

Apéndice 2

Ciudad y energía: las grandes ciudades, origen del desastre energético y medioambiental

*Valeriano Ruiz**

Introducción. El problema principal: exceso de CO₂ en la atmósfera

Si analizamos con un poco de perspectiva el problema principal que tiene planteado el ser humano que vive sobre el planeta Tierra, se llega rápidamente a una conclusión evidente:

«El equilibrio natural del ciclo del carbono se ha roto en el sentido de que el carbono se encuentra en mayor cantidad en el CO₂ que en forma de carbón acumulado en plantas o en seres vivos de todo tipo.»

Esto ha ocurrido como consecuencia de un exceso de combustiones de carbono fósil (carbón mineral, petróleo y gas natural) almacenado durante millones de años en el interior del planeta y de una disminución radical del único proceso de captación del CO₂ producido, es decir, de la fotosíntesis en los bosques, que han disminuido a aproximadamente la mitad de los existentes cuando el hombre apareció sobre la Tierra. Los seres humanos hemos dividido por dos la cantidad de bosques en la superficie terrestre. No conozco en detalle el fenómeno de fotosíntesis en los océanos ni la cantidad de fitoplancton inicial y actual, pero puedo admitir que el intercambio de CO₂ y almacenamiento de carbono en los vegetales que viven en las aguas no se ha modificado

* Catedrático de Termodinámica de la Escuela Superior de Ingenieros de la Universidad de Sevilla.

sustancialmente a lo largo de la historia de la humanidad. Por tanto, los principales responsables del desequilibrio actual son los dos fenómenos citados:

- a) Disminución de los bosques hasta la mitad de su cantidad inicial.
- b) Exceso de combustiones de carbón fósil en muy poco tiempo.

Estos procesos, ni automáticos ni coincidentes en el espacio y el tiempo, pero que ocurren en sentidos contrarios (aumento de las combustiones y disminución de los bosques), conducen a un aumento desordenado de la cantidad de CO₂ (y de otros gases de efecto invernadero) en la atmósfera, lo que da lugar al gravísimo efecto conocido como «calentamiento global», consecuencia de la modificación del efecto invernadero que la selectividad transmisiva de la atmósfera ocasiona sobre la superficie del planeta.

La solución evidente a este problema de carácter global e histórico es clara:

- No continuar con el exceso de combustiones de productos con carbono fósil.
- Disminuir el exceso de CO₂ en la atmósfera con la mayor rapidez posible para restituir el equilibrio perdido.

Lo malo es que tanto una solución como la otra no son fáciles de aplicar y, menos aún, dan resultados inmediatos. Eso sí, no queda más remedio que empezar a aplicarlas en serio porque si no, no hay salida a la situación. A corto o a medio plazo la vida no será posible sobre nuestro planeta. Además los procesos negativos tienen una fuerte inercia que hace que la degradación no se pueda parar cuando los seres humanos queramos.

En este contexto conceptual es en el que quiero enmarcar mis comentarios sobre la energía y su relación con la ciudad, sobre todo las grandes y muy grandes.

En primer lugar daré un repaso a la situación energética general de todo el mundo y la específica de España, para después proponer soluciones de largo y medio plazo con unas sugerencias para el corto plazo. Terminaré con unos comentarios sobre las ciudades desde el punto de vista energético y en relación a las propuestas realizadas.

El sistema energético actual

Se caracteriza, sobre todo, por su ineficiencia, insolidaridad y efectos contaminantes, consecuencia todo ello de la irresponsabilidad de los seres humanos en relación con su entorno, en el cual incluyo a otros seres humanos.

El sistema energético al que hemos llegado es consecuencia de la búsqueda de mejoras en el nivel de vida de los seres humanos y de los avances tecnológicos que nos han permitido conseguirlas, con resultados espectaculares que hoy disfrutamos algunos. Sólo hay que pensar en la electricidad, los transportes o las telecomunicaciones con efectos tan positivos en la salud y en la calidad de vida en general de algunos seres humanos privilegiados. Porque, ya de inicio, hay que decir que no todos los humanos nos beneficiamos de igual manera de estos avances.

¿Cómo funciona el sistema energético actual?

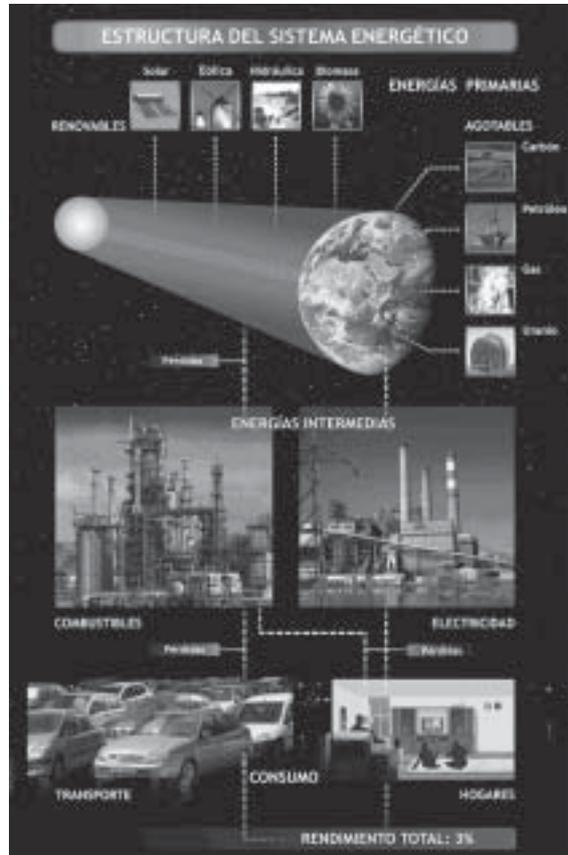
En líneas muy generales, de la siguiente manera:

Cuando un ser humano quiere satisfacer un servicio energético determinado; por ejemplo, desplazarse rápida y cómodamente de un lugar a otro, iluminar su casa por la noche (y por el día), conservar alimentos mediante frío, calentar el agua de la ducha o el aire de su vivienda, y un largo etc., va al «mercado» y compra electricidad y combustibles, y con ellos, aplicados a determinados dispositivos (coches, frigoríficos, calentadores, luminarias, etc.), consigue los efectos energéticos deseados (cambio de energía cinética y potencial para los desplazamientos, calor intercambiado con el ambiente en un sentido o en el contrario, radiación luminosa, etc.) que hacen más agradable y cómoda su vida.

Esas formas intermedias de energía (electricidad y combustibles) que se encuentran en el mercado (en ciertos países, no en todos) es necesario «producirlas»¹ en instalaciones construidas al efecto, sobre todo centrales eléctricas y refinerías de petróleo. En ellas, mediante el consumo de las correspondientes materias primas de carácter energético (carbón, petróleo, gas natural, uranio) y unos procesos energéticos determinados (en máquinas térmicas y torres de destilación principalmente) se obtienen los productos comerciales deseados (electricidad, gasolina, gasóleo, gas, etc.) que se ponen a la venta para obtener los beneficios correspondientes.

Evidentemente, las materias primas energéticas no siempre se encuentran en el mismo lugar donde luego se consumen las energías interme-

Figura 1. Esquema del sistema energético actual



dias producidas. De hecho, en la mayor parte de los casos, se encuentran bastante alejadas, y eso da lugar a los transportes correspondientes, desde las fuentes de las materias primas hasta los centros de transformación, y desde éstos hasta los lugares de consumo de las fuentes intermedias.

En todos estos procesos hay pérdidas y llevan consigo una fuerte contaminación. En concreto y para fijar ideas, los grandes números del sistema energético mundial, con datos extraídos de las fuentes de información más fiables (Agencia Internacional de la Energía, Eurostat, etc.),² son los siguientes:

- *Consumo de energía primaria:* 11,7 Gtep (giga toneladas equivalentes de petróleo) en el año 2004 (82% agotables y 18% renovables).
- *Consumo de electricidad:* 1,5 Gtep (81,8% generada en centrales termoeléctricas y el resto en centrales hidráulicas y recientemente en eólicas, de biomasa y solares).
- *Consumo de combustibles:* 6 Gtep (la mayor parte en forma de combustibles procedentes del petróleo (5 Gtep) pero 1 Gtep de biomasa).
- *Rendimiento global del sistema:* < 3%, entendido este rendimiento como el cociente entre los efectos energéticos realmente obtenidos (calor, frío, desplazamientos, etc.) dividido por la energía primaria consumida.³

En España estos números son más seguros y fáciles de obtener por los buenos datos que proporciona el Ministerio de Industria, Turismo y Comercio.

- *Consumo de energía primaria:* 146 Mtep (millones de toneladas equivalentes de petróleo) en el año 2004 (94% agotables y 6% renovables). Lo peor es que más del 90% hay que comprarlas en el exterior.
- *Consumo de electricidad:* 20 Mtep (80% generada en centrales termoeléctricas y el resto en centrales hidráulicas y recientemente en eólicas).
- *Consumo de combustibles:* 80,8 Mtep (la mayor parte en forma de combustibles procedentes del petróleo).
- El rendimiento final del sistema energético español es similar al general de todo el mundo.

Por supuesto, la diferencia entre la cantidad de energía primaria utilizada y las intermedias conseguidas por el sistema (4,2 Gtep en el mundo y 45,2 Mtep en España) son pérdidas en el proceso de obtención de esas fuentes comerciales que he llamado intermedias.

La explicación de la interacción del sistema energético con el ambiente se puede simplificar con el conocimiento de la cantidad de gases de efecto invernadero que se emiten a la atmósfera desequilibrando el natural «efecto invernadero», que hace que la superficie terrestre mantenga temperaturas medias del orden de 15 °C, y que hace posible y agradable la vida de los seres vivos sobre la Tierra. La selectividad transmisiva origen del efecto invernadero se ve alterada por la desordenada cantidad (> 26,5 Gt de CO₂ equivalente en el año 2004) que ha

dado lugar a una variación de la composición en CO₂ de 280 ppm (partes por millón) en la época anterior a la revolución industrial a 400 ppm en el año 2006. En estos días los expertos del IPCC han certificado el origen humano de esta modificación y de sus consecuencias sobre el clima que hemos dado en llamar *cambio climático*. Estos efectos globales son acompañados con fenómenos locales no menos preocupantes como la lluvia ácida, la desertificación, las inundaciones, huracanes y tornados y la imparable sequía en muchas como zonas del planeta.

En España tenemos graves *problemas medioambientales* como consecuencia del sistema energético tan desordenado que tenemos. El resumen de esta situación se concreta en 330 Mt_{CO2} (más de un 50% de aumento de GEIs (Gases de Efecto Invernadero) a partir del año de referencia (1990)) en el año 2004 cuando nuestro país se había comprometido a frenar su aumento y limitarse a un 15% de crecimiento en el año 2010. El origen de esta situación está en una estructura y unos precios del sistema energético que propician el consumo. En el colmo del escándalo, el sistema eléctrico (y el del gas natural) tiene «clientes especiales» que son los que más consumen y a los que les pone precios más bajos. Justo al revés de lo que habría que hacer si se quiere fomentar el ahorro y la eficiencia. Y todo en aras de una productividad y una competitividad cuya justicia⁴ y rentabilidad social son más que discutibles.

Pero la característica más escandalosa del sistema energético mundial es su insolidaridad y su injusticia. Un canadiense medio consume 17.200 kWh al año, mientras que un keniano sólo consume 140 kWh en ese mismo año (datos de 2004). Dividan una cifra por otra y verán. Como referencia para los españoles, nuestro consumo de electricidad por habitante es de 5.900 kWh/año en valor medio de todos los consumos. La media mundial está en aproximadamente 2.500 kWh/(persona/año).

Pero lo peor es que hay cerca de 2.000 millones de seres humanos que no consumen nada de electricidad porque no tienen disponibilidad de esa forma energética de alta calidad y, si la tuvieran, no podrían pagarla. Y en muchos casos la electricidad que consumen otros se genera con sus recursos y deteriorando sus territorios y las redes eléctricas pasan por encima de sus cabezas.

En España también se dan esas circunstancias de insolidaridad y de injusticia, aunque desde luego no de forma tan dramática. En concreto, un madrileño medio consume 3.714 kWh/año, mientras que un extremeño «sólo» consume 2.260 kWh/habitante en el mismo año (1999).⁵ Pero lo más grave es que en Extremadura se produjeron 15.926

kWh/habitante en el año 1999 y en Madrid, 204 kWh/año (78 veces menos). Por supuesto que no estoy ni siquiera sugiriendo que todo el mundo tiene que consumir lo mismo y producir las mismas cantidades. Pero entre ese extremo y la realidad actual hay una gran distancia. Resulta escandaloso que con esos datos, en Madrid (y en otros sitios) se den situaciones de intolerancia hacia las instalaciones eléctricas. Sería bueno que hubiera mayores niveles de reflexión ciudadana sobre estos asuntos y se actuara en consecuencia.

Últimamente se está produciendo una situación, cuanto al menos, extraña y confusa. Se habla de *derechos de emisión, asignación de emisiones* y conceptos similares que, aunque justificados por razones operativas, no dejan de generar confusión. ¿Cómo se puede hablar de derecho en referencia a las emisiones? ¿No sería mejor llamarle emisiones permitidas o autorizadas? Es obvio que esta situación se ha producido como consecuencia de la aplicación de una directiva europea sobre «comercio de emisiones», que ha dado lugar a un primer paso en la valoración económica de las externalidades del sistema energético, y que el proceso no ha hecho más que empezar. En cualquier caso, el haber empezado el proceso ya es importante y meritorio, pero no hubiera estado mal llamar a las cosas por su nombre.

Lo peor del asunto es que algunos extienden el concepto de asignación a los territorios (en vez de a las empresas o a las personas), y así resulta que Almería (así, en general) contamina más que Sevilla, por ejemplo. Y todo porque en la provincia de Almería está ubicada una central térmica de carbón que, efectivamente, emite grandes cantidades de GEI, y en Sevilla no hay ninguna central térmica.⁶ Cuando en realidad debería ser al revés, porque se consume más electricidad en Sevilla que en Almería. El planteamiento correcto es claro y debería empezar a ponerse en marcha: hay que asignar las emisiones (y hacérselas pagar) al que las origina con su consumo y tener en cuenta que el hecho de que las instalaciones generadoras de la contaminación ambiental esté en un lugar no es responsabilidad de sus habitantes, más bien las sufren.

Sistema energético del futuro

A largo plazo el sistema energético tiene que ser muy diferente que el actual, sobre todo por dos razones fundamentales:

1. No se podrán emplear combustibles fósiles ni uranio, y no sólo por su impacto ambiental negativo, sino porque no existirán recursos

- que consumir o será muy caro conseguirlos. Si acaso puede quedar algo de carbón cuya utilización habrá sido modificada sustancialmente para hacerla más limpia.
2. Habrá más seres humanos y todos querrán consumir lo suficiente para tener un alto nivel de vida. Y no parece que los que antes hemos hecho lo mismo tengamos razones éticas para negarles el derecho.

El primer asunto de importancia de cara al sistema energético del futuro es que el consumo se realice de manera eficiente y sensata y no como ahora lo hacemos. Veamos casos concretos con los que se puede ejemplificar lo que digo.

Para calentar el agua necesaria en una vivienda, un hotel o un hospital basta con una instalación de energía solar térmica convenientemente dimensionada y realizada. Es evidente que en este caso, desde la fuente energética primaria elegida —el sol— se obtiene directamente el servicio requerido, calentar el agua. No es necesario generar energías intermedias. El proceso es más eficiente.

Figura 2. **Instalación fotovoltaica en un hotel en Málaga.**



La electricidad que consumimos en nuestras casas, oficinas y otros sectores puede ser generada por módulos fotovoltaicos adecuadamente situados en el edificio y con el sistema de almacenamiento que cubre la diferencia horaria entre la oferta y la demanda. Hoy por hoy sólo pensamos en baterías electroquímicas, pero en el futuro serán operativos otros sistemas de almacenamiento, casi siempre en forma de energía química, ya que la electricidad no se puede acumular en cantidades significativas. Sobre todo es en forma de hidrógeno y con la utilización de pilas de combustible en lo que hay que pensar en un plazo relativamente corto. Al día de hoy no se funciona así en una cierta deformación del planteamiento más lógico enunciado antes. Claro que la situación actual de instalaciones fotovoltaicas para conectar a la red general también tiene sus ventajas.

Pero, en los edificios hay un aspecto energético que considerar y que nunca se debe olvidar. Me refiero a la edificación en sí misma, que debe ir teniendo en cuenta criterios energéticos. Es lo que se conoce como arquitectura bioclimática y que yo prefiero llamar arquitectura energética. En cualquier caso, se trata que diseñar y construir los edificios de tal manera que el consumo de energía para mantener condiciones de confort deseables sea el mínimo posible. Para cualquier arquitecto bien formado no es difícil incorporarse a esta forma de diseñar y construir edificios. En el futuro sólo se debería construir bajo estos criterios.

El sector de consumo más complicado es, sin duda, el del transporte, aunque pienso que no debería serlo. En primer lugar me parece que no son necesarios tantos desplazamientos si se cambian los hábitos de vida. Por ejemplo, aumentando el teletrabajo desde la propia vivienda del trabajador o desde oficinas preparadas «ad hoc», a las que se puede acceder andando o en bicicleta. Ya hoy sería posible ese cambio de forma de trabajar en muchos casos y supongo que, en poco tiempo, se pondrá en marcha.

Otra posibilidad evidente es disminuir el tamaño y peso de los vehículos en particular, acercando el tamaño y peso al de lo transportado. Los ciudadanos ya están empezando a usar motocicletas para sus desplazamientos diarios al centro de las ciudades —como consecuencia de los atascos, no por convencimientos medioambientales o energéticos— aprovechando una medida del gobierno muy sencilla que permite que las personas que tienen carnet de conducir de coches puedan conducir sin nuevo carnet motocicletas de menos de 125 cm³.

Finalmente el cambio de carburantes. La sustitución de carburantes derivados del petróleo por biocarburos (biodiesel y bioetanol) está

tomando importancia impulsada por iniciativas políticas de la UE y seguida por algunos estados europeos. La experiencia de Brasil con el bioetanol obtenido de la caña de azúcar está siendo un buen referente en este terreno, con muy buenos resultados. A largo plazo no estoy seguro de cuál será el final pero lo que es indudable es que no se puede seguir como hasta ahora.

Transición

Es evidente que las cosas no van a cambiar de la noche a la mañana. Ni siquiera si fueran muchos los convencidos. Es necesario un proceso de cambio que tiene que empezar ya y que, según mi opinión, ya lo ha hecho, aunque con mucha timidez y con un ritmo insuficiente.

Veamos ahora cómo creo que debe producirse esa transición y cómo se está produciendo. Aunque no de manera exhaustiva por falta de espacio.

Creo que debe ser un proceso paulatino y sostenido que haga compatible la situación actual con la del futuro. Haré la descripción empezando por el consumo, continuando por las energías intermedias y terminando por las fuentes primarias de energía (figura 1).

Consumo

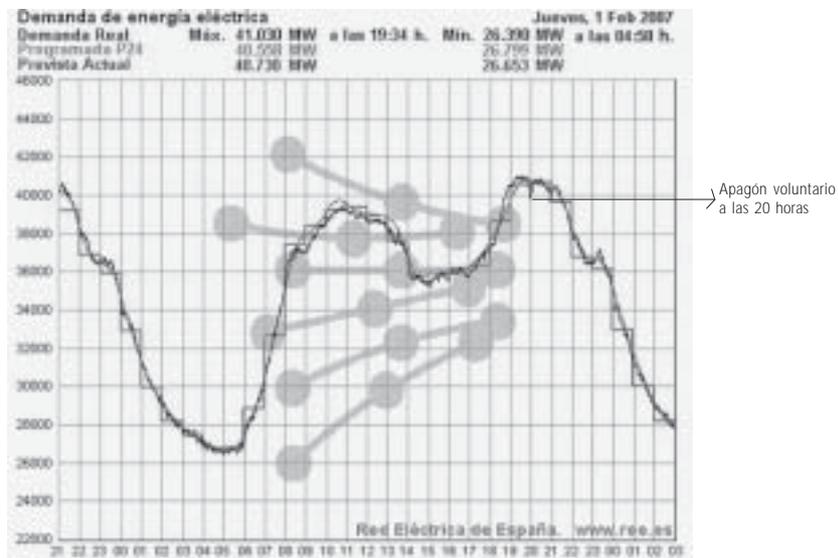
Sobre todo hay que pensar en la eficiencia de los dispositivos y en la autocontención en los derroches. No es difícil, sólo es necesario ser conscientes y responsables. De hecho, los dispositivos de consumo son cada vez más eficientes energéticamente y los programas oficiales como la E4 (Estrategia Española de Eficiencia Energética) contribuyen positivamente a conseguir el objetivo de consumir sólo lo necesario. Sobre todo falta mucha concienciación por parte de los consumidores, para lo cual hay medios más que adecuados, pero hay que emplearlos masivamente como se ha hecho con otras cuestiones.

Control y gestión de los servicios energéticos

Dentro de los comentarios dedicados al consumo y en el sentido de que debe ir evolucionando hacia comportamientos más responsables, hay un aspecto sumamente sugerente. Me refiero a la correcta gestión y control de los servicios energéticos, en un doble sentido:

- En una primera etapa ir modificando la «curva de consumos» ajustándola a las posibilidades de la generación. En particular disminuir los consumos de las «horas punta» en beneficio de los consumos en las «horas valle». La curva típica de consumo eléctrico que nos ofrece Red Eléctrica Española (REE) «en línea», en su página web (www.ree.es) (figura 3) es perfectamente ilustrativa de lo que quiero decir. Se trata de desviar consumos de los períodos de alto valor —en España, entre las 8-9, a 13-14, y de las 18h a las 22h— a las horas de bajo consumo (en España, de las 0 horas a las 8 horas), como puede observarse en el gráfico que, además, corresponde al día 1 de febrero, en el que puede observarse el «pico» negativo (en cuanto a consumo) producido por el «apagón» voluntario que produjeron muchos consumidores como llamada de atención al sector de generación y a las autoridades en el sentido de que «hay que hacer algo». La figura, además de explicar lo que significa «gestión de la demanda» (yo le he llamado «gestión de los servicios energéticos», pero el nombre es lo de menos), me sirve para demostrar gráficamente la importancia relativa y sobre todo simbólica de un gesto como el del pasado día 1 de febrero.

Figura 3. Curva de consumo eléctrico en España, el 1 de febrero de 2007



- En una etapa posterior hay que ir pensando en generar de acuerdo con la demanda de servicios energéticos. Es fácil aunque más complejo que el sistema actual. Con la electrónica e informática de que se dispone hoy en día no debería resultar difícil. Pensemos que las centrales electro-solares (térmicas y fotovoltaicas) generan principalmente a las horas centrales del día de acuerdo con una curva perfectamente parecida a la del consumo que se puede visualizar en la figura 5 (primera «joroba» centrada aproximadamente a mediodía). La segunda «punta» de consumo podría abastecerse con centrales de biomasa o de alguna otra forma energética acumulable. Es obvio que una misma central, en su parte convencional de potencia, podría ser activada a unas horas con solar y a otras con biomasa. Es el modelo que vengo defendiendo desde hace años y que entraría en el concepto de «sistemas híbridos». Es evidente que esta idea se puede aplicar también, en la transición a la que me refiero, con energía solar y con gas natural⁷ y, por supuesto, con biomasa y carbón (la llamada recientemente co-combustión) y todas las hibridaciones que se nos ocurran y sean viables.

Energías intermedias

Lo que hay que hacer en este terreno está aún más claro. Otra cosa es que sea fácil de hacer y que se haga, porque depende mucho de decisiones administrativas y legislativas y de su aceptación por parte de las empresas y de los mismos usuarios. De hecho, algo se está proponiendo ya desde los poderes públicos, tanto el gobierno central como los de algunas autonomías, decisiones impulsadas en muchos casos por directivas de la UE. Aún así, el ritmo de cambio es todavía muy lento. Veamos a qué me refiero.

En el *sistema eléctrico* es imprescindible cambiar la dinámica de seguir construyendo grandes centrales termoeléctricas, sean del tipo⁸ que sean, a una potenciación de la generación distribuida incluyendo en ella las cogeneraciones auténticas⁹ y, por supuesto, la generación eléctrica a partir de energías renovables, por sí solas y en hibridación entre ellas y, en ciertos casos, incluso con gas natural, petróleo o carbón. El objetivo numérico global está ya establecido en las directivas europeas de potenciación de la generación de electricidad con energías renovables y transpuesta a la legislación española, que ha cifrado en un 29%¹⁰ la contribución de la electricidad renovable al sistema general. Por la parte que corresponde a la cogeneración no conozco en este momento el ob-

jetivo que se ha planteado el gobierno, pero creo que son fácilmente superables los 5.938 MW actuales. Por supuesto tendrían que potenciarse las microrredes integradas en sí mismas y conectadas con la red general actualmente existente.

Por lo que se refiere a los *combustibles*, la situación es algo similar a lo anterior en el sentido de que se necesita más decisión y atrevimiento por parte de las autoridades competentes. No basta con lo prometido, que, además, veremos si se cumple. Comentemos con un poco más de detalle.

Es indudable que hay que insistir en la sustitución paulatina de los carburantes de origen fósil por biocombustibles como se propugna en la directiva correspondiente de la UE y en la transposición en la legislación española hasta lograr el 5,75% en el año 2010, que es el objetivo aceptado. Al ser el objetivo tan poco ambicioso las medidas prácticas también lo son y además son tratadas con poca decisión, por lo cual ni se cumplirá el objetivo ni se avanzará suficientemente en lo más importante, la concienciación de todos en la necesidad del cambio de carburantes.

Otras medidas de gran importancia son la búsqueda de vehículos menos consumidores de energía y menos contaminantes y la regulación de la movilidad de los ciudadanos con criterios firmes de disminución de contaminación y de consumo de energías primarias de origen fósil.

Desde luego habría que seguir insistiendo en sistemas de transporte y movilidad colectivos y públicos. Incluso profundizando en nuevos dispositivos en el límite de la I+D, como vehículos basados en la superconductividad.

Fuentes primarias de energía

Para terminar esta parte casi exclusivamente dedicada a cuestiones energéticas haré unos comentarios sobre lo que creo que debe hacerse a corto y medio plazo para conseguir modificar sustancialmente el sistema energético insostenible que tenemos.

En todos los aspectos lo más urgente es ir prescindiendo de los combustibles fósiles en ambos subsistemas, el de combustibles y el eléctrico. El procedimiento que observo como más viable es la hibridación paulatina y constante en una primera fase, tanto con mezclas de carburantes de origen fósil y de origen biológico para los vehículos automóviles como de solar térmica de media y alta temperatura y gas natural en la generación de electricidad. Es obvio que en este último caso también cabe la hibridación con biomasa. Desde luego la generación

de electricidad con energía del viento me parece fundamental, en un sentido similar al de la hidroelectricidad.

Lo que está ocurriendo no es exactamente eso, aunque sí en parte. Es curioso que en los carburantes sí se está haciendo, repito que tímidamente, la mezcla de carburantes, es decir, una cierta hibridación.

En el sistema eléctrico, sin embargo, lo que está pasando, con bastante velocidad, es la introducción de energías renovables en el sistema general con casos verdaderamente espectaculares. La eólica está creciendo a un ritmo increíble, que ya llega a una potencia instalada en el mundo del orden de 74 GW a finales de 2006 con 48 GW en Europa. Todo el mundo sabe que en esta tecnología energética con esta fuente primaria renovable España está en el segundo lugar mundial con más de 11 GW sólo por detrás de Alemania, que tiene ya 20 GW.

Por lo que se refiere a la electricidad de origen solar hay dos grupos de tecnologías que emplean la radiación solar como fuente energética primaria. La más extendida y que crece a ritmos extraordinarios es la fotovoltaica, en la que los países líderes son Japón, Alemania y Estados Unidos. Por ahora, España no está en una buena situación, salvo en la fabricación de células y módulos con tres fabricantes de nivel mundial. En cualquier caso, la nueva situación de apoyo a las renovables en España que tuvieron su origen en el ya célebre Real Decreto 436/04 ha hecho que se despierte un auténtico furor fotovoltaico con propuestas de plantas de todo tipo y tamaño por una potencia total de más de 12.000 MW que, obviamente, no podrán realizarse, aunque sólo sea porque no hay capacidad de fabricación suficiente al día de hoy. La mayor fábrica en España, recién inaugurada por el rey Juan Carlos tiene una capacidad de fabricación de 100 MW al año.

El otro grupo de tecnologías electrosolares es la termosolar de media y alta temperatura que presenta una situación sugerente. En los años ochenta del siglo pasado se realizaron en Estados Unidos una serie de plantas de captadores cilindro parabólicos hasta completar los 350 MW que todavía siguen funcionando. Recientemente se ha despertado un gran interés en las grandes empresas energéticas de España por realizar plantas de este tipo, de momento en las dos tecnologías más conocidas: la de receptor central (de torre) y la de cilindro parabólicos, con propuestas firmes de más de 1.000 MW construidos en el año 2010.

En España tenemos la suerte de que nuestras empresas están en la vanguardia de estas tecnologías con varios proyectos en distintas fases de desarrollo. Los más avanzados son la PS10 (11 MW), realizada por la empresa SOLUCAR del grupo Abengoa (figura 4), que ya está instalando también la PS20 (20 MW).

Figura 4. La planta PS10, recién terminada por Solucar, en Sanlúcar la Mayor (Sevilla)



El otro proyecto ya en fase de construcción es el ANDASOL I del grupo ACS Cobra que también tiene el ANDASOL II en situación muy avanzada de permisos oficiales y financiación. Las demás empresas con proyectos están en posiciones muy avanzadas para la realización de sus objetivos en estas tecnologías solares. En algún caso estos proyectos son relativamente «conservadores» desde el punto de vista tecnológico, pero en otros son verdaderamente sugerentes.

No puedo olvidarme de la utilización de una tecnología solar relacionada, evidentemente, con la misma fuente energética renovable de la que vengo haciendo mención, el sol. Me refiero a las aplicaciones de baja temperatura de la transformación de la energía solar en energía térmica de un fluido (básicamente, agua) que se emplea sobre todo en el sector doméstico y en el hotelero y hospitalario. La reciente aprobación del Código Técnico de la Edificación que hace obligatorias las instalaciones solares térmicas de este tipo en todos los edificios de nueva construcción y en las rehabilitaciones importantes va a dar lugar a una explosión de instalaciones que corregirá la situación actual un poco extraña de nuestro país, con poco más de 700.000 m² de

captadores solares térmicos. Esta situación actual de España contrasta con la de Alemania que, con la mitad de radiación solar que nuestro país tiene más de 6 millones de m² de instalaciones. De todas formas, el país líder en el aprovechamiento de esta fuente energética es China, con más de 50 millones de m² y una industria que está inundando el mundo con sus captadores de vacío, tecnología con la que, por otra parte, no estoy demasiado de acuerdo, ya que tiene algunos fallos fundamentales. Mi opinión en este asunto es que hay muy buenos captadores planos «normales» en todos los países que los fabrican, incluido por supuesto España. Lo que importa realmente es la durabilidad y la fiabilidad de las instalaciones, de las que un elemento esencial es el captador, pero también importan los acumuladores y los demás elementos de las instalaciones, que deben tener la calidad necesaria para garantizar la durabilidad requerida que debe ser superior a los treinta años.

La otra forma energética renovable que debe fomentarse fuertemente, si se quiere avanzar en el sentido que estamos defendiendo aquí, es, sin lugar a dudas, la biomasa, por sí sola o en hibridación con otras formas energéticas. Aparte de los biocarburantes de origen biomásico a los que ya me he referido en varias ocasiones, el paso más inmediato de la introducción de la biomasa en el sistema energético es el aprovechamiento de los residuos de las industrias agroalimentarias que, en el caso de España, son abundantes y con una ventaja fundamental en su utilización: que el recurso se encuentra agrupado en un lugar determinado (almazaras, industrias vinícolas, etc.). También los restos de poda de grandes cultivos (olivos, almendros, frutales en general) y de los tratamientos forestales son susceptibles de aprovechamiento energético, aunque en este caso la recogida es un problema económico importante. Los residuos de ciertas actividades ganaderas y de cualquier otro tipo (lodos de depuradoras) tienen capacidad de ser aprovechados, previo ciertos procesos fisicoquímicos y biológicos, para obtener un gas combustible llamado biogás (casi todo, metano), que puede ser empleado para alimentar dispositivos de cogeneración. Finalmente hay iniciativas de interés en el ámbito de cultivos específicos para la utilización energética que no acaban de despegar probablemente por razones económicas. Un caso poco importante desde el punto de vista de cantidad energética total, pero que me gusta especialmente por su simbolismo de cara a los ciudadanos, es el empleo de residuos de poda de jardines —privados y públicos— para abastecer energéticamente algunas aplicaciones energéticas en las ciudades y pueblos. Estoy convencido de que la revisión del RD 436/04 que está a punto de ser aprobada introducirá con-

diciones económicas que hagan atractiva la utilización de esta interesante fuente energética.

En resumen, el sistema energético actual tiene que ser modificado sustancialmente y con toda rapidez, porque nuestro planeta no aguanta las modificaciones del equilibrio de largo plazo a que lo estamos sometiendo.

Comentarios sobre las ciudades y la energía

Veamos ahora qué papel juegan las ciudades en este contexto precisamente en el momento histórico en que el 50% de los seres humanos vivimos ya en ciudades. Me parece un momento muy adecuado para hacer una reflexión sobre si es bueno o malo vivir en ciudades y qué repercusiones tiene esa circunstancia sobre el sistema energético y sobre el cambio climático y otros efectos medioambientales.

Tengo que empezar confesando que no lo tengo muy claro y no tengo ni los conocimientos ni la información precisa para sacar conclusiones rotundas, por lo que sólo trataré de relacionar algunos datos extraídos de varias fuentes y de hacer algunas conjeturas apoyadas en esos datos, con más o menos sentido.

La primera impresión visual que he tenido cuando he visitado una ciudad tremendamente grande (México, Tokio, Nueva York, Montreal, Buenos Aires, París, Madrid o Barcelona) siempre me llevaba a una pregunta: ¿de dónde viene el agua y la energía que se consume en esta ciudad? Pero a esa pregunta, por supuesto sin respuesta específica, también se le superponía otra: ¿qué pasaría aquí si no llega electricidad o carburantes? Sobre todo cuando se observan grandes rascacielos en los que sin electricidad no se puede funcionar.

No entro en definiciones precisas sobre la ciudad en sí misma y sus implicaciones de todo tipo. Sólo entiendo que una ciudad es el lugar donde realizan sus actividades un número determinado de seres humanos, aunque no sé cuál es el número de habitantes que define ciudad y lo separa de pueblo o aldea. Habría que distinguir —yo no lo hago, porque no sé, pero me parece importante— los diferentes modelos de ciudad, sobre todo en relación a la densidad de habitantes por m² y algún parámetro representativo de las alturas medias de los edificios. Por otro lado, la relación superficial entre espacios habitados y otros elementos (calles, jardines, espacios verdes) también tienen su importancia. Supongo que los especialistas en urbanismo sí conocerán estas clasificaciones por arbitrarias que parezcan. En relación con las cuestiones

energéticas me parece de vital importancia el conocimiento preciso de esos detalles que comento, sobre todo, si la distribución espacial de los edificios permite o dificulta que la radiación solar llegue a las viviendas y edificios de oficinas y de servicios. Lamentablemente, no dispongo de esos datos.

Creo que es interesante averiguar el espacio disponible para la habitación de los seres humanos, cuál es la densidad posible y la real en distintas partes del mundo y a cuántos m² tocaríamos si nos distribuyéramos uniformemente en todo el planeta.

¿Cuál es el espacio realmente necesario para que un ser humano desarrolle sus actividades? y ¿cuánto espacio libre queda disponible? ¿Cuánto espacio les queda a las otras especies animales y vegetales? Ya no es despreciable el espacio físico que ocupamos los seres humanos frente al tamaño total disponible. Como se observa, demasiadas preguntas sin respuesta. En cualquier caso, al hacer esas preguntas estoy pensando en la utilización de la energía solar como fuente energética principal en el abastecimiento energético de las viviendas y servicios en las ciudades. Porque las plantas y los animales que dependen de ellas directamente lo tienen claro. En ese mismo sentido es obvio que, en nuestras latitudes al menos, la disposición preferentemente horizontal de las viviendas permite un mejor aprovechamiento de la radiación solar que los edificios en vertical. Sin embargo, en muchos lugares hay una cierta obsesión por hacer edificios en vertical.

Algunos datos curiosos sí están disponibles. Por ejemplo, ¿cuántos metros cuadrados nos corresponden a cada ser humano si repartimos por igual el terreno disponible? La superficie total del planeta Tierra es de 510,4 millones de km², de la cual las aguas suponen 357,3 millones de km² (el 61%) y el resto, sólo 153,1 millones de km² (39%), es la superficie terrestre, la mayor parte en el hemisferio norte (99,5 millones de km²). Por tanto, si dividimos por los 6.500 millones de seres humanos que *grasso modo* vivimos en el planeta nos sale una densidad máxima de 2,356 ha/persona.¹¹ En este momento, tenemos prácticamente ocupada la superficie terrestre con nuestras necesidades energéticas. Claro que en el dato básico no hemos tenido en cuenta que hay bastantes terrenos que no son utilizables por los seres humanos, tales como montañas elevadas, desiertos, la Antártida o el Ártico.

En términos absolutos, la población mundial se ha más que doblado en sólo 50 años, pasando de 2,6 mil millones de seres humanos el año 1950 a algo más de 6 mil millones el año 2000 y más de 6,5 mil millones a finales del 2006. Otros datos dicen que en 1950 eran 800 millones los que habitaban en las ciudades. En esa misma información

se refieren a que la población en las ciudades en el año 2000 era del orden de 2,9 mil millones, es decir 3,625 veces más.

En cuanto al tamaño de las ciudades un dato es significativo: en 1950 sólo 83 ciudades tenían más de un millón de habitantes, mientras que en el año 2000 había 411 ciudades con más de un millón de habitantes. En el mismo trabajo se referencian 437 ciudades con más de un millón de personas, y 25 de estas ciudades tenían más de 10 millones.

Como curiosidades de este tipo de cifras se pueden citar algunos datos quizás llamativos:

En el año 1000 la ciudad más poblada del mundo era una ciudad española, Córdoba, entonces bajo el dominio musulmán, con 450.000 habitantes, y ninguna ciudad del resto de Europa tenía por encima de 100.000 personas. En el año 1800, sólo Pekín pasaba un poco por encima del millón de habitantes y París sólo tenía medio millón. En 1900 ya eran diez las ciudades del mundo que tenían más de un millón, con Londres en el primer lugar con más de seis millones de habitantes. Pero en el año 2000 era Tokyo, con 28 millones, la ciudad del mundo con más habitantes, y no hay ninguna ciudad europea entre las diez ciudades más grandes del mundo.

Pasemos ahora al consumo de energía en relación con las ciudades.

Por el lado de la energía, se han de considerar varios factores: energías finales necesarias para que los habitantes de esa ciudad tengan el nivel de confort que quieren (luz artificial, TV, frío y calor en los hogares, oficinas, hoteles, hospitales, etc.); energías intermedias (electricidad y combustibles) que consumen realmente para conseguir las energías finales que los habitantes de la ciudad consideran necesarias y, finalmente, energía primaria necesaria para conseguir lo que quieren. Evidentemente, el indicador final que interesa es el consumo de energía primaria y los impactos medioambientales que acompañan a este consumo en relación con el número de habitantes, y si el tipo o tamaño de ciudad afecta a ese consumo y a esa contaminación. En cualquier caso, cada ciudad, con su situación geográfica y su clima particular es un caso diferente, que depende sobre todo de la proximidad de las materias básicas (agua, energía, etc.).

En concreto entre los años 1950 y 2000 el consumo de energía primaria mundial se ha multiplicado por más de cinco, sobre todo en los países industrializados quemando carbón, petróleo y gas natural, mientras que la población ha crecido el doble. Las previsiones son que este crecimiento en el consumo siga por encima de la tasa de crecimiento de la población. Lo cual indica, obviamente, que los seres humanos seguimos aumentando en consumo individual de manera irresponsable.

Pero este crecimiento en el consumo de energía se dará tanto en los países industrializados como en los en vías de desarrollo, ligado principalmente al aumento del consumo de energía por persona y no al aumento de la población. El 86% debido al aumento individual y el 14% debido al aumento del número de habitantes.

La cuestión que me parece clave en este somero análisis queda clara con estos datos, aunque no sean todo lo precisos y detallados que me gustaría:

Si la población se ha multiplicado por dos, el consumo de energía por más de cinco y se ha aumentado fuertemente la población que vive en ciudades, es evidente que, por lo menos *grosso modo*, la vida en las ciudades aumenta considerablemente el consumo de energía per cápita. Es cierto que también aumenta el nivel de vida de las personas que viven en las ciudades respecto de las que viven en el ámbito rural. Los datos en que me he basado se refieren a los cincuenta años entre 1950 y 2000, pero la tendencia creo que es válida en todos los casos.

Evidentemente estas afirmaciones globales hay que matizarlas. No es lo mismo el derroche de energía en ciudades muy grandes —por ejemplo, por encima de un millón de habitantes— que en ciudades pequeñas y medianas. Para imaginar lo que quiero decir pensemos en la movilidad en una macrociudad en la que los ciudadanos tienen que desplazarse continuamente de un extremo a otro, muy frecuentemente en vehículos de muy bajo rendimiento energético,¹² a lo que hay que sumar los efectos tremendamente negativos de los frecuentes atascos del tráfico, con pérdidas no sólo energéticas, sino de tiempo de las personas y el correspondiente deterioro de su calidad de vida. Obviamente, también en esas tremendamente grandes ciudades se acentúan los problemas cuando se producen cortes en el suministro de las formas energéticas intermedias, tanto la electricidad como los combustibles. En el caso, por ejemplo, de falta de corriente eléctrica, falta el agua en las viviendas, no se pueden desplazar las personas en sus viviendas y oficinas porque los ascensores no funcionan, los frigoríficos y congeladores no enfrían y se deterioran los alimentos; y un largo etcétera de problemas que pueden resultar insoportables. Pero esto no ha sucedido todavía de forma alarmante, aunque estoy convencido de que ocurrirá pronto, empezando por las macrociudades de países menos desarrollados, y pasará lo de siempre: que los más pobres pagarán antes las consecuencias de los problemas del conjunto de la sociedad.

Lo malo es que los especialistas en prospectiva piensan que el proceso de aumento del consumo de energía proseguirá. En la OCDE (los

países más desarrollados y derrochadores) se multiplicará por 3,36 el consumo de energía en los próximos 50 años (de 3,5 mil millones de tep a 15,255 mil millones). Y acentuando la idea que referenciaba antes, en Asia, donde se espera que el consumo crezca en un factor de 3,61, la población crecerá «sólo» en un 50%. En Iberoamérica y África el crecimiento en el consumo de energía se espera que sea de 3,4 y 3,26 respectivamente. En cualquier caso, las presiones locales sobre las fuentes energéticas (madera, combustibles fósiles) serán muy fuertes.

Otros datos lamentablemente insisten en lo que venimos diciendo. Donde el consumo per cápita es muy alto y a pesar de que el crecimiento de la población sea bajo se puede tener un efecto muy importante sobre el consumo absoluto de energía. En el caso de Estados Unidos, donde el consumo per cápita es el doble que en otros países industriales y 13 veces mayor que en los países en desarrollo, los 71 millones de personas que nacerán en los próximos 50 años aumentarán el consumo en 758 Mtep, aproximadamente lo mismo que consumen ahora mismo en África y en América Latina juntos.

En España se está produciendo una situación alarmante que se mantiene y se acentúa. Los españoles están abandonando el interior de la Península y se van a vivir a la costa y a algunas grandes ciudades en el interior (Madrid sobre todo), dejando grandes espacios físicos sin habitantes. Esto origina grandes desequilibrios de todo tipo. El más evidente últimamente es el del agua, con la evidencia de que muchos responsables políticos parece que se han vuelto locos facilitando la superpoblación de las zonas costeras sin importarles las dotaciones de agua y otros recursos necesarios para la vida de los seres humanos. El abuso de los regadíos es otro de los disparates que estamos viviendo en los últimos tiempos. Pero lo peor, también aquí, es el consumo acelerado de energías intermedias cuya generación se lleva a los lugares que se abandonan y se consume, lógicamente, en los lugares habitados por más personas con absoluta ignorancia de los efectos medioambientales que el consumo origina.

Pero no puedo terminar sin comentar lo que creo que se puede hacer en las ciudades en el ámbito energético, aunque sea personalmente escéptico de que realmente se haga, salvo que un milagro o una catástrofe ambiental muy importante haga que los seres humanos actuales nos convirtamos de pronto en responsables.

- Como ya he dicho antes, el aumento del tamaño de las ciudades aumenta el derroche energético y, por tanto, la contaminación. Por tanto, la primera cuestión que se debe controlar es el tamaño de

las ciudades. Creo que habría que encontrar un tamaño más o menos óptimo en cuanto a eficiencia general.

- Otro asunto que creo de interés es que la mayor parte de la energía que realmente consumen los seres humanos debe obtenerse en las proximidades físicas de los usuarios y que sean fácilmente observables por ellos. Para controlar el consumo me parece imprescindible que se vean sus efectos negativos.
- En lo concreto y como es lógico, el consumo debe hacerse responsablemente. En la electricidad: no haciendo consumos innecesarios; los que se hagan, con la máxima eficiencia y generando electricidad en los propios edificios, en particular con energía solar a través de instalaciones fotovoltaicas y térmicas bien integradas. En los combustibles: usando lo menos posible vehículos fuertemente contaminantes, del tamaño adecuado a su propio tamaño y peso y empleando combustibles menos contaminantes.

Como pregunta final y que me parece que completa lo indicado antes:

¿Es bueno o malo que los seres humanos vivan en ciudades? ¿Hay un tamaño óptimo de las ciudades?

Indudablemente, es bueno en el sentido de que trae consigo la consecución de un mayor nivel de vida medido por los parámetros tradicionales: acceso a una sanidad y educación de calidad, mayor nivel de confort, acceso a actividades culturales y deportivas y un largo etcétera de ventajas. Por el lado contrario, la contaminación que generamos los seres humanos en las ciudades se hace insostenible sobre todo cuando el tamaño de la ciudad es excesivo. Entiendo que encontrar un equilibrio sería algo fundamental de cara a conseguir un futuro sostenible sin disminuir la calidad de vida del mayor número posible de los seres humanos.

Conclusiones

- El crecimiento de las grandes ciudades ha superado todas las previsiones.
- La vida social, comercial e industrial de las grandes ciudades las convierte en sumideros de energía y fuentes de contaminación inaceptables para el futuro del planeta Tierra.
- El sistema energético y de ciudades actual no es sostenible y menos la tendencia que se observa.

Bibliografía

- ANTEQUERA, Josep, «El potencial de sostenibilidad de los asentamiento humanos», tesis doctoral.
- BERNASCONI, Marco C. y Cristina (1997), *Why Implementing the space option is necessary for society*, 48th Internacional Astronautical Congreso, Turín.
- BRINKHOFF, Th. (2006), *The Principal Agglomerations of the World*. <http://www.citypopulation.de>; 22 de noviembre.
- CME (Consejo Mundial de la Energía). XV Congreso del Consejo Mundial de la Energía, Madrid, septiembre de 1992.
- Eurostat.
<http://www.codigotecnico.es>.
- IEA, Agencia Internacional de la Energía. <http://www.iea.org>.
- IPCC, <http://www.ipcc.org>.
- IDAE, <http://www.idae.es>.
- Ministerio de Industria, Turismo y Comercio. (<http://www.mityc.es>).
- Ministerio de la Vivienda, <http://www.miv.es>.
- Red Eléctrica Española, <http://www.ree.es>.
- Oficina Española de Cambio Climático OECC, <http://www-oecc.es>.
- RUIZ, V. (2006), *El Reto Energético. Opciones de futuro para la energía*, Ed. Almuzara.
- SMALL, Christopher, «Global Análisis of Urban Population Distributions and the Physical Environment», Clumbia University, USA.
- Worldwatch Institute, <http://www.worldwatch.org>. Varias publicaciones:
- «Beyond Malthus» Nineteen Dimensions of the population Challenge. Lester R. Brown; Gary Gardner; Brian Halweil.
 - City Limits: Putting the Brames on Sprawl. Molly O'Meara Sheehan.
 - Reinventing Cities for People and the Planet. Molly O'Meara Sheehan.

Apéndice 2. Ciudad y energía: las grandes ciudades, origen del desastre energético y medioambiental

1. Ya se sabe que la energía no se produce, sólo se transforma. Pero de acuerdo con ciertas leyes de la naturaleza que se agrupan en una parte de la ciencia conocida como termodinámica.
2. Redondeados y tratados por mí con criterios que se pueden encontrar en mi libro *El Reto Energético* (capítulo 6, pag. 314).
3. Si alguien tiene duda de este número aproximado piense en su desplazamiento habitual en su coche con un motor de rendimiento al 25% y tenga en cuenta que su vehículo pesa del orden de 1.000 kg y sólo se desplaza una persona que puede pesar entre 60 y 80 kg. Multiplique el 25% por 80 y divida por 1.080 y verá lo que le sale.
4. La mayor parte de las veces sólo beneficia a unos pocos ciudadanos y perjudica a la mayoría.
5. Datos más recientes mantienen la misma diferencia aunque con valores absolutos más altos.
6. Y una que se pretendía montar ha sido rechazada.
7. Concepto acuñado hace ya 17 años con el nombre de centrales SOL-GAS en varias publicaciones mías con algunos colaboradores y amigos. Incluso se realizó un proyecto de central con ese nombre.
8. Aunque es obvio que las de ciclo combinado son las más interesantes en el contexto actual por su alto rendimiento termodinámico.
9. Que, evidentemente, son las que producen calor y electricidad al mismo tiempo y se aprovechan ambos, el calor y la electricidad. Porque hay deformaciones del concepto en aras de una rentabilidad económica aprovechando la coyuntura normativa.
10. Personalmente me parece muy raquítico ese porcentaje cuando, en un año de buena hidráulidad, estamos ya muy cerca de ese nivel de participación de las renovables en el sistema eléctrico. Hay que ser más ambicioso.
11. Sin tener en cuenta que hay espacios inhabitables (alta montaña, la Antártida, el Ártico, etc.).
12. Repito que inferior al 2%.