

SOBERANÍA ENERGÉTICA: UN ANÁLISIS DESDE LA DEMANDA

JOSÉ M^º MARTÍNEZ-VAL PEÑALOSA

IGNACIO LÓPEZ PANIAGUA

UPM

EDUARDO MUÑOZ AGUDO

F2I2

Hablar de soberanía energética puede ser visto como muy presuntuoso, porque si hay algo que está sometido a la globalización y a acuerdos internacionales, más las disposiciones acordadas en la Unión Europea (UE), es precisamente el mundo de la energía. Pero por otro lado es imposible hurtar nuestra mirada sobre el problema que específicamente tiene nuestro país, que lleva un par de años en emergencia energética y, aunque se hayan hecho algunas excepciones a las reglas previas, que realmente se habían acordado para situaciones muy distintas, la verdad es que parte de esas excepciones están acabando en decepciones y habrá que seguir laborando en este campo para encontrar soluciones más eficientes, más limpias, más rentables y más justas al problema de la energía.

Indudablemente un país pierde soberanía cuando se inserta en una macro organización de países muy poderosa desde el punto de vista económico y social, y con notable experiencia en la gestión de asuntos públicos que requieren soluciones homogéneas para plantear mercados uniformes, que redunden en beneficios económicos para todos los que venden y los que compran.

Pero aún dentro de la UE, que es sin duda el más eficaz y contundente conjunto macroscópico de países aliados para mejorar la vida de sus ciudadanos y el rendimiento económico de sus países, la energía aparece como un problema con sus historias propias; de modo que, aunque sea un tanto pretencioso hablar de soberanía, no hay más remedio que hacerlo para saber de qué disponemos y qué nos haría falta.

En este artículo se plantea, en primer lugar, la naturaleza de la energía y las peculiaridades físicas que no se pueden obviar, incluyendo algunos datos generales y genéricos sobre aspectos clave de las fuentes de energía, sus transformaciones y su consumo. Todo ello habrá que centrarlo definitivamente en el problema español, donde la electricidad ocupa un lugar relevante por sí misma y por la idoneidad de su utilización de cara a implantar un desarrollo verdaderamente sostenible.

LA ENERGÍA: DOS CARAS DE UNA MONEDA ↓

Efectivamente, la energía puede considerarse como una moneda con dos caras. Por un lado, es una variable física de capital importancia en nuestro universo físico, que está regido por leyes inmutables e invio-

lables. Y por otro lado, es un bien socio-económico indispensable en nuestro *modus vivendi*, constituyendo un gran mercado financiero, ordenado y desordenado por leyes, reales decretos, reglamentos, cuñas fiscales, cánones y otras vías de internalizar otros costes, como son los referidos al perjuicio ambiental.

En el primer bloque de estas consideraciones encontramos hoy un campo científico extraordinariamente bien asentado desde hace tres siglos, sobre el que se desarrolló la primera Revolución Industrial; y hasta la fecha ha sido explotado de manera muy eficiente por el ser humano, aunque con efectos secundarios no despreciables.

El segundo bloque podría denominarse el «negocio de la energía». Tradicionalmente en el mundo mercantil de la energía se han usado unidades que tienen su correspondencia con el Julio (J) y sus múltiplos, pero que están más cerca de la realidad que se mide. La unidad macroeconómica más usada es la tonelada de petróleo equivalente (con siglas internacionales *toe*, *tep* en español) que corresponde a 41,87 miles de millones de J.

Una unidad indispensable de introducir en cualquier aproximación al mundo energético es el kilovatio-hora (kWh) que corresponde a la aplicación de una potencia de 1000 vatios (es decir, un kilovatio) durante 1 hora, que son 3600 segundos. Multiplicando la potencia en cuestión por el tiempo durante el cual se ha aplicado, se obtiene una energía que es de 3.600.000 J (que podemos leer como tres millones seiscientos mil Julios, o 3,6 mega Julios. El prefijo mega en el SI significa un millón).

A menudo se detectan en informaciones públicas, incluso de carácter oficial, confusiones entre el kilovatio y el kilovatio-hora, entendiendo erróneamente algunos esta última unidad como un kilovatio partido por una hora, y no es así. Tal como ha quedado explicado anteriormente, no es así sino al contrario: un kilovatio-hora es unidad de energía, y corresponde a la aplicación de una potencia de un kilovatio durante un lapso de 1 hora y, por tanto, es el producto, no el cociente. Dicho producto da precisamente un kilovatio hora, que es unidad de energía.

Aquí nos encontramos con la otra cara de la moneda, es decir la socioeconómica, en la que participamos todos (aunque no en igual porción). Así como la energía en cuanto campo de especialidad científico-técnico concierne a unos pocos, el uso de la energía y sus implicaciones económicas y sociales repercuten en todos. Pero hay que señalar que los seres humanos vivimos en un ambiente muy específico, muy singular, al cual no podemos perjudicar de manera notable, pues nos perjudicaríamos a nosotros mismos.

La humanidad vivimos en la superficie terrestre, que está bañada de una atmósfera que es indispensable para la vida. Es curioso anotar que los seres vivos necesitamos un fluido a nuestro alrededor, en el cual vivimos embebidos, utilizando sus características,

sea un pez en el agua, o un mono en un árbol. En el caso concreto de la atmósfera en relación con nosotros, utilizamos directa o indirectamente dos de sus elementos constituyentes: indirectamente el CO₂, que a través de la fotosíntesis es la base de los hidratos de carbono que nos alimentan; directamente, el oxígeno, que ocupa el 21% de la atmósfera volumétricamente hablando, y que es una especie de milagro de la evolución, que nos regaló el propio planeta, que inicialmente no tenía oxígeno libre, pues el oxígeno es el oxidante por naturaleza, como bien indica su nombre, puesto así por Lavoisier, por ser el generador de los óxidos.

Al comienzo de la Era Primaria, en el Cámbrico, el contenido atmosférico era de 21% de CO₂, y no había oxígeno libre. De manera natural aparecieron los llamados helechos arborescentes y otras plantas con gran capacidad para absorber el CO₂ de la atmósfera, y fijarlo en sus propios troncos y ramas, así como raíces, dando rienda suelta a una actividad de fotosíntesis que no ha tenido parangón en la historia de la Tierra. El problema, por así llamarlo, fue que los helechos arborescentes morían y degeneraban a una velocidad mucho menor que la de generación, lo cual hizo que la atmósfera fuera perdiendo su contenido inicial de CO₂ y ganando contenido en oxígeno. Más aún, las plantas muertas, pero aún sin pudrirse y permitir la oxidación del carbono fijado en su interior mediante reacción con el O₂ libre, sufrieron en muchos casos efectos geológicos que fijaron el carbono en forma de carbón, que quedó como residuo fósil en capas subterráneas, de donde comenzó a ser extraído cuando la Revolución Industrial evidenció que el carbón era el combustible más presente en nuestra heredad común: el manto terrestre más la atmósfera.

LA ENERGÍA EN NUESTRO AMBIENTE NATURAL ↓

Nuestro universo inmediato natural, en el cual vivimos, está dominado por ciclos (incluso a nivel bioquímico), pero a nivel macroscópico hay dos ciclos que están absolutamente regidos por la energía solar, que en valor medio llega a las capas exteriores de nuestra atmósfera con una potencia de 175.000 TW (teravatios, y cada teravatio son un billón de vatios).

Del orden del 30% de esa potencia es reflejada por la atmósfera, particularmente las nubes, y el resto llega a la superficie terrestre, es decir, unos 125.000 TW. La superficie del planeta está ocupada por los océanos en un 70,8%; por bosques en un 11,2%; 4,7% son prados y estepas; los cultivos agrícolas alcanzan el 2,7%; los desiertos y tundras llegan al 9,8%; y el 0,8% lo ocupan las aguas continentales. No es de extrañar que unos 35.000 TW se consuman en evaporar agua, que entra como vapor en la atmósfera, donde forma nubes, y antes o después se precipita, como lluvia, nieve o granizo, y surca la superficie en algunos casos, en otros se filtra en el terreno, y en definitiva va a parar al mar, cerrando

así el ciclo agua-vapor, sin el cual no habría vida terrestre en el planeta, pues no habría agua para alimentar las raíces.

El segundo ciclo fundamental para la vida es el del carbono-CO₂. Este se basa en la fotosíntesis, en la cual las partes verdes de las plantas absorben el CO₂ del aire, fijan el C en forma de hidratos de carbono de la propia planta, y liberan el O₂ a la atmósfera. El valor energético total captado por la biomasa anualmente en todas las áreas antes mencionadas es de unos 70.000 millones de tep, de las cuales unas 33.000 corresponden a los bosques, 22.000 a los mares, y algo menos de 4.000 a los cultivos. Si lo pasamos a potencia media, el total equivale a casi 100 TW una cifra del orden de 1.000 veces menor que la potencia de la radiación solar llegada a la superficie del globo. Por otro lado, si valoramos el contenido energético de toda nuestra alimentación, para los casi 8.000 millones de personas que habitamos la Tierra en estos momentos, y tomamos un valor medio por persona de 100 W (que corresponden a unas 2.000 kcal/día) obtenemos una potencia total de 0,8 TW; y si contamos el consumo antropogénico para usos artificiales de la energía, se obtienen unos 19 TW, pues en 2021 el consumo global de energía fue de 595 EJ (1 EJ= un millón de TJ).

LA CONTAMINACIÓN POR CONSUMO ENERGÉTICO Y EL GRAN EFECTO NEGATIVO: EL CALENTAMIENTO GLOBAL ▼

La humanidad, desde su arranque histórico, ha sido esencialmente prometeica, pues ha dependido del fuego como fenómeno natural a dominar, para obtener muchos beneficios. La mitología griega ideó que un titán, Prometeo, había entregado a los humanos el secreto para encender y mantener vivo el fuego, cosa que a los dioses no gustó,

El fuego inicialmente provenía de leña (biomasa), pero las máquinas de vapor de la primera revolución industrial necesitaban combustible de mayor poder calorífico, lo que en definitiva las orientó hacia el carbón. Durante muchos decenios el carbón fue el combustible de referencia, tanto para el transporte de ferrocarril como para la industria y la calefacción, particularmente en edificios amplios y de muchos vecinos, así como en servicios oficiales e instalaciones públicas. Eso provocó la aparición de la contaminación del aire en ciudades, que a mediados del siglo pasado empezó a ser verdaderamente problemática para la salud, y obligó a las autoridades a dictar las primeras disposiciones para paliar o evitar ese problema.

En esto los combustibles fósiles proporcionaron la primera solución, sustituyendo el uso del carbón por derivados del petróleo. Al tener éste, en general, menos contaminantes y particularmente menos azufre, que es más fácilmente eliminable en una refinería, la problemática de la contaminación local bajó muchos enteros. Y más bajó cuándo se pasó al gas natural que, si se mide proporcionalmente al

calor generado, resulta el combustible fósil más limpio de todos.

Pero además del problema local de la contaminación, existía el problema global, que manifestaba diversas áreas de deterioro, entre las cuales la más importante era la amenaza de un cambio climático hacia más altas temperaturas, como consecuencia de la intensificación del efecto invernadero de la atmósfera.

Ante todo, hay que decir que el efecto invernadero está provocado por todas las moléculas del aire que sean triatómicas o de mayor número de átomos, lo cual quiere decir que ni el oxígeno ni el nitrógeno son agentes causantes de ese fenómeno. En realidad, el principal componente atmosférico que perturba la interacción de los fotones con la superficie de la Tierra y las capas bajas de la atmósfera es el vapor de agua, del cual ya hablamos en el balance energético de la interacción de la radiación solar con el globo terrestre. No obstante, la incidencia de las nubes en el comportamiento de la meteorología es muy compleja e incluye una reflexión de la radiación incidente hacia el espacio exterior, que hace que se reduzca la cantidad de energía solar que nos llega a la Tierra a nivel del mar.

Teniendo en cuenta los componentes medios que presenta la atmósfera y, en particular, el inventario de vapor que se acumula en ella, se puede decir que el efecto invernadero medio que hemos tenido en el siglo pasado ha equivalido a unos 33,5°C. Como la Tierra tiene en su superficie un valor medio de temperatura de 15, 5°C, se deduce que la temperatura pasaría a ser de 18°C bajo cero si desapareciera del todo el efecto invernadero (lo cual no es posible, puesto que el vapor es responsable prácticamente de 2/3 del mismo). El problema es que si las moléculas que se acogen a la atmósfera y, en particular, el CO₂ aumentan considerablemente de concentración, su aportación al efecto invernadero en vez de ser de 11 o 12°C, pasaría a ser de 13 o 15°C, y la superficie terrestre y la atmósfera baja tendría una temperatura un par de grados superior a la actual o incluso más.

Este tema ha sido planteado en la llamada Conferencia de las Partes o COP, y ha sido estudiado de manera científica por el Panel Intergubernamental del Cambio Climático, que ha hecho simulaciones y predicciones de que, si el inventario de CO₂ sigue subiendo en todo el globo, también se disparará la temperatura, lo que provocará que se derrita una parte del agua helada, con el consiguiente aumento del nivel del mar, qué provocará inundaciones en algunas franjas costeras.

EL AMBIENTE ENERGÉTICO QUE NOS ESPERA ▼

En estos momentos podemos afirmar que conocemos suficientemente bien nuestro universo físico inmediato como para plantear de manera razonable

y rigurosa las diversas alternativas que podrían darse para constituir la base del desarrollo sostenible.

Nos limitaremos aquí a la cuestión energética señalando que, para obtener energía de forma útil a nuestros intereses, hace falta repasar los mecanismos con los que interaccionan las fuerzas constitutivas del universo físico, que básicamente son cuatro: la fuerza gravitatoria, la electromagnética, la fuerza nuclear fuerte y la fuerza nuclear débil. Estas dos últimas son específicas del campo nuclear y el sueño del Desarrollo Sostenible es llegar a dominarlas a través de la reacción de fusión, en la cual dos núcleos atómicos muy ligeros interaccionan entre sí, uniéndose para dar uno más pesado y, en general, otras partículas excedentes como pueden ser neutrones y neutrinos. Estos últimos abundan en la naturaleza, pero de ellos no sabemos que se pueda sacar energía. De los neutrones, sí, en los reactores nucleares actuales de fisión.

El caso de la **fusión nuclear** es bien peculiar, pues se ha podido dominar en explosiones fortísimas, pero no ha habido manera de construir un reactor de potencia controlable,

En las fuentes primigenias de energía encontramos dos que son de cierta curiosidad tecnológica, pero de muy escasa significación energética. Nos referimos a las que están relacionadas muy directamente con la atracción gravitatoria, como son la energía de las mareas y la energía geotérmica; pero la valoración energética global de éstas se cifra tan solo en 3 TW para las primeras y 30 TW para las segundas. Quedan por considerar las fuentes de energía más convencionales, que podemos llamar elaboradas, puesto que no las encontramos en su forma primigenia como podría ser el caso de la fusión nuclear, sino sometidas a tratamientos naturales previos, que las caracterizan de modo específico en cada caso.

FUENTES DE ENERGÍA ELABORADAS ↓

La clasificación macroscópica convencional que suele utilizarse en el sector energético comercial no ahonda en la naturaleza de las fuentes energéticas y en cómo éstas pueden ser aprovechadas de la manera más eficiente posible, sino que recoge evidencias obvias de las características diferenciadoras en un caso y otro.

Todas las energías de esa clasificación convencional proceden del Sol, esa es su raíz. Por ejemplo, la **energía eólica** está generada por los gradientes de presión que aparecen en la atmósfera y que son básicamente causados por la energía solar que impacta en nuestro planeta. La orografía y las discontinuidades del terreno tienen una influencia considerable en el viento que se genera.

El sol es un gigantesco reactor de fusión nuclear del que nos llega solo la radiación electromagnética que ya hemos presentado y evaluado para defi-

nir el marco natural de nuestro hábitat. Señalamos también cómo parte de la energía solar es captada por la biomasa terrestre y marina, incorporándola a los tejidos biológicos que van a dar lugar a cadenas alimentarias. Realmente el origen de esta fuente, el sol, queda muy lejos para pensar en ningún tipo de mejor aprovechamiento de su energía, y simplemente basta con reconocer que la energía de la biomasa procede de él, con su potencia actual. Es curioso que el Sol, que tiene unos 4.500 millones de años de existencia, hace muchos milenios que entró en una dinámica interna muy estable, por lo cual su potencia apenas varía afortunadamente. Si lo hiciera, la catástrofe en el planeta sería total. Ese comportamiento se debe a que el Sol sigue un ciclo de reacciones de fusión que podemos calificar de muy lento y poco energético, pero de esto tampoco nos tenemos que ocupar, si seguimos observando que la radiación llegada a la Tierra tiene una potencia del orden de la señalada en su momento, de 175.000 TW, medida fuera de la atmósfera (en realidad no se mide la potencia total, sino su intensidad, gracias a los satélites artificiales, que dan una medida de 1,35 kW por m² orientado al sol).

Junto a la Biomasa hay otras dos formas de aprovechar la radiación solar de manera elaborada: la **energía eólica** y la **energía solar** (directa) que, a su vez, se desdobra en **energía solar térmica** y en **energía fotovoltaica**. Y a su vez en la térmica cabe distinguir entre la de baja temperatura, empleada para agua caliente sanitaria, y la de alta temperatura, que a su vez puede usarse directamente como calor de procesos industriales o como foco caliente de un ciclo termodinámico para producción de electricidad. Por último, dentro de los efectos térmicos de la radiación solar sobre la Tierra, mencionamos la evaporación de agua, de los mares y de las aguas continentales. Cuando esas moléculas precipiten darán lugar a la **energía hidráulica**, que la podemos considerar causada por el sol, pero también por la atracción gravitatoria.

En 1974, tras el estallido de la 1^a gran crisis del petróleo, subsiguiente a la guerra del Yom Kippur de 1973, se inició una senda de investigación eólica en muchos países, incluido España. En octubre de dicho año 1974 se celebró en Madrid una conferencia internacional con el sugerente título: «La investigación científica y el problema de la energía». Ese mismo año se instituyó en Estados Unidos la ERDA (Energy Research and Development Administration) que en breve plazo fue ascendida a Department of Energy, que es sin duda la institución más voluminosa del mundo dedicada a dichas tareas. A partir de esa fecha, la dedicación económica y de equipos humanos a investigar las tecnologías energéticas ha sido constante y eficaz.

Por ejemplo, la energía fotovoltaica ha experimentado tal reducción de costes en lo que llevamos de siglo, que en algún milagro habrá que pensar, y en

cierto modo lo hubo, que fue el RD 661/2007. Este Real Decreto declaraba tal sobrealimentación por primas a las renovables (internacionalmente reconocidas como «*feed-in tariffs*») que produjo un efecto llamado incontenible. En 2008, la mitad de la potencia PV instalada en el mundo, se instaló en España. Se arrancaron parques PV en algunas partes del mundo, para plantarlos aquí.

Una característica singular que tiene la energía solar térmica respecto de la eólica y la PV, que son las dos tecnologías más competitivas hoy día, es que puede utilizar **almacenamiento energético** concretamente en forma de almacenamiento térmico, que es una vía muy interesante porque posibilita el funcionamiento de la central aun cuando no haya sol durante unas horas, y a su vez se puede utilizar este tipo de centrales con almacenamiento como unidades de regulación. Ambas cosas hacen que el valor añadido energéticamente hablando de estas instalaciones sea mayor que el de la PV o la eólica, que no pueden funcionar almacenando lo que es su agente dinamizador, que un caso es el viento y en otros son los fotones.

El almacenamiento **térmico** es realmente potente comparado con cualquier otro almacenamiento energético convencional, pero tiene la problemática de que necesita estar acoplado a un ciclo termodinámico y, por tanto, sólo puede darse en casos en los que exista este ciclo. Tampoco es esta exigencia de mayor trascendencia puesto que la central térmica ya estará planteada de principio. En cuanto a su potencial, téngase en cuenta que, si se calienta 1 kg de sal fundida a 200°C, se produce un almacenamiento energético de 360 kJ. Sin embargo, si elevamos 1 kg de agua a 1 km de altura en una central de bombeo muy avanzada, lo que se le está comunicando es una energía potencial de 10 kJ. A esto habría que afectarle los rendimientos de bombeo y transformación en un caso, y de calentamiento y transformación en electricidad en el otro, y aquí se estaría en una ventaja en favor del bombeo de 60 a 20% pero este factor 3 es muy inferior al factor 36 que hay en el almacenamiento.

Entre las renovables queda por comentar la **biomasa** y sus ramificaciones, particularmente el biogás, pero parte de ello se trató al describir energéticamente el medio natural en el que vivimos. El **biogás** es esencialmente metano procedente de la degradación de basuras orgánicas, charcas y pantanos con abundante vegetación. No es un producto de generación inmediata como puede considerarse a las podas y otras tareas de limpieza de bosques y similares, sino que necesita tiempo para que se vaya produciendo la degradación, y al mismo tiempo se va acumulando el biogás producido en tanques de almacenamiento.

El biogás presenta una peculiaridad que está infravalorada y es que puede desplazar o sustituir al gas natural que se emplea en las centrales de gas

de ciclo combinado, que en la mayor parte de las horas casadas entre oferta y demanda por el mercado mayorista, son las últimas en incorporarse a la producción y son, por tanto, las que fijan el precio general. La pauta que se sigue para determinar el precio del megavatio hora en el «pool» o mercado mayorista es igualarlo al precio dado por la última central que ha entrado para igualar la potencia a la demanda. Por razones de la tipología operativa de las centrales de distinto tipo, la mayor parte de las veces la central que termina cerrando la oferta para satisfacer la demanda es de gas, y si este gas es el natural que hay en el mercado internacional, puede ser muy caro, y por ende será muy cara la electricidad.

Hay por tanto un aliciente fundamental de emplear el biogás que se ha ido generando, como un stock para prevenir valores muy elevados del precio oficial del gas para producción de electricidad.

LAS NECESIDADES ENERGÉTICAS Y SU SATISFACCIÓN ▼

Las demandas de los productos mercantiles tienen esencialmente dos causas: la necesidad y la oportunidad.

La adquisición de un bien en general indica que necesitamos ese bien, aunque esa necesidad admite muchas gradaciones, desde la necesidad imperiosa a la satisfacción de un capricho. Pero en muchos casos, particularmente en vestimenta, maquinaria, viajes, etc., domina la oportunidad: uno hace un crucero (actividad no necesaria en absoluto) cuando encuentra una oportunidad.

En el mundo energético hay diferencias cualitativas entre la demanda de electricidad y la de hidrocarburos. Esta última es más propensa a la oportunidad, entre otras cosas por haber muchos suministradores y disponer de cierta capacidad de almacenamiento. Eso favorece la competencia.

Pero la electricidad no es así, sino verdaderamente un monopsonio y un monopolio. Es un monopsonio porque se podría decir que, inmediatamente tras su generación, la energía eléctrica sólo tiene un «cliente», Red Eléctrica, que absorbe y reconduce la electricidad generada. Tras esa reconducción, Red Eléctrica se convierte en un monopolio (posición de privilegio que no explota) y redistribuye la energía según las leyes de Kirchhoff, a las que se le aplican los coeficientes de consumo de cada región, cada ciudad, cada barrio.

Suele decirse que la electricidad presenta una demanda muy rígida y, así es, una demanda prácticamente 100% de necesidad, aunque la segmentación temporal que permiten los contadores «inteligentes» puede ir introduciendo elementos de oportunidad en ese comportamiento social; y aún será más moldeable con las recargas de vehículos eléctricos.

PRODUCTOS INTERMEDIOS Y VECTORES ENERGÉTICOS ↓

La forma natural en la que se presentan las fuentes de energía no siempre es la más ajustada a lo que necesitan las aplicaciones, y ello conduce a una serie de acciones fisicoquímicas en las cuales se moldea el producto que se va obteniendo para que se acomode de la mejor manera posible a su uso final. Esto hace que los balances energéticos vayan variando desde las extracciones de energía originales o primarias, hasta las aplicaciones finales *útiles*. Entre medias se quedan las pérdidas, pues los rendimientos son siempre inferiores a la unidad en cualquier transformación, y ello se manifiesta en calor, que es la energía *térmica* en tránsito desde las zonas de un sistema de alta temperatura hacia las zonas de baja temperatura.

En los productos intermedios es fundamental contar con la acción de las refinerías de petróleo que someten al crudo a diversas transformaciones y sobre todo separan sus fracciones de hidrocarburos, que se clasifican lógicamente por el número de carbonos en la molécula. La industria del refinado ha sido una de las más importantes de la historia económica de la humanidad, partiendo de una famosa anécdota (a mediados del siglo XIX) entre un emprendedor, el señor Bissell, y un gran químico orgánico, el profesor Silliman, de la universidad de Yale, el primero interesado en qué podía hacerse con el petróleo para que iluminara mejor en sus quinqués, que producían un espesísimo humo negro, y el segundo aplicando el principio de destilación fraccionada, que fue sin duda la mejor opción para indagar sobre la composición del petróleo y que permitió identificar cuál era la fracción que mejor se acoplaba a la combustión que produjera luz. A esa fracción el profesor la llamó «kerógene», que en griego significa el que produce la cera (y efectivamente el profesor buscaba un efecto parecido a cómo arden las velas), pero como en aquellos tiempos no había máquinas de escribir y la caligrafía del profesor no era la más exacta, el empresario señor Bissell entendió que era «kerosene» y con ese nombre se quedó.

Es bien sabido que de la refinería sale el petróleo absolutamente troceado para cumplir más satisfactoriamente sus cometidos energéticos, siendo la principal diferenciación la de gasolina y gasóleo, precisamente por acoplarse de manera idónea a los motores de combustión interna, de encendido provocado en el primer caso, y de autoencendido, en el segundo.

Pero sin duda el vector energético más importante, que está llamado a tener cada vez mayor presencia en nuestro mundo energético como ya la tiene en nuestro universo físico, es la electricidad. Su gran ventaja es la facilidad de transporte y de aplicación, así como su limpieza, no sólo en cuanto a contaminantes físicos que carece de ellos, sino en los instrumentos en los cuales se emplea para producir un fin.

En el uso de la electricidad como vector energético surge un problema, y es el de su equivalencia con las fuentes de energía. En éstas resulta relativamente fácil contabilizar la masa extraída para satisfacer unas necesidades energéticas, y así mismo se puede determinar su composición, de modo que se conocen sus prestaciones posibles, con bastante precisión, pero la utilidad de éstas dependerá de cómo se transforme y cómo se aplique finalmente esa energía, potencialmente contenida en la fuente primaria.

Con la electricidad no puede hacerse así. Lo que contabilizamos es su tensión y su intensidad y algunos otros parámetros fundamentales de la corriente alterna, como su frecuencia y su factor de potencia (que es el desfase entre la señal de tensión y la señal de intensidad). No obstante, en las estadísticas es imprescindible unificar las unidades de energía, y no hay una manera unívoca de hacerlo, pues depende de si se tiene en cuenta o no el rendimiento de uso que se va a hacer de una determinada fuente, o de un determinado vector que *típicamente es la electricidad*.

La manera oficial que adaptó la Agencia Internacional de la Energía es medir la electricidad por el calor que directamente se puede generar con ella (el efecto Joule). Eso minusvalora el potencial real que tiene la electricidad para producir un trabajo, y los números salen comparativamente más pequeños que los de las energías químicas, pero estando advertidos de ese desajuste, las estadísticas se pueden aceptar, como se verá más adelante para el caso español, que es el que nos concierne.

En el futuro podría aparecer otro vector, particularmente el hidrógeno, como puente entre una fuente energética que lo produjera y unas aplicaciones, pero esto sería más fácil de presentar en equivalencias, puesto que en definitiva el hidrógeno es un compuesto químico en todo similar a los productos derivados del petróleo. La peculiaridad está en que el hidrógeno puede usarse también para producir electricidad de manera directa en una pila de combustible, y además se puede generar como tal hidrógeno a partir de agua en un electrolizador, con lo cual se convierte en un aliado de la electricidad, que sería en este caso el uso final que se diera a la energía. Pero de momento esta posibilidad no sale en nuestras estadísticas aunque debemos considerarla en nuestras previsiones de cara al desarrollo sostenible.

LOS DATOS DE LA ENERGÍA EN ESPAÑA ↓

El sector energético de cualquier país está esencialmente delineado por su demanda, aunque lógicamente buscando un adecuado ajuste con las tecnologías disponibles. Y en la conformación de una demanda de cualquier bien o servicio mercantil, hay dos factores que definen mucho sus características: la necesidad y la oportunidad. Hay mercados,

como el inmobiliario, que tienen una necesidad de fondo, pero esencialmente son mercados de oportunidad. Y hay mercados como los energéticos, y en particular el eléctrico, que son esencialmente de necesidad. Salvo algunas empresas con actividades muy consumidoras de energía eléctrica, nadie espera a que baje mucho el precio del kWh para encender una luz o subir en un ascensor.

La demanda de energía final en España se caracteriza por los siguientes datos, de los consumos en los diversos sectores (todos en Mtep, que será la unidad usada en este apartado, salvo indicación en contra) correspondientes al año 2021:

Transporte: 30,3; Industria: 20,1; Otros usos: 28,2. Destacando entre ellos: Agrícola y pesca, 3,1; Residencial familiar, 14,8; Comercial y servicios públicos, 10,1; Otros del sector terciario, 0,7. Lo que hace un total de energía final de 78,6 Mtep.

Para ello, en la parte industrial del sector (refinerías, centrales eléctricas, ...) entraron en 2021, 118,3 Mtep, de los cuales 88,3 Mtep son provenientes de combustibles fósiles. Si particularizamos dentro de los combustibles fósiles, tenemos: 3,1 de carbón, 73,2 de petróleo y 11 de gas natural.

A eso se añaden 14,7 de energía nuclear (computada como calor) y 15,3 de energías renovables, incluyendo biocombustibles diversos.

Si se tiene en cuenta el incremento de existencias en almacenamientos y búnkeres, la energía total primaria fue de 125,7 Mtep, pero los consumos reales y quien los ha satisfecho están en las listas precedentes.

Por su significación de cara al desarrollo sostenible, conviene desglosar la *rúbrica de renovables*, siempre medidas en equivalente calorífero en aquellas que son eléctricas, que se valoran a través del efecto Joule, lo cual no es del todo justo, ni mucho menos: Eólica, 5,3; PV, 1,9; Solar térmica (de todo tipo) 2,0; Hidráulica, 2,5. El conjunto de las bio, 3,1

Y quedan algunos restos de residuos y similares. Dentro del conjunto de los bio, el biogás, que debería recibir una atención preferente por los motivos ya expuestos, sólo alcanza 222 ktep, que es tan sólo el 2% de las entradas de gas natural. Necesitaríamos que llegara a 5% para que pudiera tener efecto para refrenar el precio de la electricidad en algunos momentos.

Por último, cabe indicar que la producción de electricidad, medida siempre con la conversión oficial de la AIE, es de 23 Mtep, que es el 29% de la cifra global de energía final consumida.

LA SOBERANÍA ENERGÉTICA: CÓMO TRAZAR EL CAMINO HACIA UN FUTURO SOSTENIBLE Y QUE NOS VENGA BIEN ¶

Según el análisis que se ha expuesto en lo anterior, referido sobre todo a cómo atajar el calentamiento

global por culpa de la intensificación del efecto invernadero, es imprescindible actuar sobre un sector: el transporte, que en más de un 95% pasa por la combustión de hidrocarburos. Este es el mayor desafío, que requiere dos respuestas:

- La electrificación del transporte individual, bien con coches eléctricos de baterías, bien de pila de combustible (hidrógeno).
- Una electrificación masiva para asegurar la recarga, bien directa, bien con electrolizadores.

Esta electrificación del transporte afectaría al sector de mayor consumo en la actualidad, que alcanza el 38% del total de la energía final consumida. No todos los modos de transporte son electrificables con facilidad, y posiblemente la aeronáutica y la marina, así como el transporte en ruta muy pesado, queden al margen de esa conversión, que no obstante será aplicable a casi el 90% de la energía consumida en dicho sector.

Aquí es imprescindible señalar un hecho que suele pasar desapercibido en muchas publicaciones sobre los vehículos eléctricos, y es el impacto a la baja del consumo en el transporte cuando se cambia de vehículos de combustión interna a vehículos eléctricos. Un ejemplo servirá para ilustrar este aserto: un automóvil de gasolina tipo medio consume unos 6,5 litros por 100 km, lo cual representa casi 50 gramos por km (lo cual produce, por cierto, una emisión de unos 155 gramos de CO₂ por km). Esos 50 gramos representan una energía de 2.100 kJ.

Un automóvil eléctrico de tamaño similar consume unos 13 kWh a los 100 km, lo cual significa 470 kJ, es decir, 4,4 veces menos que el caso anterior. Ello se debe al mayor rendimiento del motor eléctrico, que está en torno o por encima del 95%, mientras que el de gasolina ronda el 22%. Así pues, para sustituir los hidrocarburos por electricidad, con objeto de cubrir los 30 Mtep de transportes actuales, no harían falta 30 Mtep adicionales de electricidad, sino 7 Mtep (habría que contabilizar pérdidas en recargas y distribución, que podrían incrementar esta cifra casi hasta los 8 Mtep), que sería una cifra muy modesta, y que representa el 35% del consumo de energía final que ocurre por vía de electricidad. Este es un dato muy importante para poner en sus justos términos la muy aconsejable política de electrificar gran parte del transporte.

Pero esa super electrificación tiene que hacerse con renovables, y en ello encontramos el primer desafío para nuestra soberanía energética, para lo que tenemos que superar dos retos:

- Alcanzar un conocimiento exhaustivo y muy preciso de los emplazamientos donde se encuentran recursos renovables de alto interés, sobre todo en sol y viento. Y señalamos la necesidad de emplazamientos porque en esto hay que afinar con medidas y análisis de la orografía, etc.

Necesitamos tener un inventario de fuentes renovables que sea el cimiento del nuevo sector energético por construir.

- Dominar la tecnología de las renovables y apoyar una ventaja socioeconómica que tienen, de cara al sistema industrial español, y es que las inversiones en renovables se pueden canalizar, en gran medida, a través de PYMEs. Esto repercute además mucho en puestos de trabajo. En otras instalaciones de generación de electricidad, la inversión alcanza cifras fabulosas, de varios miles de millones de euros. No es ese el caso de la eólica, la PV o la solar térmica, sea de alta o baja entalpía.

Pero este dominio de la tecnología no se refiere sólo a la generación eléctrica, sino a su transporte y distribución. Va a ser necesaria una auténtica *revolución de redes eléctricas*, pues el país tiene que poblarse de cargadores y electrolizadores. También aquí van a jugar un papel fundamental las PYMEs.

E igualmente podrán estar muy presentes en otro de los desafíos que se deducen de los análisis detallados de los diversos tipos de renovables, y es la escasa atención, y casi nulo desarrollo, de los cultivos energéticos. En su momento, al hablar de la energía de nuestro hábitat natural, se dieron unas cifras globales de superficies terrestres ocupadas por diversa tipología vegetal, y es obvio que en páramos y estepas cabría plantear diversas iniciativas de cultivos específicamente destinados a generación de electricidad u otro fin energético. Ni que decir tiene que esta línea de trabajo sería muy positiva para frenar la caída demográfica de la España vaciada.

La soberanía energética española, en resumen, sería esto: desarrollo tecnológico de las renovables; conocimiento de los emplazamientos seleccionables; búsqueda de nichos energéticos a reservar, como los cultivos energéticos (tipo *Cynara cardūnculus*; el cardo borriquero de La Mancha); ampliación extensiva de la generación y distribución eléctrica; y potenciación de la creación de empleo, mediante un juicioso y ponderado apoyo a las PYMEs.

En el tintero queda alguna cosa, como el almacenamiento de la energía, que a muchos les sonará a camino errado, pero en el caso del almacenamiento térmico puede ofrecer condiciones muy atractivas, que incrementarían su valor energético si se desarrollaran ciclos termodinámicos apropiados para la explotación del calor almacenado.

En todas estas aventuras tecnológicas, España tendría que estar.

REFERENCIAS ↓

Red Eléctrica de España. Demanda de energía en tiempo real. <https://demanda.ree.es/visiona/home>

Red Eléctrica de España. Informe diario de Balance. <https://www.ree.es/es/datos/aldia>

OMI, Polo Español S.A. (OMIE). Precios diarios de la energía. <https://www.omie.es/es/market-results/daily/daily-market/daily-hourly-price>

EUROSTAT. Energy Balances.

<https://ec.europa.eu/eurostat/web/energy/database/additional-data#CO2%20estimates>

International Energy Agency. <https://www.iea.org/data-and-statistics>

U.S. Energy Information Administration. <https://www.eia.gov/opendata/>