

# Fuentes de Energía

## Capítulo 1: Energía y sociedad

Autor:

- Antonio Lecuona Neumann. Catedrático del Área de Máquinas y Motores Térmicos. Dpto. De Ingeniería Térmica y de Fluidos, [Grupo ITEA](#), [Universidad Carlos III de Madrid](#), Leganés, España.

2019

NOTAS

PCS = Poder calorífico superior de un combustible. Definido en la [Ec. 2.7](#).

PCI = Poder calorífico inferior = *PCS*-calor de condensación del vapor de agua, salvo el del aire.

La información contenida en este documento sirve de propósito exclusivo como apuntes para alumnos en la enseñanza de la asignatura indicada y ha sido obtenida de las mejores fuentes que se han podido encontrar, generalmente de reconocido prestigio. No obstante el/los autor/es no garantizan la exactitud, exhaustividad, actualización o perfección de su contenido. Por ello no será/n responsable/s de cualquier error, omisión o daño causado por el uso de la información contenida, no tratando con este documento prestar ninguna clase de servicio profesional o técnico; antes bien, se ofrece como simple guía general de apoyo a la docencia. En caso de detectar algún error, rogamos nos lo comuniquemos e intentaremos corregirlo. Puede contener material con copyright © por lo que su reproducción puede no estar permitida. Los enlaces a páginas web pueden no estar actualizados.

# Introducción al capítulo 1: Energía y sociedad

Capítulo instrumental para preparar a la materia de la asignatura. Recordatorio y definitorio de nomenclatura y diccionario.

Se introduce a:

- El concepto de energía como magnitud de estado. Formulación del principio de conservación y sus balances mas básicos en una masa de control. Transformaciones de formas de energía.
- Fuentes de energía, su origen y sus características. Recursos mundiales.
- Los procesos de producción y transporte de energía. La trayectoria desde la fuente hasta el consumo y rendimiento.
- Pérdidas y degradaciones, diagramas de Sankey y eficiencias energéticas. Energías primaria, secundaria, final y útil. Sectores consumidores principales. Ejemplos del consumo mundial y en España, Metodología en las que las pérdidas desaparecen o se llevan de mochila hasta el consumidor. El sistema eléctrico español como muestra de una energía fluyente en el que la producción ha de igualar al consumo en todo momento. Tipos de empresas eléctricas.
- Escala humana de la energía, estados de desarrollo energético. Consumo energético y población humana, evolución histórica. Energía y sociedad. El problema de las emisiones de carbono.
- Unidades técnicas de energía. Combustibles de referencia para el comercio y concepto de poder calorífico.
- Energía y desarrollo. Correlación entre PIB y consumo, per cápita. La curva universal de la intensidad energética durante el desarrollo de un país.
- Políticas energéticas y ejes de acción europeos. Mercados energéticos intervenidos, liberalizados y libres.
- Costes internos y su estructura, costes externos de la energía. Costes y tributos de la energía, la factura de la electricidad.

Con ello se consigue una primera aproximación cualitativa y en parte cuantitativa de la energía, sus fuentes, su viaje desde le fuente al consumidor y las relaciones con la sociedad y la implicación en su desarrollo

La materia se compone del núcleo expositivo más temas recordatorios (en este caso una introducción al 2º principio de la Termodinámica), materia avanzada, cuestiones de autoevaluación ejercicios propuestos y ejercicios resueltos.

# Índice

- 1.1.- La energía, formas.
- 1.2.- Fuentes primarias de energía, transformaciones y consumos.
- 1.3.- Clasificación de las energías, procesos de obtención
- 1.4.- Escalas el consumo. Evolución histórica del consumo, previsiones.
- 1.5.- Transformaciones y consumos, diagramas de Sankey.
- 1.6.- El sistema eléctrico español.
- 1.7.- Unidades técnicas de energía.
- 1.8.- Energía y desarrollo.
- 1.9.- Intensidad energética.
- 1.10.- Políticas energéticas.
- 1.11.- Costes y precios de la energía.
  
- 1.12.- Bibliografía
- 1.13.- Cuestiones de autoevaluación.
- 1.14.- Actividades propuestas.
- 1.15 Temas recordatorios y avanzados

Cita: Luciano Diana, gestor del fondo Pictet Clean Energy: "El mundo gasta de media el 8% de su riqueza en energía, pero dos terceras partes se pierden antes de llegar al usuario". [Fuente](#)

**Objetivos:** Conocer el concepto de energía, trayectoria desde la fuente hasta el consumo y rendimiento. Formulación del principio de conservación y sus unidades. Energía y sociedad. Políticas y algunos precios de la energía.

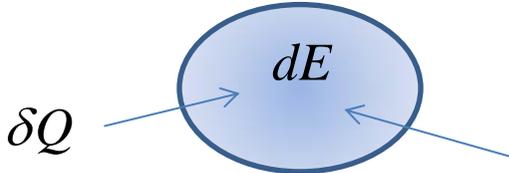
## 1.1.- La Energía, formas.

ENERGÍA  $E$  = capacidad de producir cambios. Es aditiva.

**Energías en tránsito:** *calor*  $Q$  *trabajo*  $\tau$

**Energía interna**  $U$ : asociada a la materia o a un campo, de una porción del universo llamada **sistema**.

Principio experimental de la conservación de la energía  $E$  en un sistema cerrado  $MaC$ , se formula en incrementos. Se amplía a sistemas abiertos en el **Cap. 2**. Ver **Anexo I** para el 2º Principio:

$$dE = \overbrace{\delta Q}^{\text{Función del camino}} + \overbrace{\delta \tau}^{\text{Función del camino}} ; \quad \overbrace{E}^{\text{Función de estado}} = \overbrace{U + E_{cin} + E_{pot} + \dots}^{\text{Aditiva}}$$


(1.1)

[Elaborado por el autor]

### Formas de energía:

#### 1.- Microscópicas $U$ : estructura molecular

**Nuclear** o másica: (p. e. fisión y fusión):  $E = mc^2$

**Química** (p. e. combustión de los combustibles fósiles)

**Térmica**: debida al estado de agitación desordenada de la materia

## 1.1.- La Energía, formas (cont.).

**2.- Macroscópicas:** sistema en relación a un marco de ref. exterior.

**Cinética** debida al movimiento ordenado de la materia (p. e. eólica , olas)  $E_{cin}$ .

**Potencial** generalmente gravitatoria (p. e. hidráulica)  $E_{pot}$ .

**Elástica:** deformación, p. e. un muelle, energía de presión, acústica

**Eléctrica** distribución y velocidad de cargas (electricidad)  $E_e$ .

**Radiación electromagnética** (p. e. microondas, luz, ondas de radio, rayos X, rayos  $\gamma$ , rayos cósmicos, etc.).

Unas formas de energía pueden transformarse en otras, respetando las leyes de la termodinámica.

Para poder **transferir** y **transformar** energía hace falta una "fuerza motriz", p. e. la diferencia temperatura para el calor, la diferencia de tensión para la corriente eléctrica, la diferencia de presión para movimiento. Se oponen al proceso hacia el equilibrio las disipaciones, que aumentan la entropía.

## 1.2.- Fuentes primarias de energía, transformaciones y consumos.

**Fuente:** Disposición o sistema que permite transferir energía a otro sistema. Fuente primaria es la existente en la naturaleza. Puede ocurrir:

- Por flujo de energía, p. e. energía solar.
- Por acumulación o depósito, p. e. combustibles.

**Renovable:** la naturaleza repone lo consumido.

**No renovable:** hay un depósito finito en la naturaleza.

**Comercial:** Participan en un mercado con moneda.

**No comercial:** No participan en un mercado, p. e. leña recolectada por sus usuarios.

**Moderna:** Uso de tecnología reciente, p. e. una pila.

**Tradicional:** casi coinciden en concepto con las no comerciales p. e. leña o estiércol para cocinar y calentarse. El carbón vegetal es tradicional, pero es comercial y es renovable si no deforesta.

## 1.2.- Fuentes primarias de energía, transformaciones y consumos (cont.).

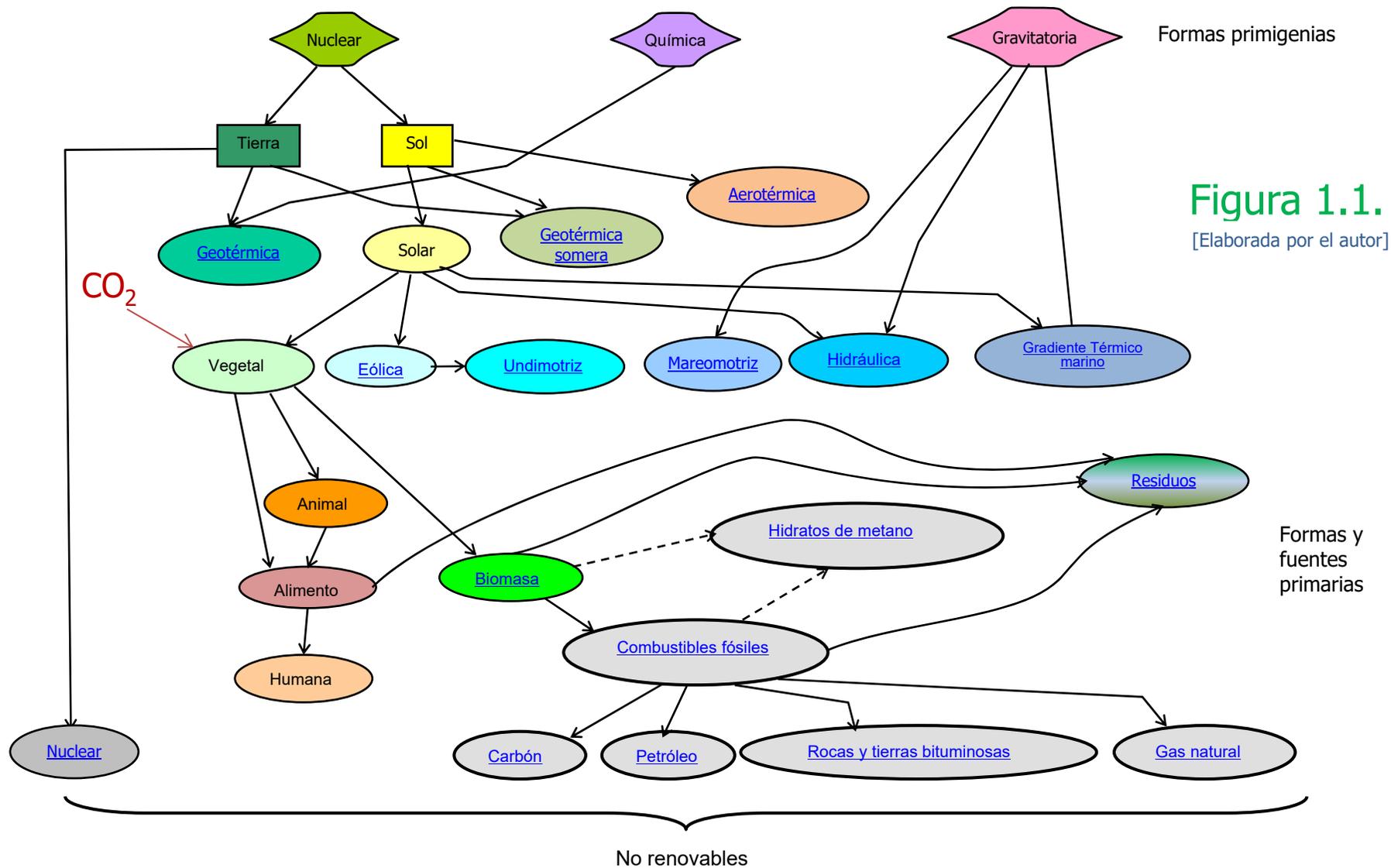


Figura 1.1.  
[Elaborada por el autor]

El **aire térmico** (aeroterminia) y la **geotérmica somera** se usan en invierno como fuente para bombear calor hacia el interior de los edificios con efectos de calefacción. En verano como sumideros, con efectos frigoríficos.

## 1.3.- Clasificación de las energías y procesos de producción.

- I. **Primaria**: obtenida directamente de la fuente p. e. crudo, solar aprovechada. Oficialmente, la que entra por la frontera del país + la extraída autóctonamente.
- II. **Secundaria**: convertida en otro tipo de energía (en una planta industrial) p. e. briquetas de biomasa, derivados del petróleo, electricidad.
- III. **Final**: adquirida en la forma deseada por el consumidor p. e. electricidad, gasolina, leña, vapor, agua fría para climatización.
- IV. **Útil**: Empleada por el usuario para producir el efecto deseado tras su última conversión. P. e. transformaciones en un producto, servicio deseado, etc.

NOTA: La clasificación en secundaria o final y entre final y útil dependen del detalle con que se realice el análisis.

### Se hace uso de:

- **Productos energéticos**: si proceden de una fuente, p. e. gasolina, que procede del petróleo, biomasa identificable como tal. Pero un biogás puede diferir tanto de su fuente y ser ésta tan variada que no es identificable, p. e. biogás procedente de fermentación de lodos de depuradora de aguas negras urbanas.
- **Vectores energéticos**: si no proceden de una fuente directamente, p. e. electricidad, que procede de otras fuentes y típicamente variadas; hidrógeno que se separa de otras sustancias.

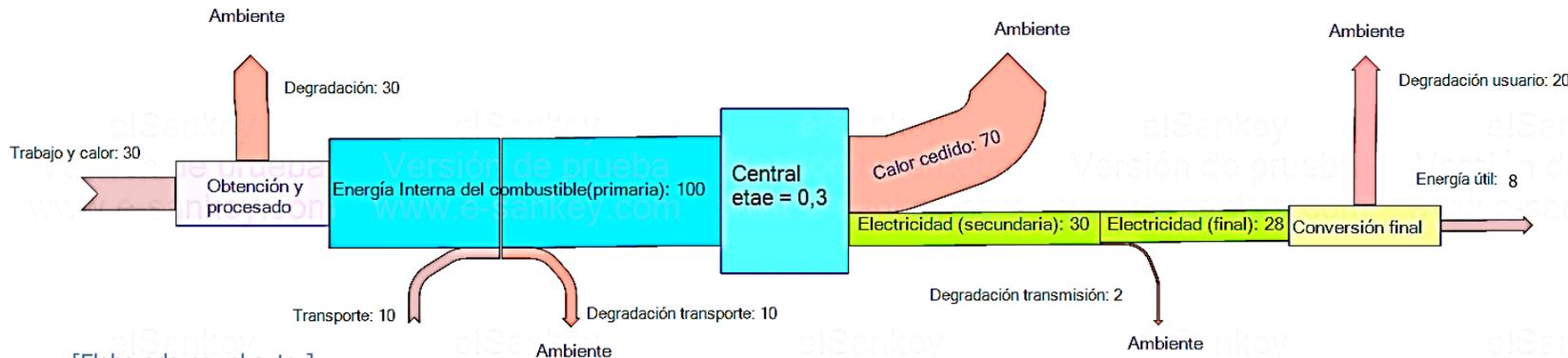
Existen energías que emiten carbono directamente a la atmósfera contribuyendo al efecto invernadero y otras no. (libres de carbono). Otras son neutras, p. e. la biomasa, que si es renovable, aunque emite CO<sub>2</sub> al quemarse, lo fija con la fotosíntesis.

### 1.3.- Clasificación de las energías y procesos de producción (cont.).

- Procesos en la producción de energía, diagramas de Sankey

- 1.- **Captación y concentración:** extracción, enriquecimiento, generación de presión hidráulica, ....
- 2.- **Transporte a la planta:** oleoductos, transporte ferroviario, por carretera ...
- 3.- **Conversión:** a electricidad o calor
- 4.- **Transporte y distribución a los consumidores.**
- 5.- **Consumo con posible conversión.**

Possible consumo de energía adicional, externa y/o propia, para el transporte y procesado.



[Elaborada por el autor]

**Figura 1.2.-** Diagrama de [Sankey](#) para la electricidad. Las energías adicionales empleadas son 30+10 en este caso (primarias y/o secundarias) para 100 del combustible (140 en total) considerada fuente primaria y obtener 8 útil.

- Poner la energía final en manos del consumidor supone un consumo de energía exterior o propia que hace mayor la energía primaria que la final y mayor la de la fuente que la primaria; en muchas ocasiones, varias veces superior,  $8/140 = 5,7\%$ .

- **Ejercicio 1.1:** Las entradas y salidas dependen de las fronteras del sistema termodinámico elegido. En la [Figura 1.2](#) determine la eficiencia energética, o rendimiento, en el uso de la electricidad en los siguientes casos:

**1.1.a.-** Obtención y procesado.

**Solución:**  $\eta_o = \frac{100}{130} = 0,769$

**1.1.b.-** Transporte del combustible al país de consumo (energía final).

**Solución:**  $\eta_{tc} = \frac{100}{110} = 0,909$

**1.1.c.-** Obtención, procesado y transporte del combustible al país de consumo (energía final).

**Solución:**  $\eta_{otc} = \frac{100}{140} = 0,714 \neq \eta_o \eta_{tc}$

**1.1.d.-** Central eléctrica.

**Solución:**  $\eta_c = \frac{30}{100} = 0,3$

**1.1.e.-** Transporte de electricidad.

**Solución:**  $\eta_{te} = \frac{28}{30} = 0,933$

**1.1.f.-** Conversión final (consumo). ←

**Solución:**  $\eta_{cf} = \frac{8}{28} = 0,286$

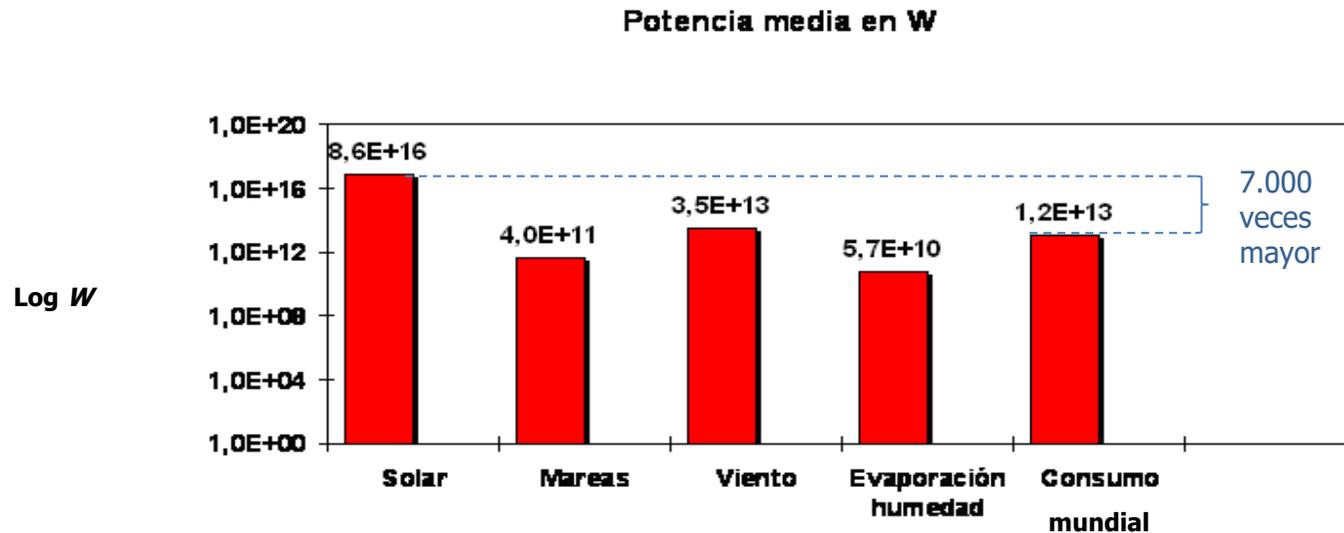
**1.1.g.-** De la cuna a la tumba.

**Solución:**  $\eta = \frac{8}{140} = 0,0571 = \eta_{otc} \eta_c \eta_{te} \eta_{cf}$

Sin embargo, a nivel global se entiende que: *producción de energía = consumo de energía*, salvo que haya variación en el almacenamiento. Luego, se consideran las pérdidas parte del consumo. Véase que esto ocurre en la [Fig. 1.5](#).

## 1.4.- Escalas del consumo. Evolución histórica del consumo, previsiones.

- Escala planetaria de los recursos renovables



**Figura 1.3**

[Elaborada por el autor]

**Ejercicio 1.2.** Estimación de la potencia solar media **incidente** en la superficie del planeta:

$$W = G_o A = \underbrace{1.367 \frac{W}{m^2}}_{\text{Irradiancia en el espacio exterior}} \underbrace{\pi \frac{(12,7 \times 10^6 m)^2}{4}}_{\text{Sección frontal del planeta A}} \underbrace{0,5}_{\text{Solo durante el día}} = 8,66 \times 10^{16} W = 2,73 \times 10^{24} \frac{J}{\text{año}}$$

☞ El planeta está en condiciones estacionarias, ni se calienta ni enfría, luego la potencia solar que entra sale. El calentamiento global es imperceptible a efectos energéticos así como la fosilización.

- Escala planetaria de los recursos fósiles: más adelante ser verá al presentarlos, **Caps. 3, 4 y 5.**

## 1.4.- Escalas el consumo. Evolución histórica del consumo, previsiones (cont.).

- Consumo de energía: escala humana y desarrollo

Desarrollo

Tabla  
(1.1)

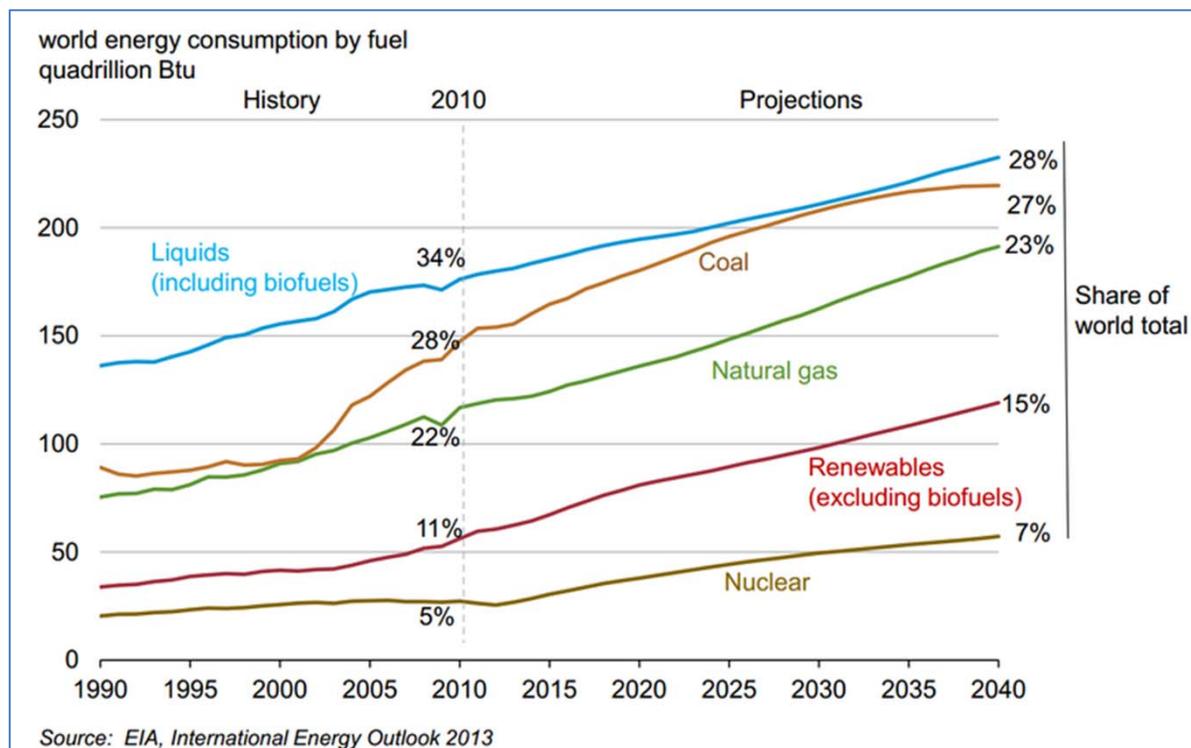
	Período	Alimento	Residencial y comercial	Industria y agricultura	Transporte	Total
1	Primitivo (hace 1 millón de años)	2	0	0	0	2
2	Cazador (hace 100.000 años)	3	2	0	0	5
3	Agricultor primitivo (hace 7.000 años)	4	4	4	0	12
4	Agricultor avanzado (hace 600 años)	6	12	7	1	26
5	Industrial (hace 100 años)	7	32	24	14	77
6	Tecnológico (actual)	10	66	91	63	230

Consumo de energía medio individual diario del ser humano en distintas etapas del desarrollo (Mcal) pues 2 es un mínimo indicativo para la subsistencia. El aumento en el alimento se debe al procesado y pérdidas.

**AIE = Agencia Internacional de la Energía IEA:** <http://www.iea.org/>

## 1.4.- Escalas el consumo. Evolución histórica del consumo, previsiones (cont.).

- Consumo de energía: histórico y población [Más información](#)



EIA, International Energy Outlook 2013, Dominio público, [https://www.eia.gov/pressroom/presentations/sieminski\\_07252013.pdf](https://www.eia.gov/pressroom/presentations/sieminski_07252013.pdf)

Figura 1.4.

- 2 causas del aumento de consumo: aumento de la población y aumento del consumo individual al ocurrir el desarrollo.
- Tras la revolución industrial siguió aumentando la población mundial, pero el consumo per cápita ha aumentado más rápidamente, especialmente en los países desarrollados.
- Aún persisten ~ 1/3 de la población mundial en los periodos 4 o 5.
- Las previsiones de consumo futuro solo pudieran disminuir si: disminuye la población (línea negra) y se ajusta el consumo. Pero se anticipan aumentos en ambos, en China, India y África, Fig. 2.1.

## 1.4.- Escalas el consumo. Evolución histórica del consumo, previsiones (cont.).

### • Consumo de energía: histórico y población [Más información](#)

- Según [estimaciones](#), p.e. de British Petroleum (BP) en 2018, para el año 2040, el Producto Interior Bruto mundial (PIB) se duplicará fruto de:
  - Aumento de la población mundial.
  - Incremento en la prosperidad de las personas que viven en países en vías de desarrollo, progreso que conllevará un crecimiento del 33% de la demanda de energía.

Por tanto, el sector energético se enfrenta a un doble reto:

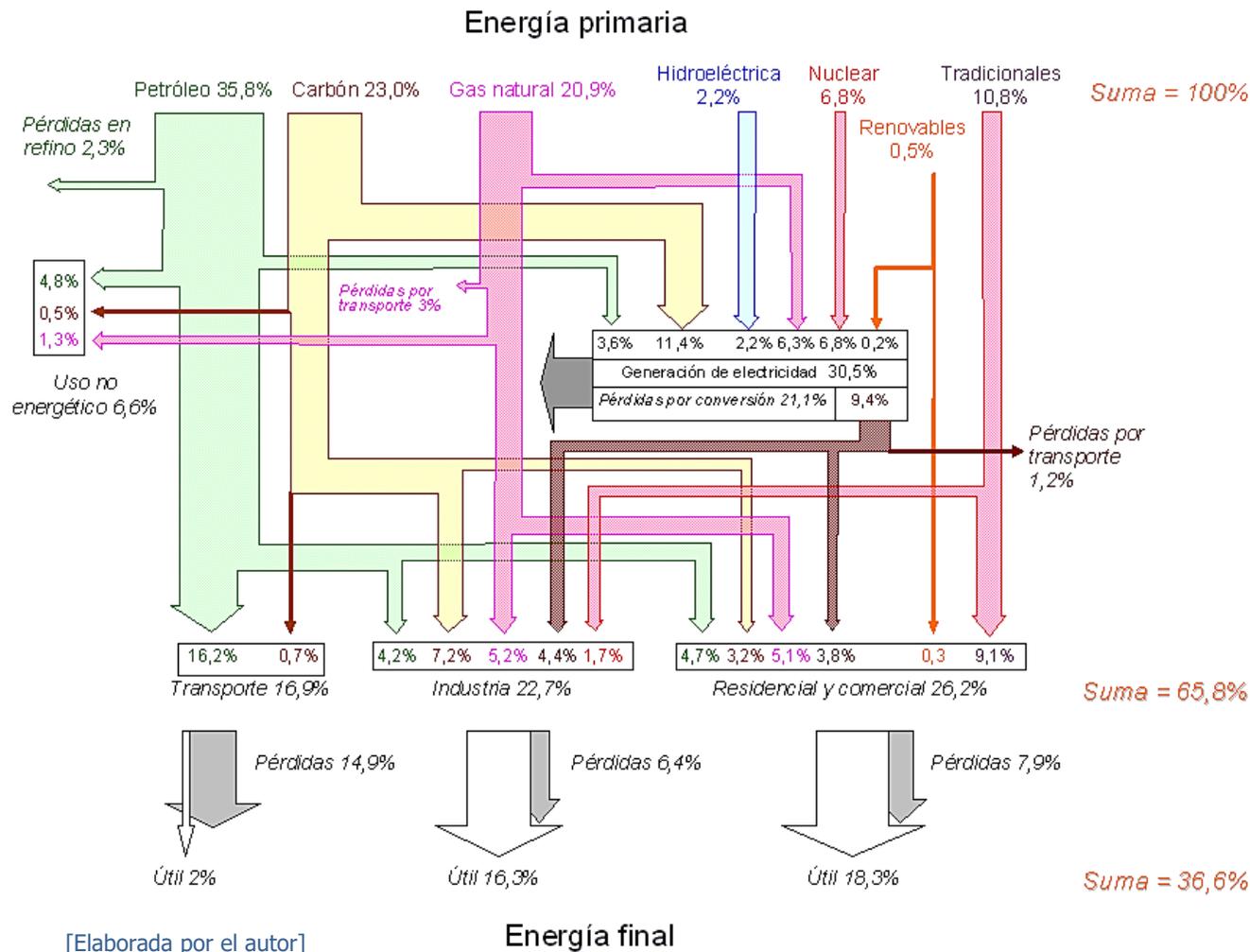
- Por un lado, dar respuesta a esa mayor demanda energética que el mundo necesita para continuar desarrollándose.
- Por otro, seguir reduciendo las emisiones de efecto invernadero (principalmente CO<sub>2</sub>) para limitar el calentamiento global a menos de 1,5 °C [IPCC](#).

En la transición energética en marcha, los combustibles fósiles, que hoy en día representan el 85% de la energía primaria, mantendrán una importante cuota en el mix energético. Así:

- El petróleo y el gas acapararían en torno al 50% en el año 2040, si bien hay planes de su práctica eliminación en países desarrollados.
- El carbón será el que experimente una mayor volatilidad, pudiendo suponer desde un 20% en los escenarios más continuistas, hasta un 10% en aquellos escenarios en los que un precio alto por tonelada de CO<sub>2</sub> emitida le penalice en mayor medida.

En este sentido, según BP, puede desterrarse la idea de que el planeta va a agotar sus reservas de petróleo y, más bien al contrario, es muy probable que se queden grandes cantidades sin extraer finalmente. Esto es así, en parte, porque los altos precios del petróleo han incentivado el desarrollo tecnológico, tanto en la producción convencional de energía como en la no convencional. De esta forma, las reservas petroleras recuperables con la tecnología actual son más del doble de la demanda acumulada de petróleo hasta 2050, y podrían llegar hasta el triple si se tienen en cuenta el desarrollo tecnológico y los nuevos descubrimientos.

# 1.5.- Transformaciones y consumos, diagramas de Sankey.



## Conclusiones:

- El consumo se reparte entre 3: Transporte, Industria y, Residencial, servicios y Comercial, a partes más o menos iguales.
- Hay muchas pérdidas hasta el usuario final, especialmente en la generación de electricidad y en el transporte, por convertir calor en trabajo en las centrales para la electricidad y en el uso final en "otros usos".
- En estos diagramas las entradas coinciden con las salidas (producción = consumo+pérdidas) pues el almacenamiento es muy pequeño y varía poco.

**Figura 1.5.-** Diagrama de Sankey, flujo simplificado de la **energía mundial, de elaboración propia**. Muestra valores desde la fuente hasta el consumidor en % del consumo total, para la media en el periodo 1985 a 1990. Residencial, servicios y comercial se denomina también **sector terciario**. El grueso de las flechas representa, aproximadamente, el flujo energético. Las pérdidas por transporte de electricidad se denominan también pérdidas por transmisión. A menudo se considera energía final justo antes de la útil, pues es la que se comercializa. Fuente de datos: varios, incluyendo programa Ambiental de Naciones Unidas ([UNEP/GRID - Arendal](#)).

## 1.5.- Transformaciones y consumos, diagramas de Sankey (cont.).

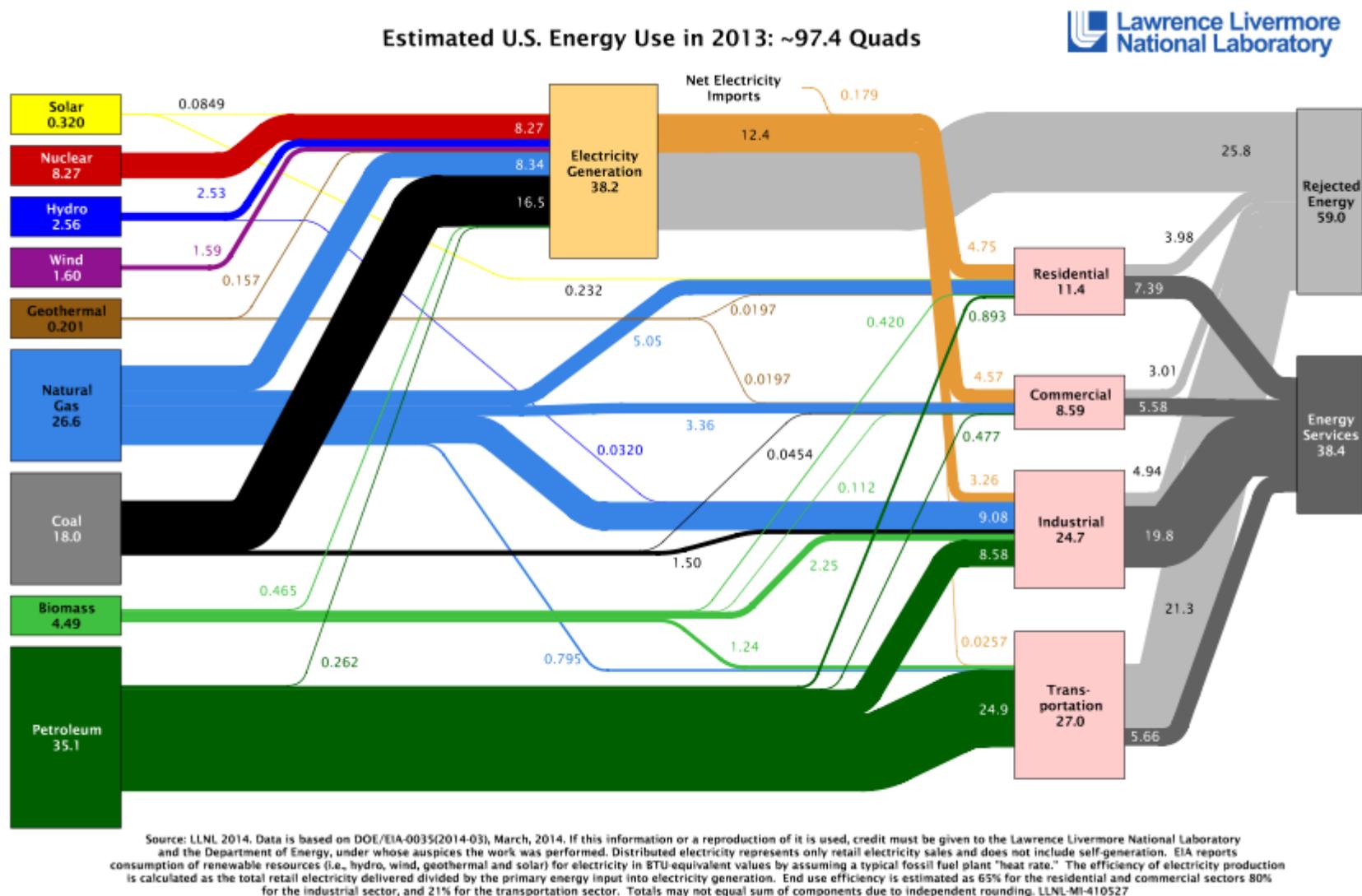
**Figura 1.6.-** Diagrama de Sankey de la **energía anual mundial** con las emisiones asociadas de CO<sub>2</sub> equivalente e incluyendo alimento.

Acceso: [http://www.sankey-diagrams.com/wp-content/gallery/o\\_gallery\\_202/global-energy-conversion-to-economic-services1.png](http://www.sankey-diagrams.com/wp-content/gallery/o_gallery_202/global-energy-conversion-to-economic-services1.png)

Fuente original: Jonathan M. Cullen, Julian M. Allwood, The efficient use of energy: Tracing the global flow of energy from fuel to service, Energy Policy, Volume 38, Issue 1, January 2010, Pages 75-81. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2009.08.054>

La suma vertical de: a) los números negros a la izquierda de la primera columna sobre fondo blanco b) dentro de cada flujo, alineados verticalmente, a la izquierda, suman igual, 475 EJ. No hay pérdidas en este diagrama, atribuyéndose corriente abajo. Por eso los materiales (154 EJ) llevan consigo la energía hasta el final. **La biomasa no consta con emisiones de CO<sub>2</sub> directas.**

## 1.5.- Transformaciones y consumos, diagramas de Sankey (cont.).



**Figura 1.6bis.-** Diagrama de Sankey de la energía anual en EEUU indicando las pérdidas desde la energía primaria hasta el usuario. [Fuente.](#) Origen: Lawrence Livermore National Laboratory y Department of Energy, gobierno de EEUU. Uso público.

## 1.5.- Transformaciones y consumos, diagramas de Sankey (cont.).

- La [Fig. 1.5](#) es de tipo diferente a [Fig. 1.6](#) (mundial) y [Fig. 1.7](#) (España):
  - En [Fig. 1.5](#) se indican las pérdidas en gris, así mostrando la menor energía disponible al progresar hasta el usuario, incluso pérdidas en el uso final. No se pone de manifiesto detalle de la energía involucrada en productos no energéticos, sino meramente "industria". En "uso no energético" solo está el uso directo de los productos energéticos. Pero suma 100% la producción y el consumo.
  - En el segundo, [Fig. 1.6](#), y [Fig. 1.7](#) **no se eliminan las pérdidas**; el consumo mundial es el mismo en las 5 columnas desde la primaria hasta la final. Tan solo hay una redistribución de las distintas formas de energía en los distintos sectores distribuidores, caracterizados por colores. Multitud de productos incorporan una "mochila" energética. Así, en [Fig. 1.6](#):
    - La salida en forma de electricidad es igual a la entrada (a las centrales). Para poder atribuir a cada uso la energía total necesitada, primaria en este caso.
    - En "Factory" la salida son todo pérdidas, pues el producto no es energético en absoluto, pero va a engrosar la mochila energética de cada producto o servicio.
    - "Sustenance + Hygiene + Thermal comfort" suman más que el transporte y no son considerados consumos enteramente energéticos; por ejemplo, la comida y la bebida, consumen energía en su elaboración y transporte (incluido en otra parte al no haberse segregado qué parte del transporte corresponde a cada tipo de mercancía).
    - Las estructuras resistentes de todo tipo equivalen a la mitad de todo el consumo energético del sector transporte. Se consume energía en su producción, no son un producto energético ni consumen energía una vez instaladas.
  - El [sector servicios](#) no está identificado como tal, sino a través de los distintos consumos. Es una manera de caracterizar el consumo final entre transporte, industria y residencial+[comercio](#)+servicios. Expresados en la [Fig. 1.7](#), similarmente al diagrama de la [Fig. 1.5](#).

# 1.5.- Transformaciones y consumos, diagramas de Sankey (cont.).

GRÁFICO 2.6. DIAGRAMA DE SANKEY DE LA ENERGÍA EN ESPAÑA EN 2010 (METODOLOGÍA AIE)

(Los % del diagrama están referidos al total de Energía Primaria)

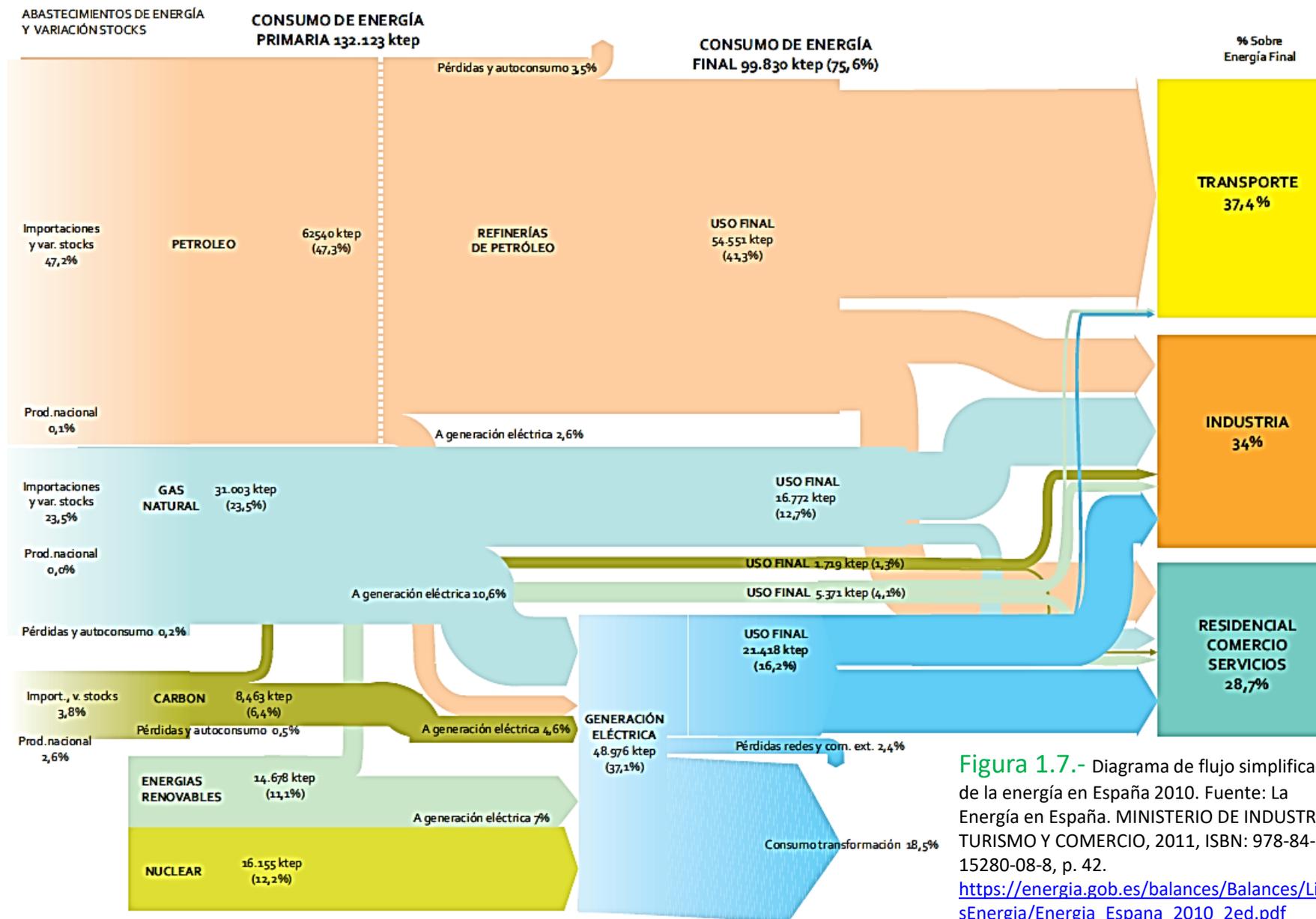


Figura 1.7.- Diagrama de flujo simplificado de la energía en España 2010. Fuente: La Energía en España. MINISTERIO DE INDUSTRIA, TURISMO Y COMERCIO, 2011, ISBN: 978-84-15280-08-8, p. 42.  
[https://energia.gob.es/balances/Balances/LibroS\\_Energia/Energia\\_Espana\\_2010\\_2ed.pdf](https://energia.gob.es/balances/Balances/LibroS_Energia/Energia_Espana_2010_2ed.pdf)

## 1.5.- Transformaciones y consumos, diagramas de Sankey (cont.).

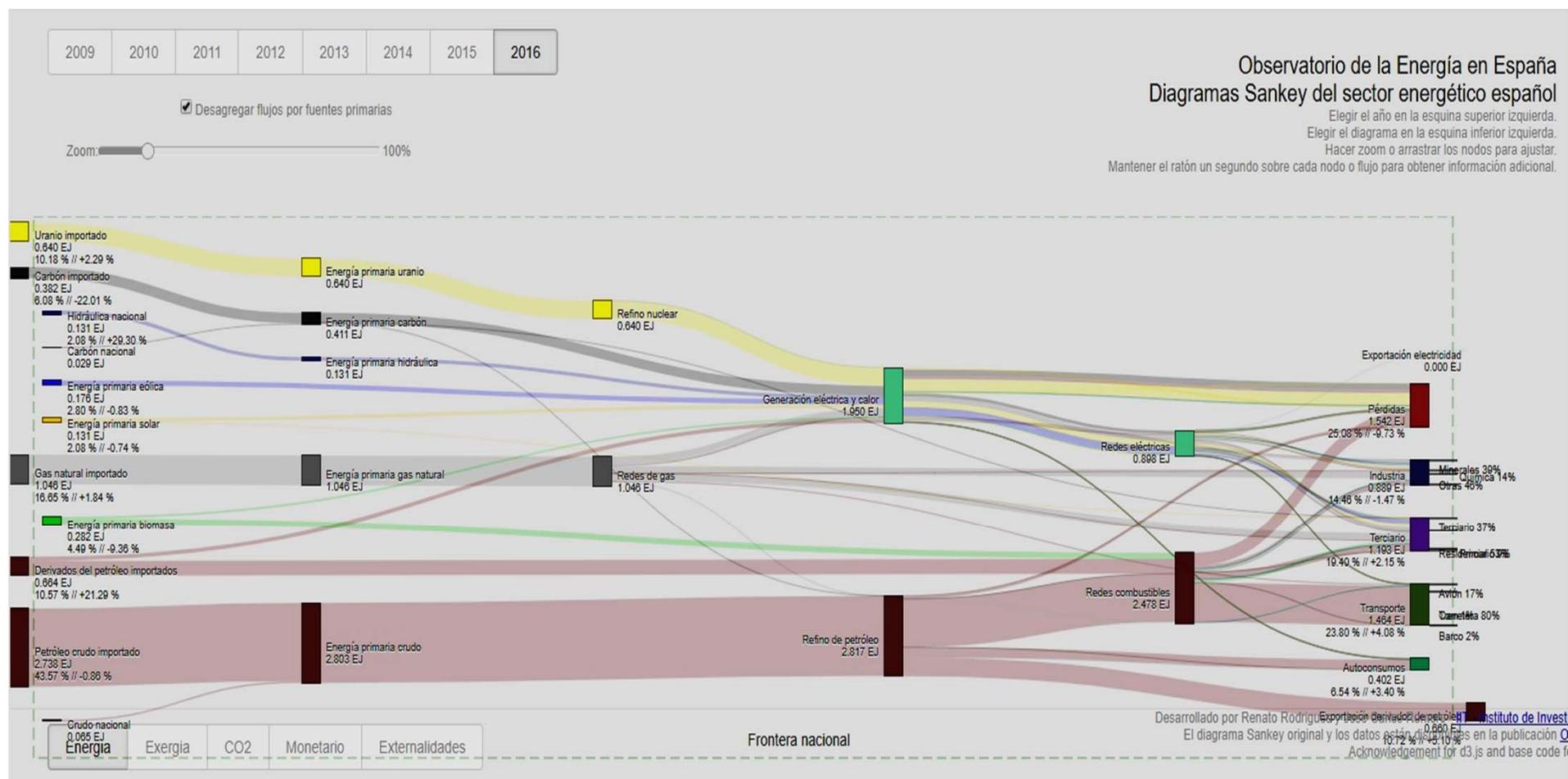


Figura 1.7bis.- Diagrama de flujo del consumo anual de energía en España 2016. Fuente interactiva y más información, incluyendo CO<sub>2</sub> y moneda: [Cátedra BP de Energía y Sostenibilidad](#). Obsérvese la escasa energía de fuentes nacionales. El uranio importando puede incluir uranio minado en España.

## 1.6.- El sistema eléctrico español

- A diciembre de 2019 el [sistema eléctrico en España](#):
  - Capacidad de [generación](#): 110 GW.
  - [Pico](#) de consumo:  $\approx 35$  a 40 GW }  $\Rightarrow$  Sobrecapacidad de generación del 150%.
  - [Red de distribución](#) sobredimensionada, por seguridad en el suministro.
  - $\approx 40\%$  renovable (GWh) en 2019, significa:
    1. Necesidad de sobre-capacidad generadora para satisfacer picos de consumo en días laborables calmos (eólica a cero) e incluso sin sol (termosolar y fotovoltaica a cero) y recarga de nucleares.
    2. Exceso de producción [eólica](#) en noches ventosas, record del 64% del consumo instantáneo (potencia) en 2012.
- Muestra dos picos de consumo, por la mañana y por la tarde, a causa del sector doméstico (31% consumo), residencial, y comercial, servicios y pequeña empresa (16%). Por la noche consumo mínimo (valle), véanse [Caps. 3 y 5](#).
- El frío y la oscuridad (amanecer y parte primera de la noche) tienden a aumentar los picos de consumo en invierno, pero el aire acondicionado ha logrado que el pico de verano a mediodía los supere, en días calurosos.
- La industria consume en jornada laboral, por lo que en fin de semana cae el consumo global.
- El valle de consumo nocturno lo cubre la nuclear, que no puede parar, las renovables por gozar de prioridad y las demás hasta igualar el consumo. Caso de haber un exceso de renovables se ordena parar lo necesario.
- Mercado: se satisface el consumo en una subasta donde se empieza a precio nulo, determinando el último en entrar el precio para todas. Si hay eólica y otras sobrantes entran las centrales de bombeo almacenamiento, véase [Caps. 3 y 5](#).

## 1.7.- Unidades técnicas de energía

### Unidades de masa y volumen de interés energético

1 m<sup>3</sup> = 6,29 petroleum barrels (U. S.)

1 barrel (bbl) = 42 U. S. Gallons = 35 Imperial Gallons

1 U. S. Gallon = 3,785 l

1 U. K. Gallon = 1,2 U. S. Gallon

Unidad de Masa Atómica, 1 uma =  $1,66 \cdot 10^{-24}$  g

1 lb = 454 g

1 ton (short o 2.000 lb avoirdupois) = 907 kg

1 ton (long) = 2.240 lb = 1.017 kg

1 tonelada métrica (tonne o Tm) = 1.000 kg

### Unidades de superficie

1 ha (hectárea) = 10.000 m<sup>2</sup>

## 1.7.- Unidades útiles (cont.).

### Unidades de energía

1 kWh = 1.000 J/s × 3.600 s = 3,6 MJ

1 BTU (British Thermal Unit) = 1,054 kJ

1 cal (caloría-gramo) = 4,184 J. 1 caloría alimenticia = 1 kcal

1 frigoría = 1 kcal de frío.

1 termia =  $10^6$  cal ~ 1 termia inglesa (therm) =  $10^5$  BTU

1 electrón-voltio (ev) =  $1,6 \cdot 10^{-19}$  J

### Unidades de potencia

1 CV (caballo de vapor métrico, unidad francesa) = 75 Kg × m/s (Kilogramo fuerza × metro/segundo) = 735,5 W = 0,9863 hp (*horse power*)

1 hp = 745,7 W

## 1.7.- Unidades útiles (cont.).

### Combustibles de referencia y unidades de energía

**tep** (toe inglés) = Tonelada equivalente de petróleo, energía liberada al arder 1 tonelada métrica de petróleo de referencia (*PCI* de 41,87 MJ/kg<sub>p</sub>) = 10<sup>7</sup> Kcal/kg<sub>p</sub> (AIE)

**tec** (tce inglés) = Tonelada equivalente de carbón, energía liberada al arder 1 tonelada métrica de carbón de referencia (*PCI* de 29,3 MJ/kg<sub>c</sub>)

**bep** (boe inglés) = barril equivalente de petróleo, energía liberada al arder un barril de petróleo de referencia = 6,117 GJ de *PCS* o 5,4 GJ de *PCI*. No hay unanimidad.

### Equivalencias

1 tec = 29,3 MJ/kg<sub>c</sub>/41,87 MJ/kg<sub>p</sub> = 0,7 tep

1.000 m<sup>3</sup> de gas natural (c. n.) = 0,93 tep (con *PCS* típico de 57 MJ/kg)

1 MWh de electricidad (hidráulica, eólica, solar no térmica) o en general de cualquier otra energía = 3.600 MJ/41,85 MJ/kg<sub>p</sub> = **0,0860 tep**

1 MWh de electricidad (de sustitución, producida térmicamente p. e. carbón, petróleo o nuclear, asumiendo un rendimiento medio de 0,33, aunque en España excede ligeramente 0,4) = 0,0860/0,33 = **0,2606 tep. NO HAY ACUERDO**, véase [Tabla 1.1](#).

1 barril de petróleo (bbl) puede variar según su *PCI* y densidad. Generalmente 1 tonelada contiene de 6 a 8 barriles de petróleo. Un valor corriente es 1 bbl oil = 136 kg.

**1 tonelada equivalente de madera** (15% de humedad) = 0,45 tep.

## 1.7.- Unidades útiles (cont.).

### Equivalencias entre unidades

Valores estimados	(tep/Tm)	Coefficientes recomendados por la AIE	(tep/Tm)
CARBON: Generación eléctrica:		PRODUCTOS PETROLÍFEROS:	
- Hulla	0,5038	- Petróleo crudo	1,019
- Antracita	0,4662	- Condensados de Gas natural	1,080
- Lignito negro	0,3006	- Gas de refinería	1,150
- Lignito pardo	0,1785	- Fuel de refinería	0,960
- Hulla importada	0,5851	- G.L.P.	1,130
Coquerías:		- Gasolinas	1,070
- Hulla	0,6975	- Keroseno aviación	1,065
Resto usos:		- Keroseno agrícola y corriente	1,045
- Hulla	0,6095	- Gasóleos	1,035
- Coque metalúrgico	0,7050	- Fuel-oil	0,960
		- Naftas	1,075
		- Coque de petróleo	0,740
		- Otros productos	0,960
		GAS NATURAL (Tep/GCal PCS)	0,090
		ELECTRICIDAD (Tep/MWh)	0,086
		HIDRAULICA (Tep/MWh)	0,086
		NUCLEAR (Tep/MWh)	0,2606

Tabla 1.1.- Coeficientes de paso a toneladas equivalentes de petróleo. En esta línea, ver lo indicado por el [IDAE](#) en la [Tabla 2.3](#), que usa 0,086 para electricidad final y lo que corresponda al rendimiento de la central y consumo energético adicional de cada tecnología para la energía primaria necesaria. P. e. 0,26 para nuclear y 0,42 para la biomasa empleada para producir electricidad, en España.

## 1.7.- Unidades útiles (cont.).

### Multiplicadores

Factor	Prefijo	Símbolo	Europeo	Americano	Símbolo
$10^{18}$	exa	E	Trillón	quintillion	
$10^{15}$	peta	P	Millar de billones	quadrillion (Quad)	Q
$10^{12}$	tera	T	Billón	trillion	
$10^9$	giga	G	Millar de millones	Billion	B, b o mm
$10^6$	mega	M	millón (millardo)	million	M
$10^3$	kilo	k	Millar	thousand	
$10^2$	hecto	H	Centenar	hundred	
10	deca	Da	Decena	Tenth	

[Elaborado por el autor]

Factores, prefijos y sus símbolos de multiplicadores de potencias de 10 en el uso europeo (long scale) y americano (short scale)

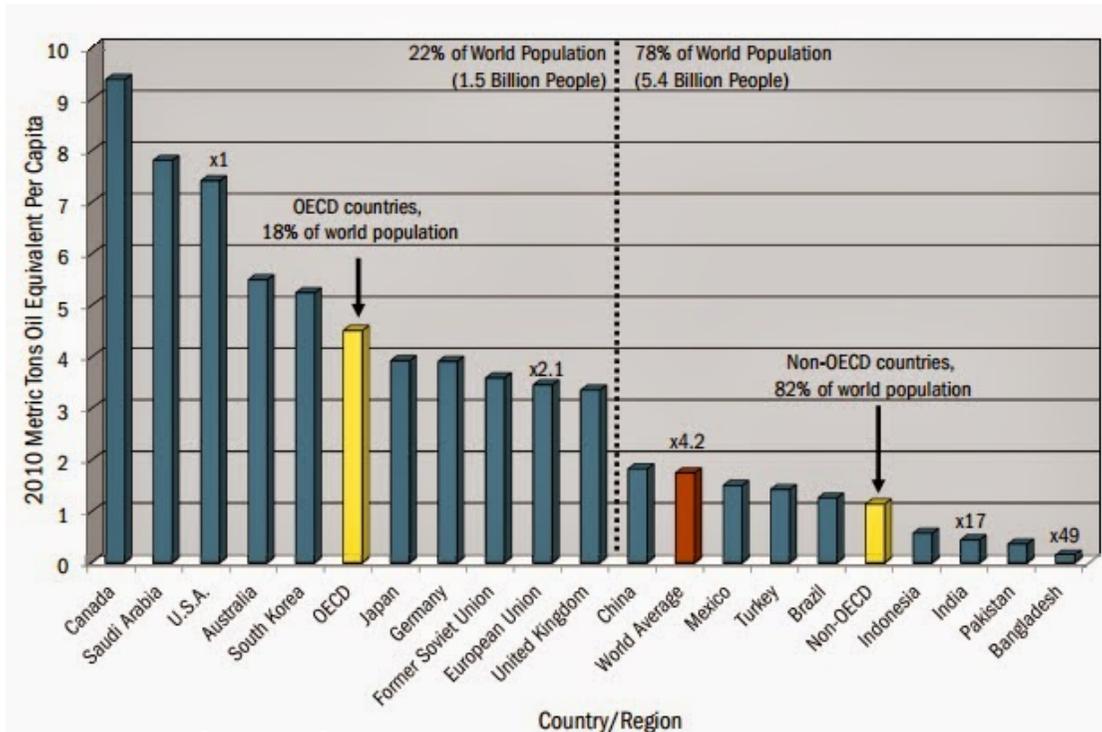
1 Quad de gas natural es  $10^{15}$  BTU

## 1.8.- Energía y desarrollo.

- El desarrollo humano ha ido parejo al consumo de energía, primero para garantizar la subsistencia y posteriormente para mejorar la calidad de vida.
  - La energía es necesaria para fabricar el hábitat humano y los elementos de uso cotidiano, incluyendo la sanidad, la iluminación y el agua.
  - La energía es necesaria para la obtención y conservación de los alimentos y otros, para la climatización, para el transporte (movilidad), para las comunicaciones y para posibilitar los medios de subsistencia, como el trabajo.
- Los sectores más desfavorecidos actualmente no pueden asumir el pago de las formas modernas de energía : combustibles y electricidad, salvo a niveles de pobreza energética. Es más, el acceso suele ser imposible (p. e. electricidad), difícil y poco fiable, dificultando el desarrollo. Afecta a unos 2.000 millones de humanos.
- Disponer energía ha permitido el desarrollo de la sociedad actual hasta su estado pos-tecnológico en los países más avanzados.
- Es reconocido que poner a disposición del ciudadano energía fiable y que éste pueda abordar, es motor del crecimiento económico y del desarrollo.

Resultado ...

## 1.8.- Energía y desarrollo.



### Consumo de energía per cápita:

- Grandes diferencias actuales.
- Los países ricos consumen más per cápita.

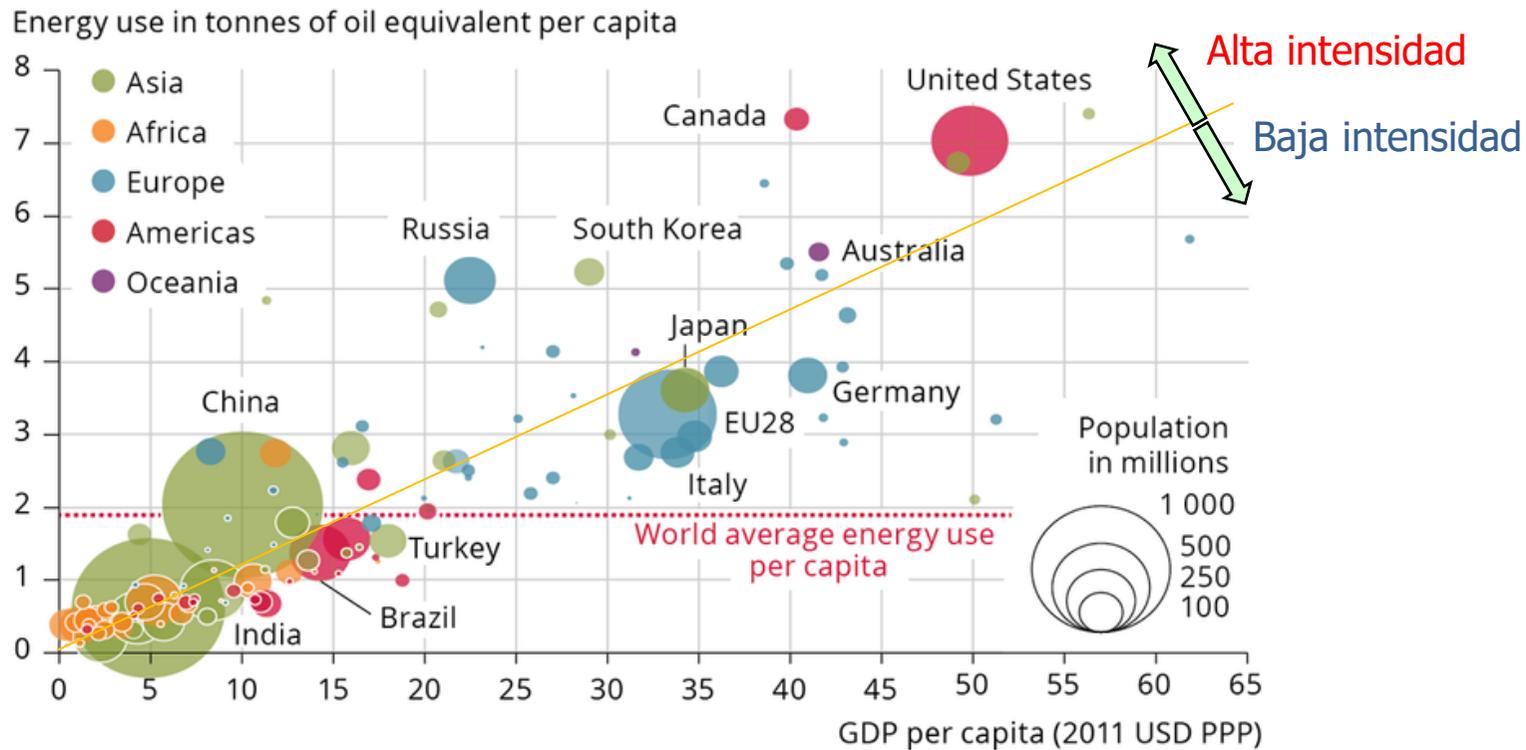
Figura 1.8.- Fuente: BP Statistical Review of World Energy, 2011 [uso permitido citando fuente original]

### Notas adicionales:

- 30% de la población consume el 90% de la energía.
- 30% de la población carece de acceso a formas modernas de energía 2.000 millones de habitantes.
- Los 20 millones de habitantes de Nueva York consumen la misma electricidad que consumirían 849 millones de personas del África subsahariana.

**Ejercicio 1.3:** el humano en periodo 4 de desarrollo (Tabla 1.1) consume al día 26 Mcal = 109 MJ = 39,7 GJ/año =  $39,7 / 5,4$  GJ/año/(5,4 GJ/boe) = 7,4 boe ≈ consumo per cápita de México. Ello indica que en México habrá una parte significativa de la población en periodo anterior al 4.

## 1.8.- Energía y desarrollo. (cont.).



Fuente: European Environment Agency, CC BY 2.5 DK, <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/figures/correlation-of-per-capita-energy>

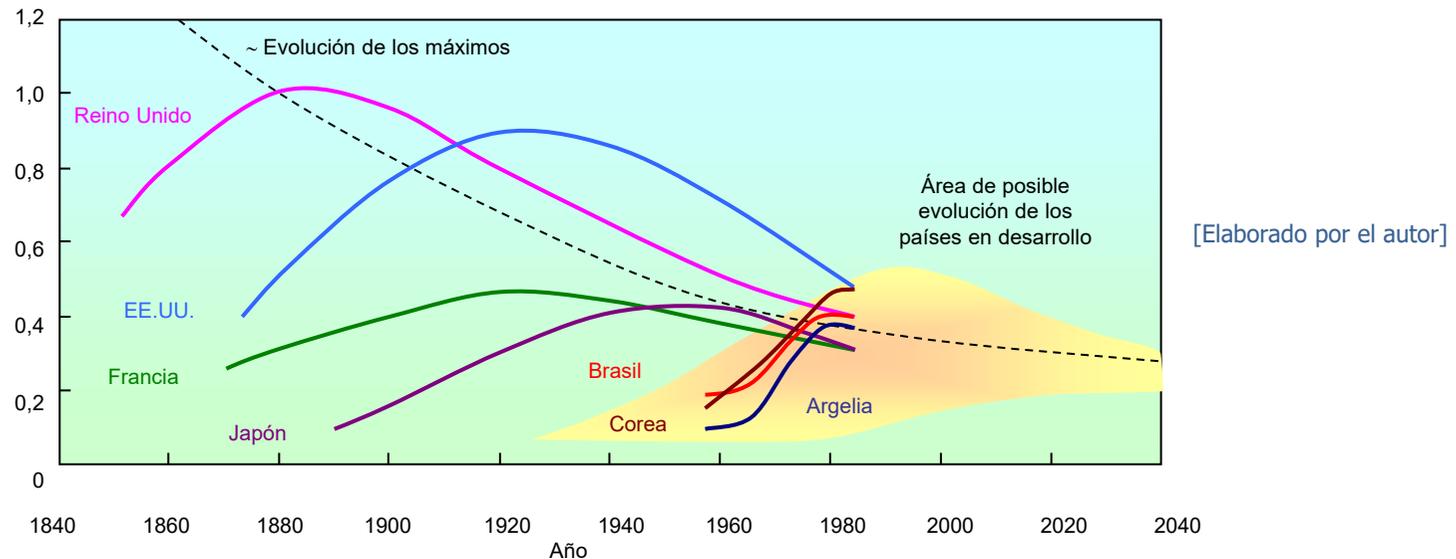
Figura 1.9. PIB (GDP) como función del consumo anual (kW media anual) per cápita en el mundo 2006. Fuente: AIE.

- Correlación positiva entre PIB y consumo. ¿Cuál es la causa y cual el efecto? → Interrelación.
- Por encima de 20.000 US \$ el consumo no aumenta tanto al progresar el PIB. Un video de “GDP per capita versus energy consumption” [http://www.youtube.com/watch?v=gtH7HC71f\\_c](http://www.youtube.com/watch?v=gtH7HC71f_c). ¿Porqué? → intensidad energética  $I$

## 1.9.- Intensidad Energética.

$$I = \frac{\text{Consumo}}{\text{PIB corregido por inflación}}$$

Evolución histórica de la Intensidad energética en tep por 1.000 US\$ de PIB de 1985, simplificada



### ETAPAS

- 1) El comienzo del desarrollo trae consigo un gran consumo para la construcción del país, resultado de políticas desarrollistas (ofrecer al ciudadano energía fiable que pueda pagar, precios subvencionados y facilidades), economía de sector primario, con lo que la intensidad sube.
- 2) Logrado el desarrollo se estabiliza la intensidad con medidas de eficiencia energética.
- 3) Un desarrollo ulterior ocasiona (dado el caso) un descenso por aumento de la eficiencia, precios reales de la energía, desplazamiento de la economía hacia mayores valores añadidos y sector servicios, reubicación (deslocalización) de industrias muy consumidoras a países con salarios y precios de la energía menores. Ver Tema avanzado 1.1.

## 1.10.- Política energética.

- Conjunto de medidas (leyes, tratados y directivas) que tratan de armonizar el binomio producción-consumo para el bienestar social, incluyendo:
  - Planificación en generación, transporte y consumo. [Ministerio para la Transición Ecológica](#)
    - **Obligatoria:** inversiones a realizar en un plazo determinado y retribución al inversor. En España se aplica a las redes de transporte de energía.
    - **Indicativa:** marco regulatorio respetando la libre iniciativa empresarial. En España se aplica a las centrales generadoras
  - Legislación sobre comercio, transporte y almacenamiento de energía.
  - Legislación sobre uso de la energía: control de [emisiones](#) y [eficiencia](#).
  - Instituciones públicas del sector energético de apoyo → Información al ciudadano e instituciones.
  - Legislación sobre exploración y explotación de fuentes fósiles.
  - Planes de investigación y prognosis.
  - Planes de incentivos a las distintas fuentes de energía.
  - Política fiscal sobre servicios y productos energéticos.
  - Medidas de **seguridad de suministro** de la energía de países extranjeros y/o propia.

## 1.10.- Política energética (cont.).

- Ejes europeos (política internacional) en política energética
  - 1) Seguridad en el suministro.
  - 2) Competitividad económica.
  - 3) Protección del medio ambiente.
- En España hay políticas nacionales, autonómicas y municipales.
- Tipos de empresas eléctricas en España y similar para productos petrolíferos:
  - 1) **Compañías generadoras o productoras** de electricidad, cuya función es producir la electricidad. Hay dos regímenes eléctricos, ordinario (tecnologías convencionales) y especial (con fuentes primarias renovables o residuos y la cogeneración). **Son privadas.**
  - 2) **Compañía transportista** que se encarga de llevar la energía por la red de alta tensión desde las plantas de generación hasta las estaciones de las empresas distribuidoras. **Es semi-pública (80% de acciones de SEPI):** Red Eléctrica Española REE.
  - 3) **Compañías distribuidoras**, que son las que se encargan del transporte de la electricidad hasta el domicilio del usuario. **Son privadas.**
  - 4) **Compañías comercializadoras**, que son las que compran energía y se la venden al usuario final. **Son privadas.**

## 1.11.- Costes y precios de la energía.

- Los costes de la energía se separan en grupos:
  1. Costes internos: asumidos por el productor, y por el usuario que los paga.

A su vez se pueden separar en (Véase [Cap. 8](#)):

- I. **Costes de capital (o fijos)**: no dependen de la cantidad producida. P. e. coste de ingeniería y gestión, obras, equipo inventariable, alquileres, personal fijo.
  - II. **Costes variables (circulantes o de operación)**: crecen con la cantidad producida. P. e. combustible, fungibles, mantenimiento.
  - III. **Otros costes**: superestructura de la empresa (costes generales o overheads), costes de finalización.
2. Costes externos o externalidades: Costes infligidos a terceras personas. P. e. costes debidos a la contaminación, salud, accidentes, agotamiento de recursos, subsidios. Pueden ser difíciles de evaluar.

Generalmente no están incluidos en el precio pagado por la energía, salvo con ciertos impuestos específicos, p. e. coste del almacenamiento de los residuos nucleares en España o impuestos medioambientales. Los impuestos generales suelen incluir parte de los costes externos de la energía, p. e. coste de los organismos reguladores del mercado de la energía, institutos de vigilancia e inspección energéticos.

## 1.11.- Costes y precios de la energía (cont.).

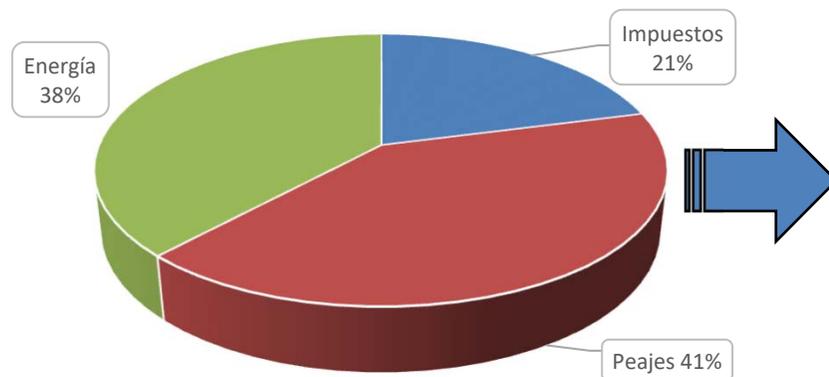
- Como consecuencia de los costes, resulta un precio de venta, que incluye el beneficio del productor o proveedor de servicios energéticos.
- A todo capital es necesario atribuir una tasa de interés.
- La energía se comercializa en mercados:
  - Regulados, por el gobierno: transporte y distribución
  - Liberalizados: producción y comercialización
- Caracterización de costes
  - **Las energías renovables y la nuclear:** están caracterizadas por unos costes de amortización elevados y costes de operación bajos. Costes externos reducidos para la renovables y elevados para la nuclear, si bien hay controversia, véase [Figs. 1.12 y 1.13](#).
  - **Las energía fósiles:** Están caracterizadas por unos costes de operación elevados (por el combustible), salvo la nuclear. Costes externos elevados por el impacto ambiental, la contaminación y el agotamiento de recursos.

## 1.14.- Actividades.

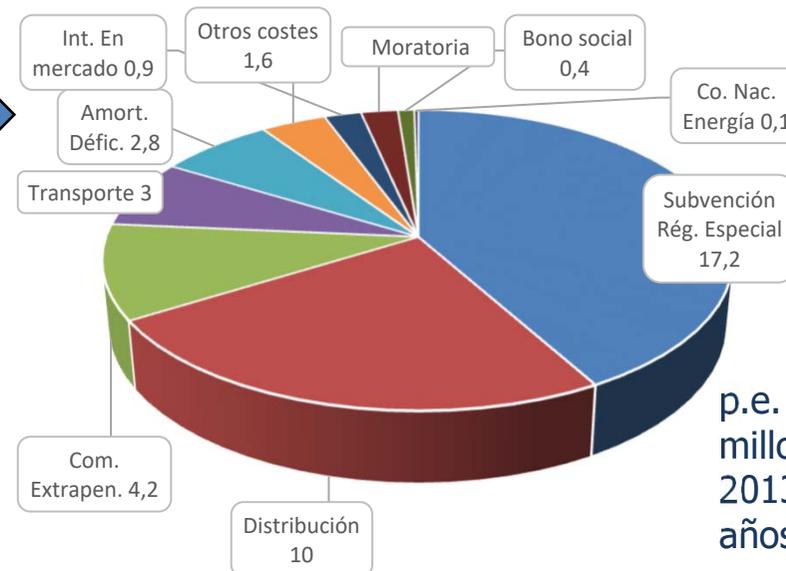
**Actividad 1.0:** Indique la composición de la factura de la electricidad para pequeños consumidores a tarifa (PVPC) y cuánto corresponde a conceptos adicionales al consumo de la energía.

### Solución:

- Composición del recibo de la luz en España (simplificación). Se factura la energía real consumida
  - Clientes con potencia contratada > 10 kW. Hay tarifas específicas. Pueden contratar con la compañía eléctrica bilateralmente, eligiendo suministrador y una variedad de condiciones.
  - 27 millones de consumidores con potencia contratada < 10 kW. 16 millones se encuentran acogidos al [PVPC](#) (Precio Voluntario Pequeño Consumidor), antiguo TUR (Tarifa de Último Recurso) **a tarifa igual para todos, independientemente del lugar, del coste de la electricidad en la zona, o si se sufre la proximidad de una instalación energética contaminante.** Opcionalmente es posible contratar bilateralmente. Hogares, pequeñas oficinas e industrias. En el 1<sup>er</sup> trimestre 2013 su factura se desglosó así ([CNMC](#)):



### Desglose de peajes:



p.e. 9.200 millones € en 2013 y resto de años, similar

- Un 62,4% del recibo del PVPC fueron "gravámenes".

## 1.12.- Bibliografía

- [1] Guerrero-Lemus, Ricardo, Martínez-Duart, José Manuel. Renewable Energies and CO2. Cost Analysis, Environmental Impacts and Technological Trends. Springer Verlag, 2012 Edition. Series: Lecture Notes in Energy, Vol. 3. 2013.
- [2] Energy Intensity Developments in 40 Major Economies: Structural Change or Technology Improvement. Enrica De Cian, Michael Schymura, Elena Verdolini y Sebastian Voigt. Centre for European Economic Research. Junio 2013
- [3] Stein R. S. Powers J. The Energy Problem. ISBN: 978-981-4340-31-1, 2011.
- [4] Sovacool B. K. Contesting The Future Of Nuclear Power. A Critical Global Assessment of Atomic Energy. ISBN 978-981-4322-75-1. 2011.
- [5] <http://hdr.undp.org/es/informes/mundial/idh2013/>
- [6] Sancha, J. L. Presume de entender (a fondo) las facturas de la luz y del gas. Universidad Pontificia Comillas, 2016.

## 1.13.- Cuestiones de autoevaluación.

1.1	¿Necesita el calor una unidad distinta que el trabajo, por ser de naturaleza distinta?	NO
1.2	¿Es la energía una función exclusiva del estado del sistema?	SI
1.3	¿Es el trabajo una función exclusiva del estado del sistema?	NO
1.4	¿Cuál es la fuerza motriz de la energía eléctrica?	La diferencia de potencial, tensión o voltaje
1.5	¿Puede la viscosidad y la fricción convertir la energía cinética en energía interna térmica?	SI
1.6	¿Es el carbón vegetal una fuente de energía comercial?	SI
1.7	¿Son los biocombustibles (metanol, etanol) vectores o productos energéticos?	PRODUCTOS actuando de vectores
1.8	¿Es el gas natural un combustible fósil?	SI
1.9	¿Es superior el <u>recurso</u> energético hidráulico al eólico en el planeta?	NO
1.10	¿Es el consumo humano de energía por el alimento comparable a los consumos de los sectores industrial, transporte o residencial?	NO en los países desarrollado, SI en los no desarrollados
1.11	¿Se debe el aumento de consumo de energía mundial exclusivamente al aumento de población?	NO, se debe también al aumento del consumo per cápita
1.12	¿Son las pérdidas en las líneas eléctricas desde la central al consumidor comparables al calor residual en las centrales térmicas?	NO
1.13	En el diagrama de Sankey de elaboración propia para el consumo mundial, <a href="#">Fig. 1.5</a> , ¿cual es el cociente entre energía final y primaria globalmente?	0,658
1.14	En el diagrama de Sankey de Cullen y Allwood, <a href="#">Fig. 1.6</a> , por la magnitud de la energía primaria ¿se trata de un diagrama mundial?	SI

## 1.13.- Cuestiones de autoevaluación (cont.).

1.15	Compruebe que en ese diagrama de Sankey no hay pérdidas, cada output lleva consigo toda la energía primaria consumida.	SI
1.16	En el diagrama de Sankey de “La Energía en España. MINISTERIO DE INDUSTRIA, TURISMO Y COMERCIO” para 2010 ¿cual es la eficiencia de transformación de la energía a electricidad aparente de las plantas en España, incluyendo las nucleares y renovables (incluida eólica)?	$(21.418+3.173)/48.976 = 0,50$ anormalmente alta por incluir fuentes primarias que tienen eficiencia unidad, como la eólica y la fotovoltaica.
1.17	¿Cuál es mayor, el galón imperial o el americano?	El imperial
1.18	Si se quema carbón puro ¿coinciden su PCS con su PCI?	SI porque no se forma agua en la combustión
1.19	¿Es una tonelada equivalente de madera igual a una tonelada equivalente de petróleo?	NO, porque es una unidad de energía y no una unidad de masa
1.20	¿Es una tonelada equivalente de gas natural mayor que una tonelada equivalente de petróleo?	SI porque el gas natural tiene un poder calorífico por unidad de masa mayor que el del petróleo
1.21	Existe actualmente equidad en el acceso a la electricidad en nuestro planeta	NO
1.22	¿Es necesario el consumo de energía para provocar el desarrollo?	SI
1.23	¿Cuál es la fuente de mayor consumo mundial? Y ¿la segunda?	El petróleo, seguida por el carbón
1.24	¿Todos los países con grandes recursos energéticos fósiles están muy desarrollados?	NO
1.25	¿Son las causas de una elevada intensidad energética de Rusia y de Arabia Saudí las mismas?	NO, Rusia es por clima e ineficiencia en una sociedad no muy desarrollada económicamente y Arabia Saudí es una sociedad con elevados estándares

## 1.13.- Cuestiones de autoevaluación (cont.)

1.26	¿Es normal que en el desarrollo de un país se ofrezca al ciudadano energía subvencionada?	SI
1.27	¿Son elevados los costes externos de la energía nuclear?	SI, por el mantenimiento de la seguridad en el suministro del combustible, operación de las centrales y gestión y almacenamiento de los residuos.
1.28	¿Son los costes de amortización elevados con la energía solar?	SI
1.29	¿Considera que la reducción de la biodiversidad por los cultivos energéticos para la obtención de biomasa es un coste externo?	SI
1.30	¿Considera que la anegación de territorios en cuencas por las centrales hidroeléctricas es necesario considerarlo un coste externo?	SI
1.31	¿Tiene el ciudadano español que acudir el mercado de electricidad para suministrar su hogar?	NO (Véase <a href="#">tarifa de último recurso, ahora PVPC</a> )
1.32	¿Cuál es la energía disipada (degradada en energía térmica) en un viaje por automóvil desde y hasta vehículo detenido y frío a la misma temperatura y misma elevación geográfica?	Toda la invertida en el viaje
1.33	¿Tiene la energía tendencia a degradarse en energía térmica y ésta en disiparse hacia homogeneizar la temperatura?	SI
1.34	Es la viscosidad y el rozamiento uno de los mecanismos disipativos?	SI
1.35	¿Quién soporta el coste del régimen especial?	Los consumidores de electricidad en sus recibos “de la luz”

## 1.14.- Actividades propuestas.

**Actividad propuesta 1.1:** Cite las fuentes usadas y no olvide consignar los desarrollos.

**1.1.a.-** Compare el total del consumo mundial de las Fig. 1.3 con la Fig. 1.4 y con la Fig. 1.6.

**Solución:** Según la Fig. 1.6 el consumo mundial se cifra en 475 Exajulios/año. Según la Fig. 1.3 es de

$$1,2 \times 10^{13} \frac{\text{W}}{\text{año}} \times 365,25 \frac{\text{día}}{\text{año}} \times 24 \frac{\text{h}}{\text{día}} \times 3.600 \frac{\text{J}}{\text{Wh}} = 380 \times 10^{18} \frac{\text{J}}{\text{año}} = 380 \frac{\text{EJ}}{\text{año}}$$

Según la Fig. 1.4 es:  $90 \times 10^9 \frac{\text{boe}}{\text{año}} \times 5,46 \frac{\text{GJ}}{\text{boe}} = 491 \frac{\text{EJ}}{\text{año}}$

**1.1.b.-** Realice que ni la nuclear ni las renovables acarrear emisiones de CO<sub>2</sub> equivalente. Esto no es exacto, pero sus emisiones específicas son mucho menores que las otras energías primarias. Se denominan directas, pero al asociarlas a un producto o energía final pasan a ser indirectas, por producirse en otro lugar.

**Solución:** Las emisiones de CO<sub>2</sub> o sus equivalentes por otros gases de efecto invernadero directas se deben primordialmente a la combustión, la cual es inexistente en las centrales nucleares. Sin embargo, su construcción, operación y desmantelamiento, además del almacenamiento prolongado de sus residuos acarrea consumo de energía, que al implicar actividades que emiten CO<sub>2</sub> o sus equivalencias de efecto invernadero, es necesario atribuírselas como emisiones indirectas. No obstante, resultan ser bajas en comparación con la quema de combustibles fósiles para obtener la energía en cuestión.

**1.1.c.-** Las renovables solo van a parar a electricidad y también calor para aparatos domésticos (aunque no sean eléctricos), de forma significativa a nivel mundial.

**Solución:** Ciertamente, por la predominancia de la biomasa entre las renovables, la cual mayoritariamente se usa para calefacción ambiental, producción de calor industrial y cocción. La producción de frío se realiza mayoritariamente consumiendo electricidad por medio de las máquinas de compresión mecánica siguiendo un ciclo Rankine inverso. La industria usa calor y electricidad y el transporte consume combustible fósiles para la propulsión, aunque en pequeña proporción biocombustibles.

## 1.14.- Actividades propuestas (cont.).

**Actividad propuesta 1.2:** Busque en Internet el reparto del consumo energético anual total de Francia y de España entre las distintas fuentes primarias de energía, compárelos y extraiga conclusiones. Analice de forma sintética si los intercambios de electricidad con nuestros países vecinos son relevantes. Cite las fuentes usadas y no olvide consignar los desarrollos. Use exclusivamente el espacio reservado en esta cara del formulario.

**Solución:** Pueden encontrarse datos en [Énergie en France](#), [Électricité en France](#) y [Energía en España](#), así como en <http://www.iea.org>

Fuente primaria [Mtep]	Francia (2012)	España (2010)	
Carbón, primordialmente propio	10,9	8,5	Import. y $\approx \frac{1}{4}$ propio.
Petróleo, primordialmente importado	78,6	63,7	Petróleo, primordialmente importado
Gas natural, primordialmente importado	38,5	31,0	Primordialmente importado
Electricidad ren. y no ren. Nuclear primordialmente (hidroel. 3,9; fósil 2,9; eol. 1,0 )	114,2	16,2	Nuclear exclusivamente
Calor renovable y <a href="#">bombas de calor</a>	17,2	14,8	Todas las renovables
<b>Total</b>	<b>259</b>	<b>134</b>	
Exportaciones netas de electricidad, primordialmente Italia, Bélgica y Reino Unido. Exportación neta a España	17 TWh = $17 \times 0,2606 = 4,4$	0,7	Francia, Portugal y Marruecos

Las cifras son bastante semejantes, pero la electricidad nuclear en Francia, junto con sus exportaciones resultan muy superiores, marcando la diferencia, obvia por su mayor población. Tanto España como Francia son exportadores netos de electricidad, pero Francia está mucho más interconectada y su industria nuclear es claramente exportadora.

## 1.14.- Actividades propuestas (cont.).

**Actividad 1.3:** La leña para consumo doméstico se habitúa vender o por volumen (fácil de medir y de dosificar) o por peso (más difícil) en cantidades del orden del consumo en una temporada. Analice los pros y los contras de estas dos alternativas desde el punto de vista: de la humedad absorbida por la leña y su peso correspondiente, del posible aumento de volumen por aumento de humedad y del descenso del poder calorífico inferior (el que no considera el calor obtenido por la condensación de la humedad en los humos) por aumento de la humedad absorbida.

**Solución:** La leña ocupa un volumen bruto que es superior al de la leña en sí, volumen neto. El volumen de las cavidades llenas de aire (fracción hueca) es la diferencia, las cuales dependen de la forma de la leña y de su acople al recipiente que la contiene, por lo que el precio por volumen ha de considerar el valor nulo del aire. La humedad tiene un efecto prácticamente nulo en el volumen bruto ocupado por la leña, porque ésta no aumenta apreciablemente de volumen al absorber humedad, lo cual es una ventaja aparente. Al quemarla desprenderá menos calor, pues el agua se evapora al arder y su combustión será más lenta y difícil y probablemente más contaminante.

La leña comercializada en peso elimina el problema de la fracción hueca. Sin embargo toda la humedad absorbida contribuye al aumento de peso, vendiéndose agua a precio de leña. Determinar la cantidad de agua absorbida no resulta sencillo, sea por estar verde la leña o por absorción de la lluvia o humedad ambiente. La humedad suele ser menor en maderas duras, una vez secas.

## 1.14.- Actividades propuestas.

**Actividad 1.4:** Analice las subvenciones y ayudas que la electricidad producida en régimen especial en España o su equivalente posterior. Analice la proporción que supone esta generación en el mercado eléctrico nacional. ¿Consta la energía térmica del aire (aeroterminia) y la geotérmica somera?

### **Solución:**

Régimen especial: son generadores de renovables (< 50 MW<sub>e</sub>), cogeneración, y eliminación de residuos renovables o no.

La actual crisis ha desencadenado un fuerte cambio normativo, en 2013 y 2014. Se puede encontrar información en:

<https://www.libremercado.com/2011-09-29/manuel-fernandez-ordonez-sistema-electrico-espanol-iv-regimen-ordinario-y-regimen-especial-61221/>

Puede comprobarse que se trata de normas complejas. Allí se dice:

“En 2010 y según datos de Red Eléctrica, el sistema español produjo 288.180 GWh, de los cuales el 68% correspondieron al régimen ordinario y el 32% restante al régimen especial”.

Ya existen empresas intermediarias para atender a los productores del régimen especial, así como a los consumidores.

Ejemplos:

<https://blog.holaluz.com/productores-del-regimen-especial-los-otros/>

**La aero- y la geo-termia no constan en el régimen especial, salvo que produzcan electricidad (cosa difícil). Tampoco reciben primas ni beneficio alguno (solamente ciertas subvenciones) a pesar de que sustituyen consumo de energía (típicamente comercial y por ello solo en parte renovable) por energía renovable, de la atmósfera y del suelo.**

## 1.14.- Actividades propuestas [Volver](#)

**Actividad 1.5:** Las reservas probadas mundiales de crudo en 2017 son  $R = 1.700$  Giga barriles de acuerdo al BP [Statistical Review of World Energy 2018](#). Se asume un poder calorífico inferior, estándar para el crudo, de  $PCI = 5,4$  Giga Julios por barril. Pasar a [exa Julios](#).

**Solución:**

$$H = R \cdot PCI = 1.700 \text{ Gbep} \cdot 5,4 \frac{\text{GJ}}{\text{bep}} = 9.180 \text{ EJ}$$

Esta cifra es ligeramente superior a la consignada en 2010, por nuevos descubrimientos y mejora de las tecnologías de extracción, [Tabla 2.1](#).

**Actividad 1.6:** Con la misma metodología y fuente, para el gas natural  $R = 193,5$  trillions cubic meters (en c.n. de  $P$  y  $T$ , llamado  $\text{Nm}^3$ ). Expresar en EJ.

**Solución:**

$$H = R \cdot PCS = 193,5 \cdot 10^{12} \text{ m}^3 \cdot 0,93 \frac{\text{tep}}{10^3 \text{ m}^3} \cdot 41,87 \cdot 10^9 \frac{\text{J}}{\text{tep}} = 7.535 \text{ EJ}$$

Esta cifra es ligeramente inferior a la consignada en 2010, [Tabla 2.1](#). Causas desconocidas por el autor. Se ha usado el  $PCI$  del crudo por haberse usado una conversión a tep.

## 1.15.- Temas recordatorios y avanzados

### Tema recordatorio 1.1. Repaso del segundo principio de la Termodinámica

Introduce la función de estado entropía  $S$ , por lo general asimilada a la noción de desorden, que no puede más que crecer en el curso de una transformación termodinámica real en un sistema cerrado (masa constante); en equilibrio, por lo tanto, en ausencia de fenómenos disipativos como: *conducción de calor o de electricidad, mezclado, viscosidad, rozamiento o reacción química*, (equilibrios simultáneos: térmico por lo que es adiabático y se puede hablar de su temperatura  $T$ , eléctrico, mecánico por lo que en reposo y sin difusión, y químico, por lo que se puede hablar de  $p$  y composición uniforme).  $S$  tiende pues a un máximo en las condiciones dadas. El tiempo carece de significado y solo se puede pasar de un estado de equilibrio a otro a través de una sucesión infinita de estados de equilibrio (evolución reversible  $_{rev}$ ) y así entra el tiempo de soslayo en la termodinámica pues ciertas evoluciones rápidas se acercan al equilibrio, p. e. expansión o compresión adiabáticas.

Corolarios:

- El calor no fluye espontáneamente desde un sistema hacia otro a mayor temperatura.
- No es posible que el calor fluya desde un sistema hacia un sistema más caliente, sin consumir trabajo  $\tau$  alguno que genere este flujo.
- Los procesos disipativos hacen aumentar  $S$ , por las llamadas irreversibilidades internas  $\Delta S_{ii}$ .

Aplicaciones:

Se puede calcular el cambio de entropía de un sistema cerrado con: 
$$\Delta S = \overbrace{\int_{inicial}^{final} \frac{dQ}{T}}^{\Delta S_{rev}} + \Delta S_{ii}.$$

$\Delta S_{ii}$  es calculable concibiendo unas evoluciones reversibles  $_{rev}$  entre el estado inicial y el final.

El sentido de una evolución adiabática entre dos estados de equilibrio solo es posible si el estado final es **de mayor  $S$ , o se compensa con  $\Delta S_{rev}$ .**

**Se consideran evoluciones isentrópicas aquellas adiabáticas reversibles. Se aproximan a ellas, p.e. las evoluciones a elevados números de Reynolds de sustancias homogéneas, p. e, gases y líquidos.**

## 1.15.- Temas recordatorios y avanzados

**Tema avanzado 1.1.-** La Agencia Internacional de la Energía ha publicado en su [newsletter](#) de 23/09/2019 la siguiente afirmación:

*"La intensidad energética ha disminuido (en el mundo) en el año anterior (2018) un 1%, cuando se necesita una disminución del 3% para cumplir con los objetivos de sostenibilidad energética global"*

Con ello se identifica, entre otras variables, que la eficiencia energética debe aumentar.