disponibilidad de energía disminuirá y, con ella, nuestro abanico de opciones. En esa tarea, la educación de niños, jóvenes y adultos cobra una especial relevancia.

Resistencias y dificultades para el cambio

¿Qué piensa nuestra alumna de todo esto? ¿Qué sentido tienen para ella los argumentos anteriores?

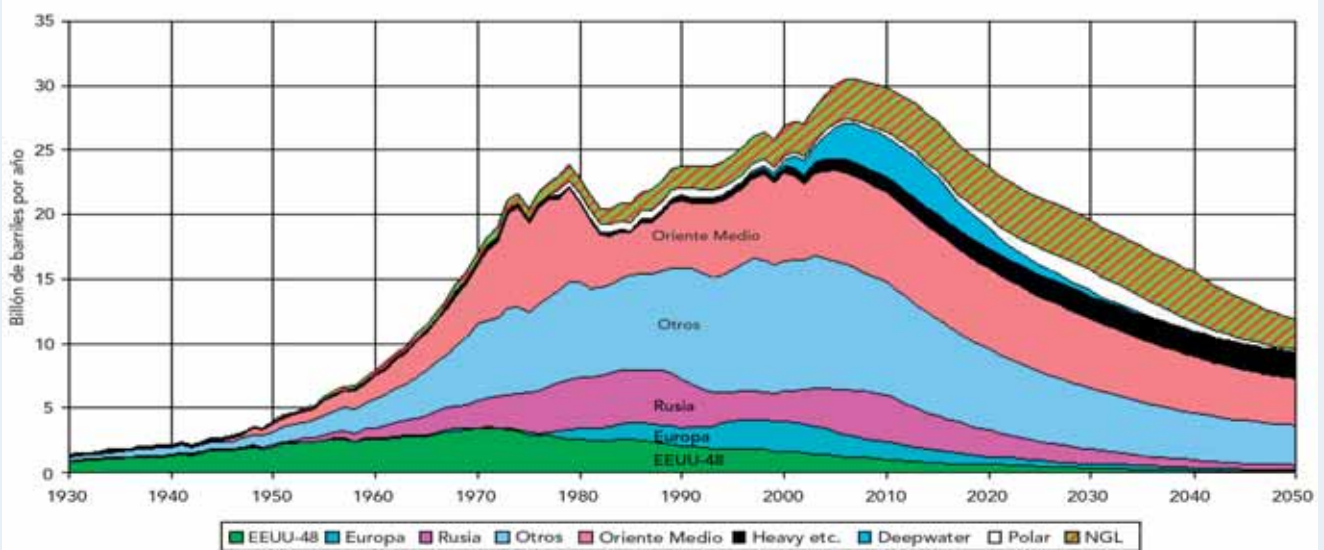
Cuadro 1



Hirsch, Robert L. y otros (2005): *Peaking Of World Oil Production: Impacts, Mitigation & Risk Management*. DOE NETL. DOE NETL. p. 17

Cuadro 2

Escenario base de enero de 2005 (según ASPO)



Su respuesta más probable será la incredulidad. Los datos que ofrecemos provienen de fuentes de información minoritarias y los que recibe de otros medios de comunicación pueden ser malinterpretados y reducidos a sólo un problema de mera especulación.

Aun admitiendo la "verdad" de los datos aportados, no cambiará su percepción del tema. Ello tiene que ver con una característica muy relevante del pensamiento cotidiano simplificador: el rechazo a la prueba empírica que no favorece nuestra concepción de partida.

En el caso de la energía, la hipótesis predominante es la del recurso inagotable, que va unido a un modelo socioeconómico consumista basado en el crecimiento ilimitado y el aumento del "bienestar". A esta situación se une el llamado mito del optimismo tecnológico, que se ha convertido en un estereotipo social, después de 300 años de continuo desarrollo tecnológico.

Este optimismo tecnológico ingenuo merece especial atención. La cultura dominante no enseña a pensar de forma compleja. El control de la situación está siempre en manos del gestor y del experto. No se fomenta el autocontrol. Es decir, las personas son siempre dependientes e incapaces de controlar su mundo. Son poco autónomas. Desde la infancia se han socializado en la idea de que las decisiones de mayor alcance hay que dejarlas en manos de los técnicos y políticos.

En definitiva, ¿se alarma nuestra alumna con los datos aportados? El alumnado no suele percibir que estemos en una situación de riesgo y de emergencia planetaria. Su susto es muy relativo y superficial, y ello, de nuevo, por las características del pensamiento simplificador.

¿Cómo intentar hacer frente en la práctica a estas dificultades?

Hacer frente a estas dificultades requiere, en primer lugar, trabajar a fondo la propia concepción de energía que tiene el alumnado. El concepto de energía se asocia a movimiento, calor o luz, y es una dificultad de aprendizaje muy frecuente la

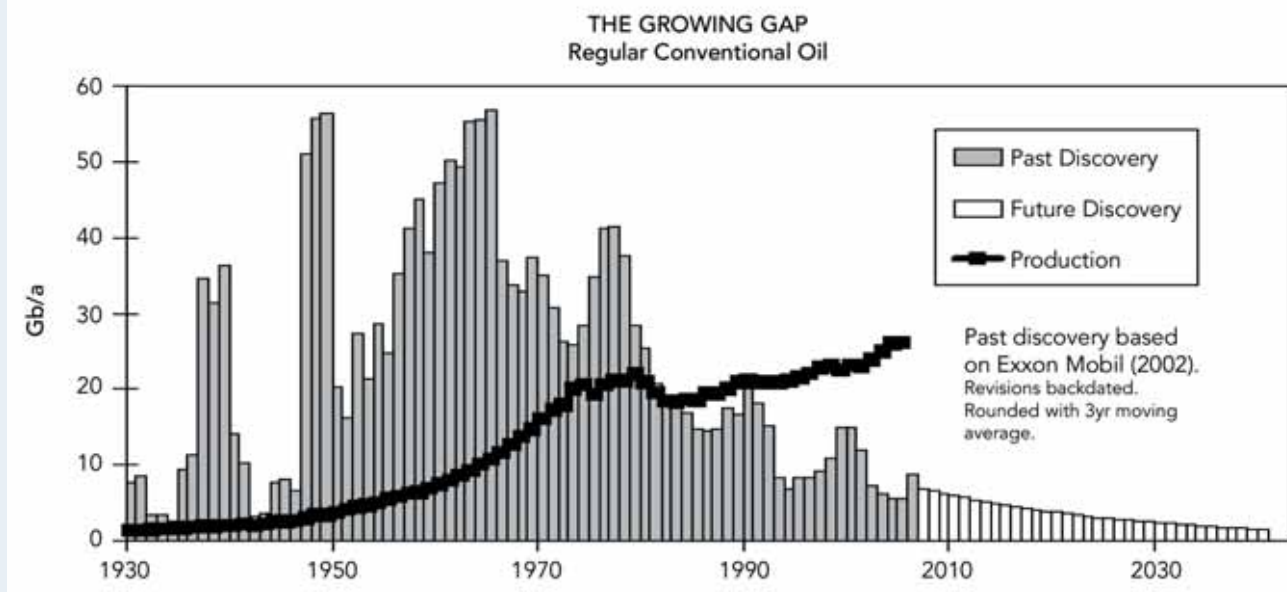
incomprensión de que la energía es una magnitud o propiedad de los sistemas que tiene que ver con los procesos de cambio que ocurren en los mismos (por ejemplo, no se entiende la "energía interna" de los sistemas, como podría ser el caso de la energía química presente en un alimento o de la energía potencial que tiene un objeto por su posición en el espacio).

En el mismo sentido, no se entiende la conservación y degradación de la energía. La gran dificultad está en distinguir ambos términos. Cuando la energía se transfiere de unos sistemas a otros pierde "calidad", se degrada, en el sentido de que es menos útil para mantener la organización del sistema. Aunque la cantidad de energía que llega a nuestro planeta es la misma que la que sale, la entrante es de más calidad que la saliente (al pasar de luz a calor).

Cuando pasamos de fuentes de energía primarias a otras secundarias hay degradación y pérdidas (parte de la energía pasa al medio). En ese sentido, una estufa o una cocina de butano son más eficientes que un calentador o una cocina eléctricos. Del mismo modo, es más eficiente, desde el punto de vista energético, comer vegetales que carne.

En segundo lugar, hay que situar la problemática de la energía en un marco más global y no dedicarnos exclusivamente a analizar los electrodomésticos existentes en nuestras casas o la factura de la electricidad. Ello supone plantearnos el tema a escala planetaria. Aunque se trata de nociones muy complejas, habría que ir iniciando al alumnado en cuestiones como el nicho ecológico de la especie humana, los procesos energéticos básicos de los seres vivos (alimentación, metabolismo, respiración, fotosíntesis) o la organización trófica de los ecosistemas.

En tercer lugar, resulta fundamental relativizar la idea de bienestar que se asocia al consumo desmedido de energía. Hay que ayudar al alumnado a adoptar una perspectiva histórica. Un contenido básico sería la caracterización energética del nicho ecológico humano, analizando la progresiva sustitución en nuestra sociedad de la energía endosomática tradicional (la "fuerza" muscular) por energía exosomática (combustibles fósiles, energía nuclear...). La utilización de energía externa o exosomática ha permitido que la población humana sobrepase, con mucho, el número de individuos



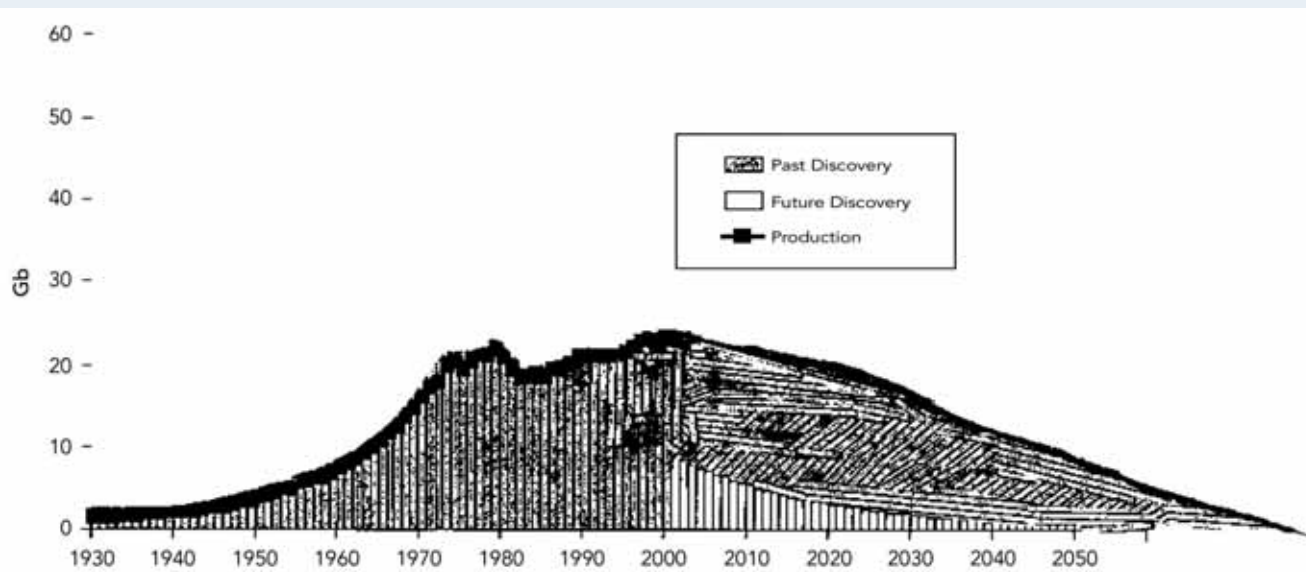
que debería tener en condiciones ecológicas normales.

En cuarto lugar, hay que analizar de manera más rigurosa las alternativas al agotamiento de los combustibles fósiles. Una primera cuestión que conviene debatir con el alumnado es si el actual modelo socioeconómico es compatible con el mundo de "baja energía" hacia el que vamos.

También habría que criticar el concepto de desarrollo sostenible en relación con la noción de decrecimiento. Al respecto, habría que desmitificar la supuesta capacidad de las "energías renovables" para mantener el modo de vida actual, y trabajar con el alumnado la noción de tasa de retorno energético, es decir, la energía que hace falta para producir energía (Ballenilla y Ballenilla, 2007). Porque el flujo energético que se aprovecha es renovable, pero los sistemas necesarios para aprovechar ese

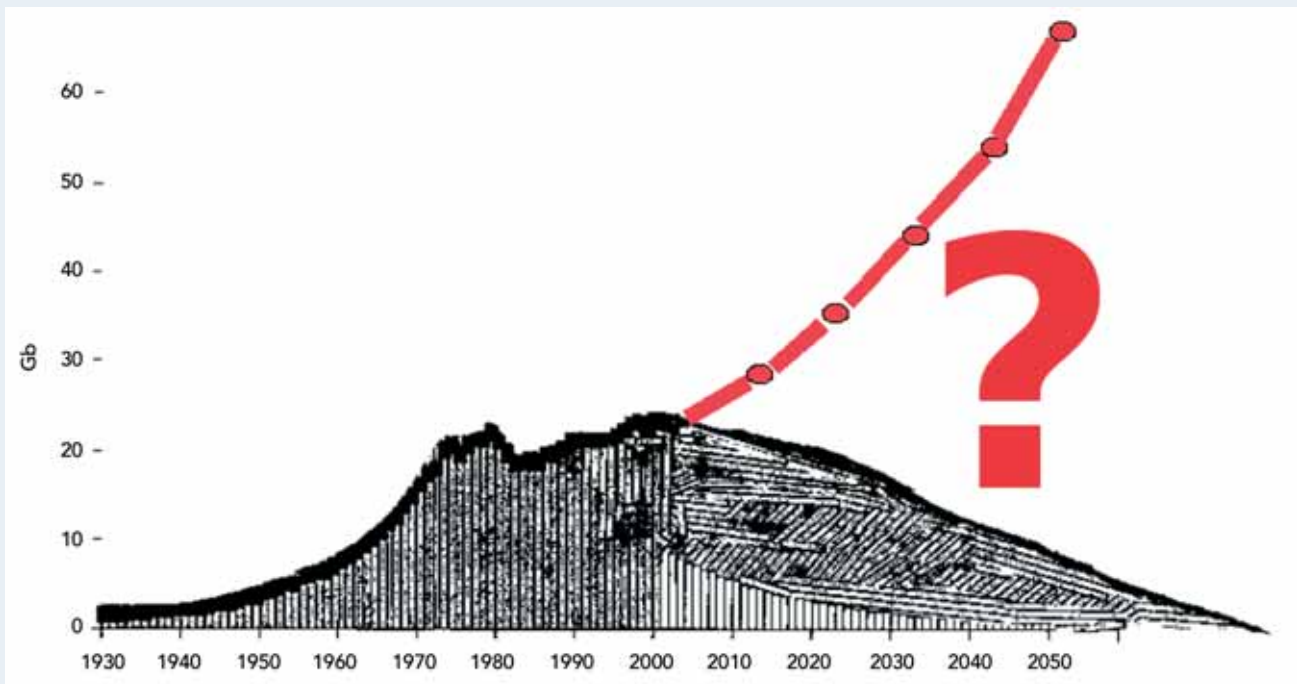
flujo no lo son, de forma que para obtener esa energía tenemos que hacer una inversión energética previa que la hace, a veces, ineficaz.

El tratamiento de estas cuatro dimensiones debe suponer la transición desde formas de pensamiento simples hacia otras más complejas (para más detalle, ver García, Rodríguez, Solís y Ballenilla, 2007), es decir, desde una concepción aditiva y cerrada del mundo hacia otra sistémica e integradora, transición que debe integrar lo local con lo global, lo natural con lo social, la ciencia con los valores, los conceptos con las actitudes y la acción. Se trata de pasar de las perspectivas únicas y reduccionistas al multiperspectivismo y al relativismo, de la causalidad simple (mítica o lineal) a la causalidad compleja (interacción, interdependencia), de la concepción de un mun-



Cuadro 5

The Growing Gap



do estático a la de un mundo que evoluciona y se reorganiza continuamente.

¿Cómo trabajar el cenit de producción de petróleo en el aula?

El problema del cenit de producción de petróleo debe trabajarse en el aula de forma gradual y progresiva, comenzando por formulaciones sencillas, como preguntar qué energía usamos y cómo la usamos en las actividades que realizamos a lo largo de un día en casa o en el aula, o presentar un conjunto de dibujos o fotos en los que se describan situaciones con diferentes tipos de energía (por ejemplo, una lámpara encendida, un aerogenerador, el Sol, un coche en movimiento, un vaso de agua, un niño que se desliza por un tobogán, un bocadillo, una chimenea encendida, una ola...) y preguntar dónde hay energía, con la idea de ver si el alumnado reconoce formas de energía menos evidentes. El tratamiento de este tipo de problemas nos llevaría

a plantearnos otros más complejos, en los que se pueden incorporar conceptos científicos básicos de la geología (cómo se origina el petróleo, cómo se forman los yacimientos, cómo se extrae...), de la física (primer y segundo principio de la termodinámica, energía y trabajo, unidades...), de la química (qué es el petróleo, sus derivados, reacciones de oxidación, el CO₂...) o de la biología (fotosíntesis, biomasa, alimento, pirámides tróficas, capacidad de carga de un ecosistema...).

Un buen comienzo puede ser un ejercicio de prospectiva en el que deban indicar cómo imaginan que será la sociedad dentro de 50 años (cómo será la alimentación, el trabajo, la disponibilidad de energía y bienes per cápita, su distribución y uso, la información, el transporte, las ciudades) y la elaboración de un listado de las actividades que cada uno realiza desde que se despierta: "Enciendo la luz, me pongo las zapatillas, voy al baño, me visto, desayuno, me lavo los dientes y la cara, me peino...".

Se trata de analizar dicho listado suponiendo que no disponemos de petróleo: ¿podremos encender la luz?, ¿las zapatillas, de qué están hechas?, ¿habrá bombas que suban el agua hasta

mi baño?, ¿de qué está hecho el cepillo de dientes?, ¿y la pasta?, ¿y el peine?...

A continuación se pueden trabajar algunas cuestiones sobre una gráfica de descubrimientos y de producción petrolífera (*Cuadro 3*) para familiarizarse con los datos y las unidades utilizadas. Y luego se les puede proponer que averigüen cuándo nos quedaremos sin petróleo. Siempre se descubre alguna manera sencilla de saberlo: recortar las reservas encontradas y no consumidas y apilarlas sobre el petróleo extraído y el que es probable que encontremos (barras de color blanco en el *Cuadro 3*). El *Cuadro 4* recoge una de las gráficas que resultó al hacer el recortable.

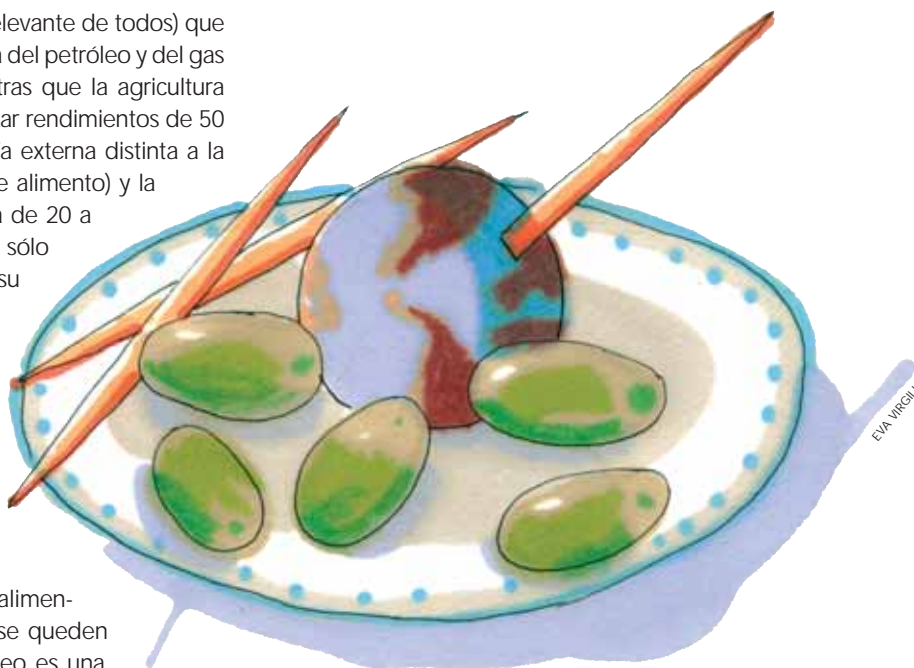
Cuando se les pide que añadan a esa gráfica los datos del petróleo que necesitaremos, suponiendo un crecimiento anual de su consumo de un 2%, que es el que se ha dado históricamente de promedio, queda claramente de manifiesto el inminente problema a que nos enfrentamos cuando la producción no pueda cubrir la demanda (*Cuadro 5*).

Otro aspecto relevante (quizás el más relevante de todos) que se debe tratar es la tremenda dependencia del petróleo y del gas que tiene la agricultura moderna: "Mientras que la agricultura intensiva tradicional china llegaba a alcanzar rendimientos de 50 a 1 (vale decir, con una caloría de energía externa distinta a la solar se llegaban a obtener 50 calorías de alimento) y la tradicional agricultura cerealista castellana de 20 a 1, la agricultura industrial española actual sólo alcanza en promedio 0'8 a 1: es decir, su balance energético es negativo (Alonso, J. 1995). Sin embargo todavía no llega a los irracionales rendimientos del sistema agroalimentario estadounidense, que funciona con rendimientos 1:10 de promedio. Y en el cultivo de verduras de invernadero durante el invierno llegan a alcanzarse valores tan disparatados como 1:575" (Lünzer, 1979).

Es decir, ni dos milésimas de caloría de alimento por caloría invertida. Que los coches se queden sin combustible por la escasez de petróleo es una

nimiedad comparada con la gravedad del problema alimentario que se originará. Riechmann (2000) concluye: "Durante milenios, la agricultura y la ganadería fueron eficientes sistemas de captación de energía solar; pero hoy se basan esencialmente en los recursos del subsuelo. Cuando consumimos productos agrícolas o carne, la mayoría de la energía bioquímica que ingerimos no precede del sol, sino del petróleo (que es un recurso escaso y no renovable). Esto plantea graves interrogantes sobre la eficiencia y la viabilidad de nuestros actuales sistemas agropecuarios industriales. Podemos permitirnos un contrasentido semejante durante unas pocas generaciones, pero no más. Comer del sol puede ser ecológicamente sustentable; comer del petróleo no lo es en ningún caso".

Por último, se puede volver a realizar el ejercicio individual de prospectiva para comparar lo que piensan con lo que pensaban al comenzar esta secuencia didáctica.



para saber más

- ▶ **Ballenilla, Mariana y Ballenilla, Fernando (2007):** "La tasa de retorno energético: Hacia un mundo de renovables en el contexto del cenit de producción petrolífera". *El Ecologista*, n.º 55, pp. 24-28.
- ▶ **Barney, Gerald y otros (1997):** *Informe Global 2000*, citado en Weizsäcker, Ernst Ulrich von; Lovins, L. Hunter y Lovins, Amory B. (1997): *Factor 4: duplicar el bienestar con la mitad de los recursos naturales (informe al Club de Roma)*. Barcelona: Galaxia Gutenberg/ Círculo de Lectores, pp. 103.
- ▶ **García, J. Eduardo; Rodríguez, Fátima; Solís, M. Carmen y Ballenilla, Fernando (2007):** "Investigando el problema del uso de la energía". *Investigación en la Escuela*, n.º 63, pp. 29-46.
- ▶ **Lünzer, Immo (1979):** *Energiefragen im Umwelt und Landbau*, citado en Weizsäcker, Ernst Ulrich von; Lovins, L. Hunter y Lovins, Amory B. (1997): *Factor 4: duplicar el bienestar con la mitad de los recursos naturales (informe al Club de Roma)*. Barcelona: Galaxia Gutenberg/ Círculo de Lectores, pp.101.
- ▶ **Riechmann, Jorge (2000):** *DOC 2/2000, Agricultura ecológica y rendimientos agrícolas: aportación a un debate inconcluso*. Madrid: Fundación 1º de Mayo.