

El pico del petróleo hará imposible continuar con el crecimiento

Una visión global de la crisis energética

Margarita Mediavilla



Este artículo intenta ofrecer una visión global de la crisis energética abordando algunas cuestiones que probablemente resulten conocidas. Pero, al juntarlas y ponderarlas en un cuadro global, aportan una visión que frecuentemente arroja conclusiones sorprendentes y puede llegar a cambiar nuestra percepción de los problemas. Por ejemplo: que incluso utilizando las políticas más optimistas de sustitución del petróleo por biocombustibles y vehículos eléctricos que proponen las agencias internacionales, no es posible continuar con el crecimiento económico y los patrones de consumo de décadas pasadas.

Ofrecer visiones globales en temas energéticos no es sencillo dada la gran cantidad de datos con que hay que trabajar, por ello es necesario hacer uso de modelos matemáticos simulados por ordenador y una de las mejores herramientas para ello es la dinámica de sistemas. En el Grupo de Investigación en Energía y Dinámica de Sistemas de la Universidad de Valladolid hemos construido un modelo para estudiar el agotamiento de los combustibles fósiles y nucleares y las alternativas para su sustitución. El modelo que hemos utilizado se centra en dos aspectos clave: la energía eléctrica y el petróleo; y presta especial atención a la sustitución de este en el transporte.

El modelo consiste, básicamente, en una comparación de oferta y demanda energéticas. El crecimiento del PIB mundial es supuesto a priori con una serie de escenarios y, siguiendo las tendencias de consumo de décadas pasadas, se estima la demanda futura de energía. Usamos las estimaciones de diversos expertos para calcular la oferta futura de petróleo y de electricidad de diversas fuentes (carbón, gas, uranio, renovables). Si la demanda de

energía es mayor que la oferta el escenario de crecimiento que hemos escogido será imposible. De esta forma, el modelo detecta los escenarios de crecimiento económico y las políticas que son incompatibles con los límites físicos.

Para estimar la oferta de energía hemos recopilado los estudios realizados hasta la fecha [1], buscando aquellos que no solo hablan de recursos o reservas, sino que tienen en cuenta los límites en los ritmos de extracción, como el *peak oil* [ver referencias 2 a 12]. Tomamos para cada recurso una estimación media que consideramos adecuada, en la figura 1 se pueden ver las curvas de extracción de petróleo que hemos recopilado.

La sustitución energética

Cuando se habla de crisis energética con frecuencia se hacen cálculos sobre el potencial de las energías renovables y se habla de sustituciones generalistas, pero a menudo se pasa por alto que no todos las fuentes energéticas son intercambiables de forma directa y en algunos casos requieren no solo importantes cambios tecnológicos, sino costosas infraestructuras y cambios sociales.

En este modelo nos hemos centrado en dos aspectos: la sustitución del petróleo en el transporte y la sustitución de la electricidad de origen no renovable por electricidad renovable. El modelo no tiene en cuenta algunos usos importantes de la energía como el carbón o el gas natural para generación de calor o para la industria, aspectos que hemos dejado para futuros modelos.

La sustitución del petróleo es muy problemática, ya que con él se consiguen combustibles líquidos de los que depende más del 90% del transporte. Los sustitutos tecnológicos más inmediatos en el transporte son los biocombustibles y los vehículos eléctricos e híbridos, tecnologías que ya están siendo comercializadas. El vehículo basado en hidrógeno, los combustibles sintéticos, el biogás y alternativas similares no las hemos introducido en el modelo, porque se encuentran todavía en fase de desarrollo y no hemos querido introducir futuros avances tecnológicos sobre los cuales no tenemos datos reales de prestaciones (estamos viendo estos últimos años muchas expectativas tecnológicas que terminan dando resultados mediocres). Tampoco hemos considerado, de momento, otras formas de ahorrar petróleo como el gas natural, y los cambios en los patrones de movilidad o calefacción.

Margarita Mediavilla. Grupo de Investigación en Energía y Dinámica de Sistemas de la Universidad de Valladolid. Ecologistas en Acción de Valladolid



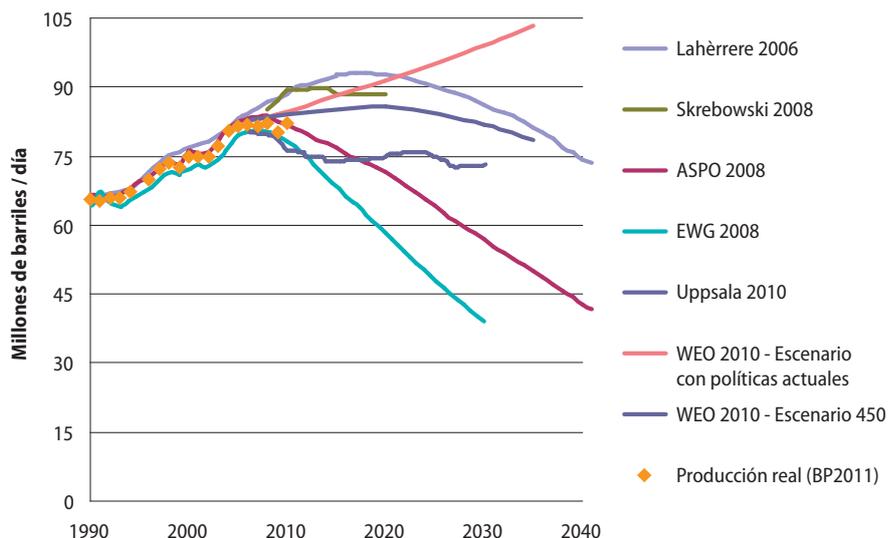
Agrocombustibles

Los agrocombustibles o biocombustibles son el sustituto más inmediato a los derivados del petróleo, ya que su densidad energética (energía por unidad de masa) es similar a la de las gasolinas (sólo un 20% menos), pero poseen importantes inconvenientes. Su tasa de retorno energético es muy cuestionada [14]. Además, su ocupación de tierras fértiles es enorme. Con los datos de producción de 2008 [15] tenemos 36 millones de hectáreas para 0,305 Gbarriles equivalentes de petróleo, es decir, un rendimiento actual de 118 millones de hectáreas por Gbarril de petróleo equivalente.

Con estos rendimientos, sustituir todo el petróleo actualmente consumido requeriría 3.540 millones de hectáreas, que representan un 232% de las tierras arables del planeta. Incluso si los rendimientos se triplicaran (lo que no es sencillo porque actualmente se están cultivando en las mejores tierras y el rendimiento de la fotosíntesis es bajo) la cantidad de tierras que necesitaríamos utilizar está fuera de toda lógica. Ya estamos viendo que la introducción de los agrocombustibles está teniendo nefastas consecuencias sobre la deforestación de selvas y la producción de alimentos, a pesar de que actualmente no llegan a sustituir al 3% del petróleo usado para transporte.

La Agencia Internacional de la Energía propone en su escenario 450 Escenario [4], un incremento de producción de biocombustibles de los actuales 1,1 millones de barriles/día en 2009 a 8,1 millones en 2035 (de 0,433 Gb/año a 3,18 Gb/año). Hemos tomado este dato para las políticas de biocombustibles que aplicamos al modelo, aunque es cuestionable que esto

FIGURA 1: COMPARACIÓN DE ESTIMACIONES DE EXTRACCIÓN DE PETRÓLEO



Resumen de las curvas de extracción máxima de petróleo de diversos autores comparadas con los datos históricos. FUENTE [13].

se pueda considerar sostenible o incluso realista.

El vehículo eléctrico

El uso de vehículos eléctricos e híbridos es otra de las posibles formas de sustitución del petróleo. Una de las limitaciones del vehículo eléctrico es su escasa capacidad de acumulación de energía: 15 veces menor almacenamiento que los combustibles líquidos actuales [16], teniendo en cuenta la mayor eficiencia del motor eléctrico y la tecnología de baterías que se puede esperar en la próxima década. Debido a ello solo son sustituibles por vehículos puramente eléctricos los de menor tonelaje. Como el consumo de vehículos pesados requiere prácticamente la mitad del petróleo destinado a transporte, solamente un

30% del consumo mundial de petróleo podría ser sustituido de esta forma.

Sin embargo, el vehículo eléctrico no está tan limitado como los biocombustibles. Si comparamos las necesidades de energía de vehículos eléctricos y de gasolina de igual peso y potencia, algunos trabajos [17] dan una relación de 1:3 favorable al eléctrico (*tank to wheel*). Además, alimentarlo no requiere tanto terreno, ya que el espacio que requeriría un vehículo eléctrico que usara la electricidad de un panel fotovoltaico es casi 50 veces menor que la tierra fértil necesaria para abastecer a un vehículo de explosión con los agrocombustibles actuales.

Otro de los límites que es necesario tener en cuenta a la hora de estudiar el coche eléctrico son los materiales. Las



1. Estamos en el ocaso de la era del petróleo.
2. Los biocombustibles no pueden sustituir de forma masiva nuestro consumo actual de petróleo.
3. Hay muchas dudas de la factibilidad de sustituir todo el parque móvil actual con vehículos eléctricos.



baterías que actualmente parecen más prometedoras son las de ion litio y, si descontamos el litio que se necesitaría para otras aplicaciones y suponemos que se realiza un reciclaje casi total del mismo, las reservas de litio actualmente conocidas permitirían un parque de entre 130 y 400 millones de vehículos (frente a los 800 del actual), aunque también es posible que el número sea mayor si se desarrollan baterías de otro tipo o si se opta por vehículos más ligeros como las motos o bicicletas eléctricas.

En todo caso, dadas las características de velocidad y autonomía del coche eléctrico, no hay que descartar que asistamos a un cierto *efecto rebote* en su consumo. Existe un riesgo importante de que su utilización se convierta en un complemento (más que en un sustituto) del coche convencional, para el uso urbano, en aquellos casos en los que ya se disponga de un vehículo convencional (que se sigue manteniendo), incrementándose así los costes ambientales totales.

La Agencia Internacional de la Energía (AIE) propone un escenario "Blue EV success" [18] que prevé un 57% de los vehículos ligeros del parque mundial eléctricos para 2050, un 37% híbridos y un 5,7% de explosión. Hemos adoptado esta propuesta en el modelo ya que es la más favorable desde el punto de vista de sustitución del petróleo de las que propone la AIE.

La electricidad renovable

La sustitución de la electricidad generada con combustibles fósiles es posible a base de tecnologías renovables ya disponibles. En nuestro modelo hemos supuesto que la energía hidroeléctrica puede llegar a

Sustituir el petróleo que consumimos por agrocombustibles requiere el 232% de las tierras arables del planeta

Las reservas de litio conocidas permitirían fabricar menos de la mitad de los automóviles actuales

El problema energético más urgente es el derivado del petróleo, no la generación de electricidad renovable

La ilusión de seguir creciendo a base de sustituir energías fósiles por renovables debe ser abandonada

doblar en 2050 y las nuevas renovables (eólica, solar fotovoltaica y termoeléctrica) pueden crecer a ritmos de un 8-12% anual (en décadas pasadas han crecido a ratios cercanos al 30%). Por simplicidad, el crecimiento de las renovables se hace independiente de la demanda y damos prioridad a las renovables en el consumo frente a las no renovables.

Los límites físicos a la implantación de estas energías renovables los establecemos en 2,7 TW de potencia media anual (no potencia instalada) sobre la base de los trabajos de De Castro [19 y 20]. La intermitencia de la energía renovable dificulta su implantación y necesita infraestructuras

adicionales; sin embargo, en este estudio no hemos abordado este problema, dejándolo para futuros modelos.

¿Podemos continuar creciendo?

Vamos a ver cómo se comporta el modelo si intentamos continuar con el crecimiento económico sin cambiar la relación energía-economía de pasadas décadas (escenario *business as usual*) y proponiendo las políticas optimistas de evolución de los biocombustibles y el vehículo eléctrico que hemos descrito anteriormente. Hemos considerado para la oferta futura de petróleo la previsión de Uppsala, que prevé un estancamiento de la producción hasta 2030 y es, por tanto, una previsión que podemos considerar optimista.

En la figura 2 se ve la demanda (línea 3) de este escenario, la oferta máxima de petróleo según la estimación de Uppsala (línea 1) y la cantidad total equivalente de petróleo que podría ponerse en el mercado si sumamos a la extracción máxima de petróleo los biocombustibles, y el petróleo que se ha dejado de consumir con los vehículos eléctricos e híbridos (línea 2). Podemos ver que la demanda es mucho mayor que la oferta total de petróleo más sustitutos (de hecho, lo está siendo ya, puesto que el consumo es menor del esperado según las tendencias de décadas pasadas). Este escenario de crecimiento económico es, por tanto, imposible. Incluso utilizando las políticas más optimistas de sustitución del petróleo por biocombustibles y vehículos eléctricos que proponen las agencias internacionales, no es posible continuar con el crecimiento económico y los patrones de consumo de décadas pasadas.

El pico del petróleo marca un claro



1

1. Salar de Uyuni, en Bolivia, la principal reserva mundial de litio.

2. La electricidad renovable solo puede atender nuestras necesidades futuras en un escenario de decrecimiento del consumo.



2

punto de ruptura en la economía mundial que, o bien debe independizarse del petróleo de forma abrupta y aumentar su eficiencia mucho más de lo que ha hecho en décadas pasadas, o bien debe resignarse al decrecimiento; y lo marca ya, esta misma década (o lo está marcando desde 2005).

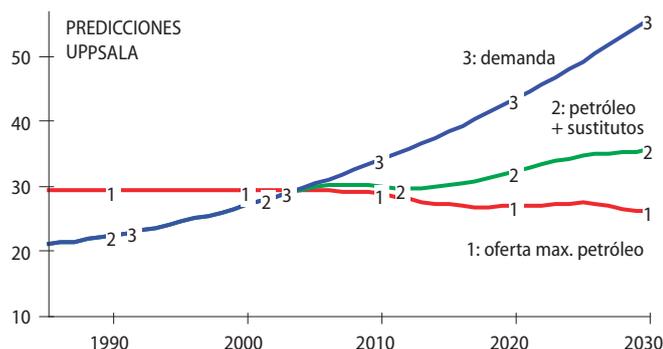
Los resultados del panorama eléctrico se pueden ver en la figura 3, en la cual se ve que la demanda se puede cubrir hasta 2020, pero a partir de ese momento se alcanza el techo máximo de extracción de energía eléctrica no renovable (debido a los picos de gas, carbón y uranio). La energía necesaria para poner en marcha las infraestructuras de generación de energía renovable (derivada de su tasa de retorno energético que hemos establecido en 8) no se ha dibujado en la figura, pero es despreciable. Se puede ver que el panorama de la electricidad es mucho menos preocupante que el del petróleo. El principal problema energético en estos momentos es el derivado del petróleo, la generación de electricidad renovable es un problema a más largo plazo.

Escenario de decrecimiento

Vamos a proponer un segundo escenario en el cual oferta y demanda de petróleo coincidan. Para ello proponemos un decrecimiento económico cercano al estancamiento (-0,2%). En la figura 4 se puede ver que oferta y demanda de petróleo coinciden aproximadamente. También se puede ver que en este escenario la cantidad total de petróleo más sustitutos es menor que en el anterior, ya que, al ser menor el crecimiento económico, también es menor la cantidad de vehículos eléctricos introducidos.

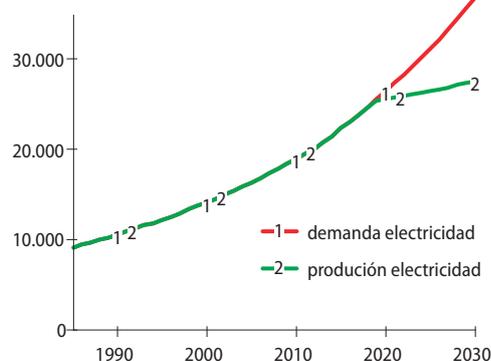
Si sobre este escenario suponemos un crecimiento de la electricidad renovable de un 12% anual y alargamos el horizonte temporal hasta 2050, obtenemos los resultados de la figura 5. Se puede ver que la demanda de electricidad se puede cubrir y, dado que la economía decrece, el aumento de la demanda eléctrica es moderado y se debe únicamente a la introducción del vehículo eléctrico. Por otra parte (fig. 5 dcha.), se puede ver que el crecimiento de las energías renovables que hemos introducido (12% anual) es suficiente para que en 2050 el 100% de la demanda eléctrica sea cubierta con energías renovables y, como hemos supuesto que la electricidad renovable tiene prioridad sobre la no renovable, este aumento del 12% junto con la moderación de la demanda, permite que se deje de consumir carbón, gas y uranio mucho antes de llegar a sus techos de extracción.

FIGURA 2. PETRÓLEO. ESCENARIO BUSINESS AS USUAL



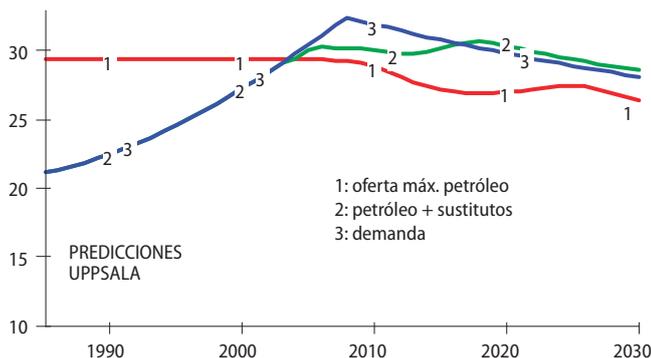
El crecimiento económico y la relación petróleo-economía siguen igual que en las décadas pasadas. La línea 2 corresponde a la cantidad equivalente de petróleo que podría ponerse en el mercado si sumamos a la extracción máxima de petróleo los biocombustibles y el petróleo equivalente que se ha dejado de consumir con los vehículos eléctricos e híbridos. Todas las cantidades en Giga barriles equivalentes de petróleo al año.

FIGURA 3. ELECTRICIDAD. ESCENARIO BUSINESS AS USUAL



El crecimiento económico y los patrones de consumo siguen igual que en las décadas pasadas. Todas las cantidades en TWh al año.

FIGURA 4. PETRÓLEO. ESCENARIO DE DECRECIMIENTO



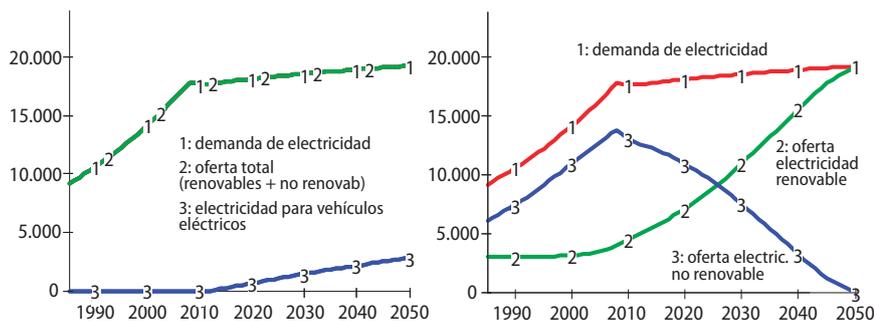
Decrecimiento económico del 0,2% con patrones de consumo igual que en las décadas pasadas. Todas las cantidades en Giga barriles equivalentes de petróleo al año.

En la figura 5 (izquierda) se puede ver que el incremento del consumo que ha supuesto la introducción de los vehículos eléctricos (línea 3) es apreciable, pero no desmesurado.

Este segundo escenario de decrecimiento podríamos interpretarlo de formas muy diferentes según cómo pensemos que se puede comportar la sociedad.

Podríamos pensar que si el crecimiento económico se detiene por el pico del petróleo y la demanda de electricidad se estanca, un crecimiento moderado de las energías renovables sería suficiente para cubrir la demanda e incluso para abandonar carbón, gas y uranio antes de sus techos de extracción. Esto serían buenas noticias desde el punto de vista ambiental

FIGURA 5: ELECTRICIDAD. ESCENARIO DE DECRECIMIENTO



Decrecimiento económico del 0,2%, los patrones de consumo siguen igual que en las décadas pasadas. Vehículo eléctrico y biocombustibles con políticas altas. Crecimiento moderado de la energía renovable (12%). Todas las cantidades en TWh al año.

y también podrían serlo desde el punto de vista humano, si la sociedad fuera capaz de adaptarse a este decrecimiento con un nuevo sistema económico que permitiera mantener el bienestar social sin crecer.

Pero este segundo escenario también se puede interpretar en clave negativa y hablar de una sociedad que intenta seguir creciendo sin conseguirlo y el resultado es el decrecimiento de las poblaciones más débiles y los países más dependientes, mientras otros siguen creciendo, al menos durante un tiempo. Además, es previsible que entre 2010 y 2020 se deje de invertir en energías renovables debido a la crisis económica y a que todavía queda carbón, gas y uranio, de forma que unos años más tarde el pico de la electricidad causaría una crisis todavía mayor. También es previsible que los biocombustibles aceleren su producción causando más deforestación y hambrunas, y se recurra al carbón para compensar el petróleo, de forma que las emisiones no solo no disminuyan sino que aumenten.

Conclusiones

Un modelo no es un oráculo y siempre es una simplificación de la realidad. Además hay algunos aspectos que no se han introducido, ya que nos hemos centrado en la electricidad y en la sustitución del petróleo en el transporte. Sin embargo este modelo nos sirve para hacernos una idea de la urgencia y magnitud del

problema energético y para concluir que el pico del petróleo va a suponer un reto que va a hacer prácticamente imposible continuar con el crecimiento económico de décadas pasadas.

Ni los biocombustibles ni los vehículos eléctricos ofrecen en la actualidad soluciones satisfactorias para sustituir al petróleo; pero, mientras se puede pensar en una movilidad sostenible basada en una flota moderada de pequeños vehículos eléctricos, los biocombustibles no pueden ser sino una solución para usos muy limitados. Es preciso cuestionarse si el movimiento ecologista debería pedir que se pongan límites a de este tipo de combustibles.

El modelo también muestra que el discurso tecno-optimista, que habla de continuar con el crecimiento económico a base de sustituir las energías fósiles por renovables, debe ser completamente abandonado. La crisis energética va a requerir soluciones que aborden todos los aspectos de la sociedad en conjunto: transporte, urbanismo, economía, infraestructuras, vivienda, etc. Una vez más nos encontramos con que las dos recomendaciones que hicieron los autores de los primeros estudios sobre los límites del crecimiento siguen siendo de vital importancia: es preciso llegar a un crecimiento cero, porque el crecimiento hace imposible cualquier solución, y necesitamos soluciones sistémicas no únicamente tecnológicas. 🌱

Referencias y notas:

1. Para más detalles se puede consultar: http://www.eis.uva.es/energiasostenible/wp-content/uploads/2012/02/modelo_marco_es5_alblog.pdf
2. ASPO, 2009. *ASPO Newsletter* no 100. April 2009. <http://www.aspo-ireland.org/www.aspo-ireland.org>
3. Skrebowski, C. 2010 *The Oil Crunch. A wake-up call for the UK economy*. Industry Taskforce on Peak Oil & Energy Security (ITPOES) Feb. 2010.
4. WEO 2010, *World Energy Outlook*, International Energy Agency.
5. Höök, M. 2009, *Depletion and Decline Curve Analysis in Crude Oil Production*, Licentiate thesis Mikael Höök Global Energy Systems Department for Physics and Astronomy, Uppsala University, May 2009.
6. EWG 2008, *Energy Watch Group report 2008: Crude Oil: The Supply Outlook*.
7. Laherrère, J., 2006. *Oil and gas: what future?* Groningen annual Energy Convention 21 Nov. 2006.
8. Mohr, S. and Evans, G. 2011. Long term forecasting of natural gas production. *Energy Policy*, 39(2011), 5550-5560.
9. EWG 2007, *Energy Watch Group report. Coal: resources and future production. EWG-Paper No. 1/2007*.
10. Patzek, T. and Croft 2010, G. A global coal production forecast with multi-Hubbert cycle analysis. *Energy* 35 (2010) 3109-3122.
11. Mohr, S. and Evans, G. 2009 Forecasting coal production until 2100. *Fuel* 88 (2009) 2059-2067.
12. EWG 2006, *Energy Watch Group report 2006. Uranium resources and nuclear energy. EWG-Series No 1/2006*.
13. BP *Statistical Review of World Energy* 2011. <http://www.bp.com/statisticalreview>
14. Carpintero, O. (2006): "Biocombustibles y uso energético de la biomasa: un análisis crítico", *Ecologista*, nº 49. <http://www.ecologistasenaccion.org/articulo18508.html>
15. UNEP 2009. *Towards sustainable production and use of resources: assessing biofuels*. 2009. www.unep.fr
16. FTF 2011. *Future Transport Fuels. Report of the European Expert Group on Future Transport Fuels*, January 2011.
17. EABEV 2008. European Association for battery electric vehicles. *Energy consumption, CO₂ emissions and other considerations related to Battery Electric Vehicles*, 2008, www.going-electric.org.
18. IEA 2009, International Energy Agency. *Transport, energy and CO₂, moving toward sustainability*.
19. De Castro, C., Mediavilla, M., Miguel, L.J., Frechoso, F. 2011. Global wind power potential: Physical and technological limits. *Energy Policy*, Vol. 39, Issue 10, 6677-6682, October 2011.
20. De Castro, C. 2012. *Global solar electric power potential: technical and ecological limits*. <http://www.eis.uva.es/energiasostenible>

RAZONES PARA SUSCRIBIRTE A DIAGONAL

~~5€~~ **40€** SUSCRIPCIÓN ANUAL

~~3€~~ **20€** SUSCRIPCIÓN SEMESTRAL

DIAGONAL es un medio de comunicación sin jefes, corporaciones ni partidos políticos detrás. DIAGONAL no acepta publicidad de grandes empresas. Este periódico es posible gracias a las miles de personas que con su suscripción apoyan el proyecto.

Porque el periódico DIAGONAL da cobertura a la realidad de los movimientos sociales. MIREIA GRAZALEMA PUÇOL (VALENCIA)

