

# El desafío energético Hacia un futuro sostenible

S.Gil

Marzo 2024

Escuela de Ciencia y Tecnología – Universidad Nacional de San Martín, Buenos Aires, Argentina

[sgil@unsam.edu.ar](mailto:sgil@unsam.edu.ar)

## Capítulo 1

### Contenido

La Energía y la vida en el planeta .....	1
¿Qué es la Energía?.....	2
Cómo el fuego nos ayudó a transformarnos en humanos .....	6
Calores de reacción y combustión.....	7
Emisiones de CO <sub>2</sub> de distintos insumos energéticos y combustibles IC .....	9
Problemas y Preguntas .....	14
Bibliografía.....	18

### La Energía y la vida en el planeta

Hay dos necesidades vitales que los humanos compartimos con el resto de los seres vivos: *respirar* y *alimentarnos*. Si pasamos mucho tiempo sin comer sentimos un malestar que se puede transformar en dolor y finalmente puede llevarnos a la muerte. En el caso de la respiración, solo podemos estar sin respirar unos pocos segundos o minutos a lo sumo, para que padezcamos de síntomas similares.

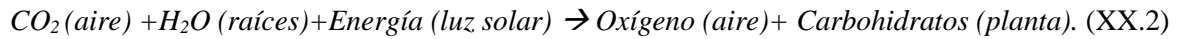
¿Por qué es tan importante la alimentación y respiración para todos los animales y plantas? La respuesta está en los procesos de metabolismo; que es el conjunto de reacciones físico-químicas que ocurren en las células y en el organismo en su conjunto y que posibilitan extraer energía de los alimentos, que a su vez viabilizan la combustión de la glucosa extraída de los alimentos con el oxígeno que respiramos. Estos complejos procesos son la base de la vida y nos posibilitan crecer, movernos, hacer latir nuestros corazones y circular la sangre, reproducirnos, etc. En el caso de los animales de sangre caliente (*homeotermos* o *endotermos*) como nosotros los mamíferos, esta combustión lenta, que ocurre en las células de nuestros cuerpos, nos permite además generar calor para mantenernos a una temperatura estable de unos 37°C.

En otras palabras, para poder sobrevivir necesitamos energía, que extraemos de la alimentación y respiración. Así la alimentación y la respiración son nuestra fuente principal de energía, fundamental para nuestra subsistencia. Podemos esquematizar este proceso como:

*Glucosa (extraída de los alimentos) + Oxígeno (de respiración) → CO<sub>2</sub>+H<sub>2</sub>O+Energía* (XX-1)

Como es usual, designamos al agua y el dióxido de carbono por sus respectivas formulas químicas:  $H_2O$  y  $CO_2$ .

En el caso de las plantas, además del proceso de respiración, que también está presente, durante el día, cuando la luz del Sol las ilumina, se produce un proceso de fundamental importancia para la vida, el proceso de *fotosíntesis*, que de algún modo es el inverso y complementario al de respiración:



De este modo las plantas toman el  $CO_2$  de la atmósfera y devuelven oxígeno y generan la materia orgánica de las plantas, que son a su vez, el alimento básico de los animales.<sup>i</sup> En otras palabras, las plantas a través de la fotosíntesis capturan el carbono (del  $CO_2$ ) y lo transforman en materia orgánica o biomasa (troncos, hojas, raíces, frutos, etc.). Ver: [1]

De este modo, la materia orgánica, nosotros, animales, plantas, materia orgánica fosilizada (carbón mineral, petróleo, gas, etc.) somos acumuladores de carbono. Si quemamos un tronco, un pedazo de carbón, petróleo o gas, lo que estamos haciendo es liberar el carbono acumulado a la atmósfera en forma de  $CO_2$ . Como el Dióxido de carbono, junto a otros gases generan efecto de invernadero en el planeta, a medida que liberamos más carbono a la atmósfera, mayor será el efecto de invernadero que estos gases generen y mayor será la temperatura del planeta.

## ¿Qué es la Energía?

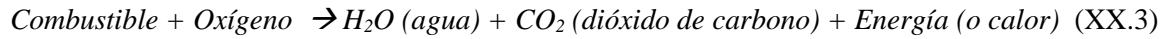
La energía no es un concepto que se pueda resumir en una simple definición, para comprenderlo iremos acercándonos paso a paso, hasta lograr una mejor comprensión por aproximaciones sucesivas.

Hay muchos conceptos intuitivos que están asociados con la energía, como el concepto de temperatura, calor, trabajo, fuerza, etc. En este capítulo solo intentaremos dar una descripción cualitativa. El concepto de temperatura está asociado a la sensación de frío o calor y es lo que miden los termómetros. Para calentar un cuerpo es necesario entregar energía o calentarlo. Por ejemplo, si deseamos hacer un té, debemos calentar el agua, usando una cocina que queme gas o algún otro combustible (como kerosene, alcohol, leña, gas, etc.) o también usando una pava eléctrica, que transforma la energía eléctrica en calor. En una primera aproximación, podemos decir que la energía es todo aquello que puede eventualmente transformarse en calor.

Así decimos que los combustibles contienen energía (llamada energía interna o energía química) pues en su combustión, es decir en su reacción con el oxígeno, ellos generan calor. Expresado en forma simbólica:

---

<sup>i</sup> Durante el día, las plantas hacen más fotosíntesis que respiración, por lo que producen más oxígeno que el que consumen. En cambio, durante las noches, a no haber Sol, no hay fotosíntesis, por lo que generan solo dióxido de carbono.



La cantidad de energía que se produce cuando se quema (o reacciona con el oxígeno) 1 kg de combustible se denomina *poder calorífico* o *energía específica*. En la Tabla 1 se indican los poderes caloríficos de distintos combustibles, como así también la energía específica que pueden entregar distintas sustancias por kg; en tres unidades de energía.

Tabla 1 Poderes caloríficos de distintos combustibles o energía que pueden entregar distintos objetos. Los valores indicados son los valores aproximados haciendo un redondeo de sus valores exactos. En la última columna se indican los valores relativos al gas natural. [2] [3]

Combustible o alimento	MJ/kg	kcal/kg	kWh/kg	valor relativo
Pan	16,7	4.000	4,7	0,30
Manteca	25,1	6.000	7,0	0,45
Chocolate	20,9	5.000	5,8	0,38
Papel	7,5	1.796	2,1	0,14
Batería (automóvil)	1,3E-04	0,030	3,5E-05	2,3E-06
Batería ion Li (recargable computadora)	0,63	150	0,17	1,1E-02
Alcohol (etanol)	29,8	7.115	8,3	0,54
Leña	15,5	3.702	4,3	0,28
Carbón (mineral, Antracita)	33,5	8.000	9,3	0,60
Kerosene	46,2	11.035	12,8	0,83
Petróleo crudo	41,9	10.000	11,6	0,75
Gasolina	47,3	11.297	13,1	0,85
Gas natural	55,5	13.263	15,4	1,00
Hidrógeno	141,8	33.866	39,4	2,55
TNT (trinitrotolueno)	0,0027	0,65	0,0008	4,9E-05
Asteroide o meteorito a unos 30 km/s	0,42	100	0,12	7,5E-03
Fisión de <sup>235</sup> U	83.720,0	20.000.000	23.256	1.508

Para poder medir cualquier magnitud física, como la masa, longitud, etc. necesitamos definir un procedimiento, y unidades. Lo mismo sucede con la energía y el trabajo. Cuando levantamos un objeto a cierta altura  $h$ , debemos hacer una fuerza (igual al peso del cuerpo  $P$ ). El peso es la fuerza con que la tierra atrae a todos los objetos, y se relaciona con el peso por  $P=m.g$ , siendo  $m$  la masa del cuerpo y  $g$  la aceleración de la gravedad, que sobre la superficie de la tierra vale  $g=9,8 \text{ m/s}^2$ . [4]

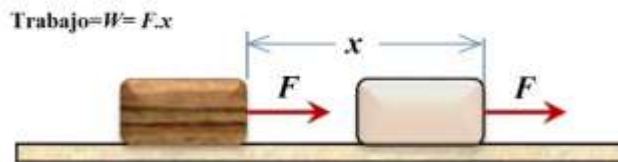


Fig. xx.1. Una fuerza  $F$  realizando trabajo  $W$  sobre un cuerpo.

Cuando desplazamos un cuerpo una cierta distancia  $x$ , aplicando una fuerza  $F$  en esa misma dirección, como cuando levantamos un objeto, decimos que realizamos un trabajo  $W$  cuyo valor es el producto de  $F.x$ , es decir;

El trabajo que realizamos sobre el cuerpo de masa  $m$ , cuando lo levantamos a cierta altura  $h$  queda acumulado como *energía potencial* del cuerpo. Por lo dicho anteriormente, este trabajo vale:  $W=m.g.h$  y lo denominamos energía potencial del cuerpo. [4] Si en algún momento posterior lo dejamos caer, la energía potencial del cuerpo se transforma paulatinamente en energía cinética, es decir al ir cayendo, va perdiendo altura ( $h$  disminuye) pero su velocidad ( $v$ ) va aumentando. Al impactar finalmente contra el suelo, esta energía se convierte en calor. De hecho, esto es lo que ocurre cuando un meteorito choca con la Tierra u otro planeta. A mucha distancia tendrá cierta energía cinética, pero al comenzar a caer a la Tierra, la energía potencial se va transformando en más cinética y al impactar en la Tierra, toda esta energía cinética se usa el deformar la Tierra (formar el cráter) o generar calor.

Por ejemplo, para levantar una masa  $m=1$  kg que está en el suelo y ponerlos sobre una mesa que tiene un metro de altura, debemos hacer una fuerza igual a su peso, es decir ejercer una fuerza  $F=1\text{ kg}\times g=9,8\text{ kg.m/s}^2=9,8\text{ N}$  ( $N$ =Newton). [4] El trabajo ( $W$ ) para levantar esta masa  $m$  una altura  $h(=1\text{ m})$  será:  $W=m.g.h=9,8\text{ N.m}=9,8\text{ J}$  (Joule). El Joule es la unidad internacional de trabajo y energía,  $1\text{ J}=1\text{ N}\times 1\text{ m}(=1\text{ kg.m}^2/\text{s}^2)$ . Cuando levantamos con la mano una manzana de unos 100 g un metro de altura, realizamos un trabajo de 1 J. Desde luego hay múltiplos y submúltiplos del J.:  $\text{kJ}=1000\text{ J}$ ,  $\text{MJ}=10^6\text{ J}$ ,  $\text{GJ}=10^9\text{ J}$ , etc. Como señalamos, en la práctica se usan muchos “sistemas de energías con distintas unidades”, por ejemplo: la caloría (*cal*), el kilo Watt hora (*kWh*), la British Thermal Unit (*BTU*), el kilogramo equivalente de petróleo (*kep*) o el barril equivalente de petróleo (*Bep*) y otras muchas unidades más. Todas tienen una equivalencia con el J, por ejemplo:

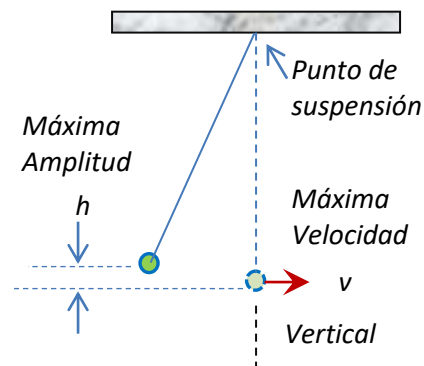
$$1\text{ cal}=4,186\text{ J}; 1\text{ kWh}=3,6\text{ MJ}; 1\text{ BTU}=1055,05\text{ J}; 1\text{ kep}=4,187\times 10^7\text{ J}; 1\text{ Bep}=6,118\times 10^9\text{ J}\quad (\text{XX.3})$$

Si un objeto se mueve a cierta velocidad  $v$  tiene asimismo una cierta energía, que denominamos *energía cinética*. Por ejemplo, una bala, una piedra o un vehículo en movimiento. Cuando una bala se incrusta en una madera, esa energía cinética se transforma en calor. La energía cinética es proporcional a la masa del objeto y al cuadrado de su velocidad. Una masa de 2 kg, moviéndose a 1 metro/segundo ( $\text{m/s}$ ) tiene una energía de 1 J.

Al principio puede ser confuso que se usen tantas unidades, pero es parecido al caso de las unidades de longitud o tiempo. A veces para la primera usamos metro, kilómetros, años luz, milímetros, nanómetros, pulgadas, pies, millas, etc. Para la segunda, a veces medimos en tiempo en siglos, años, meses, días, horas, minutos segundos, lunas, etc. Es claro que cada una de ellas tiene su utilidad, y con un poco de práctica, pronto nos acostumbramos a transformar de una a otra. En el sistema Internacional la unida fundamental de energía es el Joule. Pero la cantidad de a energía en 1J es en general pequeña. Por ejemplo, la energía contenida en 1 litro de nafta o gasolina es de aproximadamente  $10\text{ kWh}\approx 36\text{ MJ}$ . De hecho, la unidad kWh es muy útil y conveniente, es la unidad que usamos para comprar energía eléctrica.

Como veremos, hay muchas formas de energía: potencial, cinética, química, nuclear, eléctrica, geotérmica (del calor de la Tierra), eólica (de los vientos), solar, etc. Algo que aprendimos los humanos es a aprovechar estas distintas formas de energía y a transformarlas unas a otras. Cuando quemamos gas, estamos convirtiendo energía química en calor, cuando enchufamos la

plancha, estamos convirtiendo energía eléctrica en calor o cuando encendemos una lámpara LED la energía eléctrica la convertimos en luz.



**Fig. xx.2.** Intercambio de energía en un péndulo. En su desplazamiento máximo, el bulbo (masa) está a la máxima altura (máxima energía potencial) pero quieto (mínima energía cinética). Al pasar por la vertical que pasa por el punto de suspensión, la energía potencial se transformó totalmente en cinética. En el otro extremo ocurre de nuevo lo contrario, toda la energía es potencial. Este intercambio de energía mantiene al péndulo en movimiento. Como hay energía que se pierde por roce con el aire y en la deformación de la cuerda, el péndulo va disminuyendo de amplitud paulatinamente hasta que finalmente se detiene, pero la energía no se pierde, se transforma finalmente en calor que se entrega al aire.

Otro aspecto importante de la energía es su costo. Todos sabemos que para que un auto funcione, debemos cargar su tanque de combustible, que lógicamente tiene un costo. Lo mismo ocurre para tener acceso al gas o la electricidad, debemos abonar un cargo por el servicio que incluye desde el costo del combustible o energía como el mantenimiento de la red que permite que el servicio llegue a nuestro domicilio.

Por último, los que tenemos la suerte de vivir en áreas urbanas con cierto nivel de desarrollo, podemos usar estas múltiples formas de energía para hacer nuestras vidas más cómodas y confortables: ducharnos con agua caliente sanitaria a las mañanas (calentada con energía), beber un sabroso café con leche con tostadas (ambos producidos o cocinados usando energía), subir a un automóvil o autobús para ir al trabajo o la escuela (que necesitan de la energía para funcionar), encender las luces de nuestras aulas u oficinas, encender la calefacción o refrigeración y las computadoras: todo esto gracias al acceso a la energía. Solo nos damos cuenta de lo importancia de la energía en nuestras vidas cuando este servicio se interrumpe, nos quedamos sin ascensor en los edificios, al poco tiempo escasea el agua. Las actividades se suspenden y rápidamente los alimentos de las heladeras se comienzan a descomponer, no podemos cocinar, en fin, de persistir estos cortes de suministros, nuestra calidad de vida se deteriorará notablemente.

En ese sentido, es importante destacar que en el mundo, aún hay cerca de un 13% de la población sin acceso a la electricidad, es decir, cerca de unos 950 millones de personas. [5] Alrededor de unas 2 600 millones de personas (36% de la Población mundial) cocinan con leña sin acceso a una cocina limpia. [6]



**Fig.xx.3.** Imágenes que ilustran la carencia de acceso a la energía. Izquierda, estudiantes de Guinea estudian bajo la luz del estacionamiento del Aeropuerto de Conakry, uno de los pocos lugares públicos con luz. The New York Times, 20 de julio de 2007. A la derecha, una situación que aún hoy se presenta en muchos lugares de África, Asia y Latinoamérica, niños recolectando leña para cocinar.

## Cómo el fuego nos ayudó a transformarnos en humanos

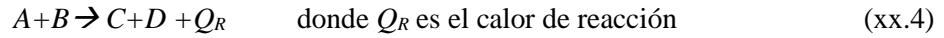
En 2009, el Prof. Richard Wrangham de la Universidad de Harvard publicó un libro donde desarrolla una interesante hipótesis de como pasamos del Homo Habilis al Homo Erectus y más tarde al Homo Sapiens (es decir nosotros) hace unos 400 mil años. Hace unos 7 millones de años nuestros antepasados se separaron de nuestros parientes más cercanos, los chimpancés. Estos antepasados nuestros todavía tenían el cuerpo cubierto de pelos, cerebros pequeños y un comportamiento poco sofisticado. Pero hace unos 2 millones de años, comenzaron a desarrollar cada vez más habilidades con sus manos, convirtiéndose en lo que hoy llamamos Homo Habilis. Se alimentaban de carne cruda, raíces y quizás de los frutos que podían recoger en la estación apropiada. Sus manos eran largas y con facilidad para subirse a los árboles, tanto para recoger frutos como para defenderse de predadores. Al necesitar usar sus manos más frecuentemente, fueron desarrollando la habilidad de caminar erguido, así llegamos al Homo Erectus.

**La cocción de los alimentos:** Pero todo cambió cuando empezaron a controlar el fuego y a cocinar. La cocción ablanda los alimentos y rompe fibras difíciles de digerir en azúcares de fácil absorción. Los grandes dientes y mandíbulas ya no eran imprescindibles. La selección natural fue privilegiando otras habilidades. Por otra parte, el fuego ahuyentaba a los predadores, con lo que no era necesario subirse a los árboles a las noches para protegerse. La selección natural fue privilegiando otras habilidades como una buena estrategia de caza, cazar en grupos, etc. Es así que del Homo Erectus pasamos al Homo Sapiens, con cerebro más grande, mandíbulas más pequeñas y brazos más cortos, pero con un comportamiento social bien desarrollado y capas de diseñar sofisticadas estrategias de caza y sobrevivencia. Si bien esta teoría no está libre de críticas, sus argumentos son fuertes y es muy persuasiva. [7], [8] En otras palabras el Homo Erectus se transformó en Homo Sapiens porque aprendió a manejar el fuego (es decir la energía) y cocinar como lo hacemos nosotros.

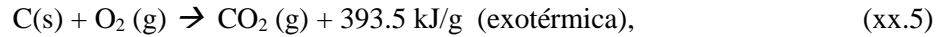
*Por lo tanto, según esta hipótesis, somos humanos, ¡porque aprendimos a manejar la energía!*

## Calores de reacción y combustión

El calor desprendido o absorbido, en una reacción química, se llama Calor de Reacción. Su valor depende de la reacción que se estudia:



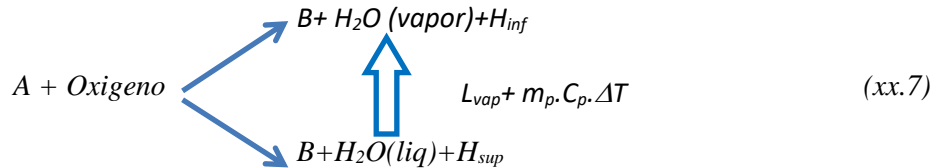
Si la reacción libera calor,  $Q_R > 0$ , la reacción es exotérmica, por ejemplo:



Los símbolos (g) y (s) indican el estado de agregación de los reactantes,  $s$ =sólido,  $g$ =gaseoso y  $l$ =líquido. Si la reacción absorbe calor,  $Q_R < 0$ , la reacción es endotérmica, por ejemplo:



Una combustión es una reacción rápida, que en general desprende calor, entre una sustancia oxidable (combustible) y el oxígeno del aire, por ejemplo, la reacción (xx.5). Habitualmente se manifiesta por incandescencia o presencia de llama. El poder calorífico es la cantidad de energía (calor de reacción) por unidad de masa o unidad de volumen de material combustible que se desprende al producirse la combustión o reacción química de oxidación.



El valor del poder calorífico depende de las condiciones en que quedan los productos de reacción. En particular, en la mayoría de los procesos de combustión se genera agua. Si el agua, producto de la combustión termina como agua líquida a condiciones estándares de presión y temperatura ( $T=15^\circ\text{C}$  y  $P=1 \text{ Atm}$ ) la energía de la reacción será mayor que si los productos de la reacción salen como vapor de agua a temperaturas altas  $200^\circ\text{C}$  o  $400^\circ\text{C}$ . En el primer caso, representada por la reacción ilustrada en la parte inferior de la Ec.(xx.7), el calor liberado en la reacción o combustión se conoce como poder calorífico superior,  $H_{sup}$ . En el segundo caso, representada por la reacción ilustrada en la parte superior de la Ec.(xx.7), el calor liberado en la combustión se conoce como poder calorífico inferior,  $H_{inf}$ . La diferencia entre  $H_{sup}$  y  $H_{inf}$  puede explicarse  $H_{inf}$  como:

$$H_{sup}-H_{inf} = m_{H_2O} \cdot L_{vap}+ m_p \cdot C_p \cdot \Delta T, \quad (\text{xx.8})$$

Donde  $m_{H_2O}$  es la masa de agua generada en la reacción, por unidad de masa o volumen de los reactantes. Según sea la referencia de los poderes caloríficos, (según se expresen por unidad de masa, volumen, etc.).  $L_{vap}$  es el calor latente de vaporización por unidad de masa y  $C_p$  la capacidad calorífica a presión constante por unidad de masa y  $\Delta T$  la diferencia de temperatura entre la temperatura de salida de los gases de combustión y  $15^\circ\text{C}$ ,  $m_{H_2O}$  y  $m_p$  son las masa de agua y gases productos de la reacción.

Un ejemplo interesante es el caso del metano  $CH_4$ ,

	$H_{sup}$ (MJ/m <sup>3</sup> STD)	$H_{inf}$ (MJ/m <sup>3</sup> STD)	$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	$C_p$ (MJ/kg.K) Aire	$L_v$ (MJ/kg) Agua
$CH_4$	37,69	33,936	0,667	1,012	2,257

La combustión del metano se puede expresar como:



Si tomamos 1 m<sup>3</sup> de metano (equivale a 42,32 moles, es decir 0,357 kg) que reacciona con 84,64 moles de O<sub>2</sub> (2,71 kg) y producen 1,52 kg de agua y 0.98 kg de CO<sub>2</sub>. Por lo tanto, si los gases de reacción salen a unos 120°C, esperamos que:

$$H_{sup} - H_{inf} = 3,75 \text{ MJ/m}^3 \approx (1,52 \times 2,257 + 0,00092 \times 3 \times 95) \text{ MJ/m}^3 = 3,44 + 0,26 = 3,70 \text{ MJ/m}^3. \quad (xx.10)$$

Si se tiene en cuenta que los gases de combustión salen a temperaturas superiores a 120°C, se obtiene un mejor acuerdo entre los valores observados y calculados de los poderes caloríficos de combustión y los estimados. La diferencia dominante entre los poderes caloríficos proviene del *calor latente de evaporación del agua*.

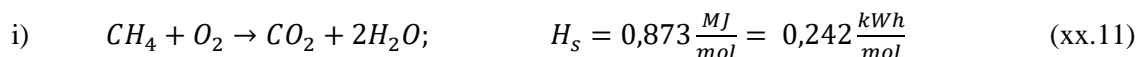
Tabla 2 Poderes caloríficos inferiores ( $H_{inf}$ ) y superiores ( $H_{sup}$ ) de distintos combustibles.

Fuente	Densidad	Poder Calor. Inf. ( $H_{inf}$ )		Poder Calor. Sup. ( $H_{sup}$ )		$H_{inf}$	$H_{sup}$	
		kg/lt	kcal/lt	kcal/kg	kcal/lt			kcal/kg
Carbón Mineral				7.200		7.500	8,36	8,71
Petróleo Crudo	0,885	8.850	10.000	9.293	10.500	11,61	12,19	
Naftas	0,735	7.607	10.350	8.232	11.200	12,02	13,01	
Kerosene y Comb. Jets	0,808	8.322	10.300	8.945	11.070	11,96	12,86	
Diésel Oil	0,88	8.800	10.000	9.416	10.700	11,61	12,43	
Fuel Oil	0,945	9.261	9.800	9.923	10.500	11,38	12,19	
Gas Natural		8.300 kcal/m <sup>3</sup>		9.300 kcal/m <sup>3</sup>		15,06	16,88	
Propano	0,508	5.588	11.000	6.102	12.013	12,77	13,95	
Butano	0,567	6.180	10.900	6.735	11.878	12,66	13,79	
Gas Licuado	0,537		10.950	6.418	11.951	12,72	13,88	
Leña Blanda			1.840		2.940	2,14	3,41	
Leña Dura			2.300		3.500	2,67	4,06	
Carbón de Leña			6.500		7.500	7,55	8,71	
Aserrín			1.800		1.995	2,09	2,32	
Papeles			1.620		1.796	1,88	2,09	
Alcohol de quemar	0,789	6.080		6.400		8,95	9,42	

Uno de los avances en las modernas calderas y calefones, son los sistemas de recuperación de vapores o con condensación de vapores. En cierto modo eso es como calentar una olla con tapa o sin tapa. Si ponemos la tapa, reducimos la energía que se va con los vapores y el calentamiento es más eficiente. Los sistemas comerciales de calderas y calefones con recuperación de vapores pueden recuperar el 10% de energía que de otro modo se iría por la chimenea. Además, al ser más eficientes en otros aspectos adicionales la eficiencia puede mejorar aún más. En la Tabla xx.2 se reproduce un conjunto de combustibles con sus correspondientes poderes caloríficos inferiores ( $H_{inf}$ ) y superiores ( $H_{sup}$ ) respectivamente.

## Emisiones de CO<sub>2</sub> de distintos insumos energéticos y combustibles IC

Cuando usamos algún combustible fósil carbón (mineral), gasolina, gas natural, etc. se produce emisiones de CO<sub>2</sub> en su combustión. En general, en cualquier reacción, se produce una cierta cantidad de energía por unidad de masa del combustible, poder calorífico superior ( $H_{sup}$ ), y una cierta cantidad de CO<sub>2</sub>, por cada unidad de masa quemada. La Intensidad de Carbono (IC) de una reacción o un combustible es la masa de CO<sub>2</sub> generada en la reacción, por unidad de energía producida. Comparemos tres reacciones típicas, la combustión de: i) metano (gas natural) y ii) propano (uno de los componentes del gas envasado o GPL) y iii) butano.



Por lo que por cada mol de metano (16 g) se produce 1 mol de CO<sub>2</sub> o sea 44 g, por consiguiente las emisiones de CO<sub>2</sub>, Intensidad de Carbono, producida en la combustión del metano será: IC= 44g/0,873MJ= 50,4 g(CO<sub>2</sub>)/MJ= 182 g(CO<sub>2</sub>)/kWh.



Por cada mol de propano (44 g) se producen 3 moles de CO<sub>2</sub> o sea 132 g, por lo que las emisiones de CO<sub>2</sub> producidas en la combustión de este combustible será: IC= 132g/2,21MJ= 59,7 g(CO<sub>2</sub>)/MJ= 215 g(CO<sub>2</sub>)/kWh.



Así, por cada mol de butano (58g) se producen 4 moles de CO<sub>2</sub> o sea 176g, por lo que las emisiones de CO<sub>2</sub> producidas en la combustión de este combustible será: IC= 176g/2,88MJ= 61,1 g(CO<sub>2</sub>)/MJ= 220 g(CO<sub>2</sub>)/kWh. En la Tabla xx3 se resumen, estos ejemplos de valores de IC y otros que se pueden calcular de modo análogo.

Lo que muestra esta tabla, es una propiedad general de los combustibles a base de hidrocarburos<sup>ii</sup> (combustibles fósiles) y carbohidratos.<sup>iii</sup> A medida que más larga son las cadenas de

<sup>ii</sup> Los hidrocarburos o hidrocarburos, son sustancias químicas formadas por átomos de carbono e hidrógeno. El metano, etano, propano, etc. son ejemplos típicos de estos compuestos.

carbono, mayor son las emisiones de CO<sub>2</sub> por unidad de energía que se produce en la reacción de combustión.

Tabla 3 Intensidad de carbono (IC) obtenido en la combustión de distintos combustibles. Se tomó como base en estos casos el poder calorífico superior ( $H_s$ ). Las IC de los combustibles reales, puede diferir de estos valores, ya que ellos no son sustancias puras, por ejemplo, el gas natural es mayormente metano (~95%) pero tiene otros componentes de hidrocarburos que varían con el origen y tratamiento del gas. Lo mismo sucede con el propano, butano (componentes del GLP) y el carbón mineral, cuyas propiedades (composición, poder calorífico, etc.) varía mucho con su origen y hasta tienen denominaciones distintas (antraceno, lignito, etc.)

Intensidad de Carbono		g(CO <sub>2</sub> )/MJ	kg(CO <sub>2</sub> )/MWh	IC (relat.)
Hidrógeno	H <sub>2</sub>	0	0	0
Metano	CH <sub>4</sub>	50,4	181,4	1
Propano	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	59,7	214,9	1,18
Butano	C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	61,1	220,0	1,21
Leña	C <sub>x</sub> H <sub>z</sub>	110±26	400±100	2,20
Carbóno	C	117	421,2	2,32

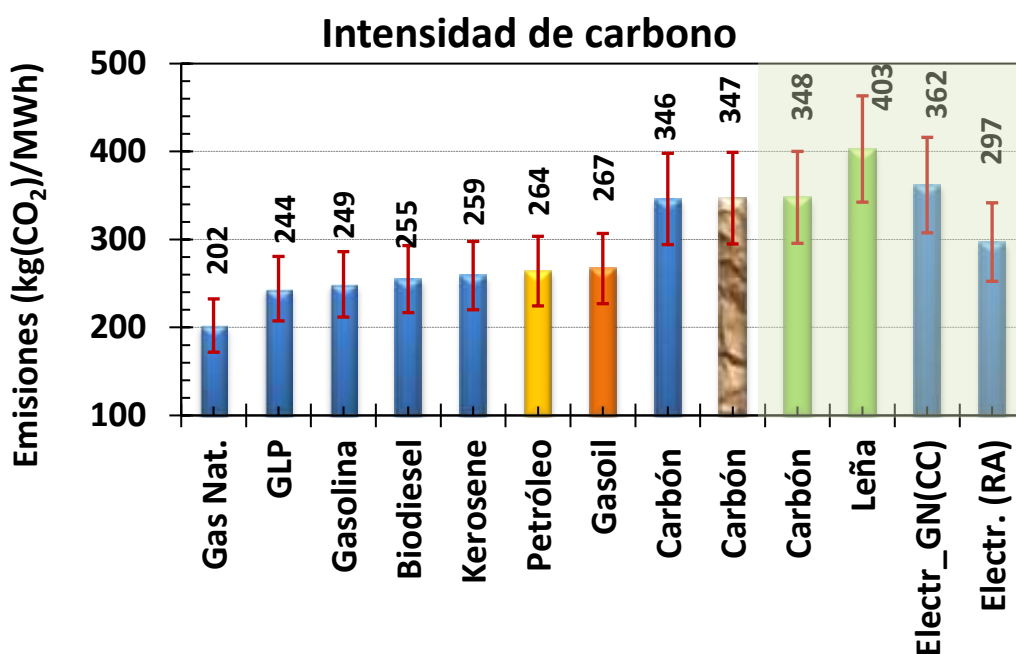
Tabla 4 Poderes caloríficos superiores ( $H_{sup}$ ) de varios insumos energéticos e Intensidad de carbono (IC) de los mismos. Estos valores varían dependiente de origen y tipo de combustibles. Aquí se dan solo valores indicativos que sirven para conocer sus valores típicos. Las 7 líneas inferiores con fondo verde son las emisiones promedio de CO<sub>2</sub>, para generar 1 MWh en distintos países. [9]

IC	$H_{sup}$ (kWh/kg)	IC(kg(CO <sub>2</sub> )/MWh)	IC_rel. %
Gas Nat.	16.9	202	100%
GLP	11.5	244	121%
Gasolina	12.0	249	123%
Biodiesel	10.9	255	126%
Kerosene	12.0	259	128%
Petróleo	11.6(±0.6)	264	131%
Gasoil	11.9	267	132%
Carbón Nacional	6.9 (±1)	346	171%
Carbón Importado	8.4 (±1)	347	172%
Carbón (Coque)	7.9(±1)	348	172%
Leña	2.4 (±0.5)	403	200%
Electr_GN(CC)		362	179%
Electr. (RA)		297	147%
Electr. (Brasil)		87	43%
Electr. (Nor)		3.0	1.5%
Electr. (Alem.)		512	253%
Electr. (EE.UU.)		514	254%
Electr. (China)		707	350%

<sup>iii</sup> Los carbohidratos, también llamado glúcidos, son sustancias constituida por moléculas orgánicas compuestas por carbono, hidrógeno y oxígeno. Estas moléculas son las formas biológicas generadas en la fotosíntesis.

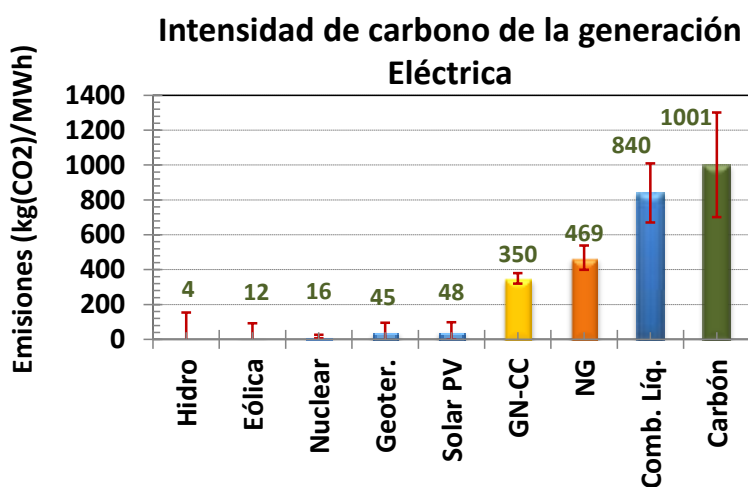
Un parámetro útil que se usa como indicador de las emisiones es lo que se denomina la *intensidad de emisiones o Intensidad de Carbono (IC)* o también *factores de emisión*, que se define como la cantidad de kg de CO<sub>2</sub> que se generan cuando se quema una cierta masa de dicho combustible que produce una dada cantidad de energía o calor. La intensidad de carbono se mide en kg(CO<sub>2</sub>)/MWh o también en g(CO<sub>2</sub>)/MJ, como se muestra en la Tabla 4y Figura xx.4. Dado que los combustibles fósiles y aún la madera tienen poderes caloríficos que difieren según su tipo o lugar de extracción, sus valores pueden variar de un lugar a otro en un 10% al 30%. En general, cuanto más larga es la cadena de carbono en la molécula, mayor es la intensidad de carbono (IC) de la misma. Esto se refleja en la columna de las emisiones relativas al gas natural (GN) de la Figura xx.4. Observar en la Tabla xx.4, como varían las emisiones del propano, butano, la leña y el carbón, respecto del GN. De hecho, de todos los hidrocarburos, el GN es el combustible con menor IC.

En la Figura xx-4 se muestra la intensidad de carbono para algunos combustibles de uso frecuente. En las dos últimas columnas de esta tabla también se incluye la intensidad de carbono asociada en la generación de electricidad con una Central Eléctrica de Ciclo Combinado que usa gas natural (GN-CC), junto a la intensidad energética de toda la electricidad que se genera en Argentina. Lógicamente, la intensidad energética de la electricidad de GN-CC es mayor que la del gas natural, debido a que el proceso de generación eléctrica con GN-CC tiene una eficiencia del orden del 55%.



**Figura xx-4.** Emisiones de CO<sub>2</sub> (IC) de distintos combustibles e insumos energéticos en kg(CO<sub>2</sub>)/MWh. Como se observa, de todos los combustibles fósiles, el gas natural es el que menos emisiones genera. En el caso de la electricidad, (dos últimas barras) sus emisiones dependen de la fuente primaria usada para producirla. Su emisión es tan alta debido a que la eficiencia de conversión de energía primaria a electricidad es inferior al 58%. En esta figura se indica el valor medio de la generación eléctrica nacional. Fuente Secretaría de Energía de la Nación Argentina. [10]

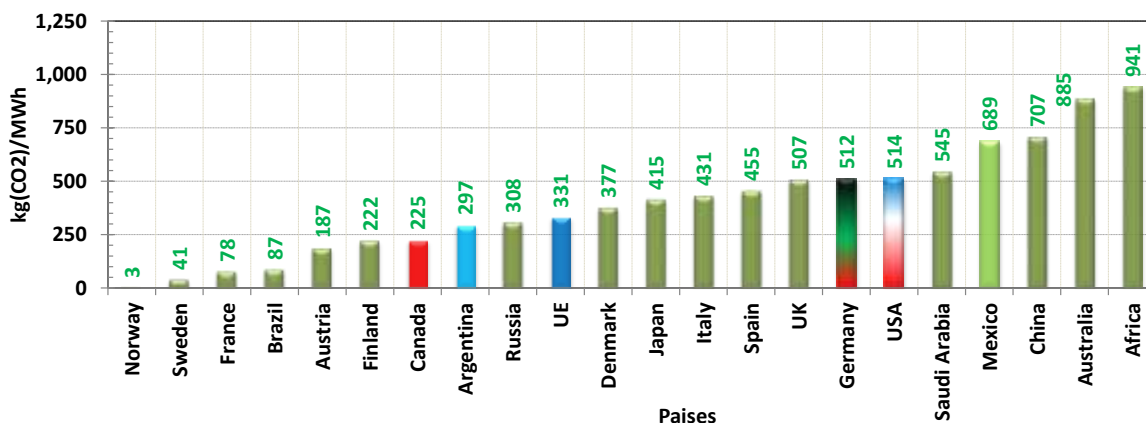
En particular cuando se genera electricidad con distintas tecnologías también se producen emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), que depende de las distintas tecnologías usadas en la generación. Para cada tecnología lo ideal sería contabilizar todas las emisiones de todo su *ciclo de vida*, es decir desde que se construye una central, el combustible que se usa en su funcionamiento, hasta las emisiones que generan cuando se desmantela y reciclan sus componentes. Sin embargo, esta información no siempre está disponible y muchas veces hay ambigüedades difíciles de resolver. Por ejemplo, en la generación hidroeléctrica, parecería que no hay emisiones porque no se quema nada, sin embargo, para la fabricación de cemento se queman importantes cantidades de combustibles, para operar las máquinas de construcción y transporte también. Por último, si se inunda un bosque para construir una represa, este bosque deja de absorber CO<sub>2</sub>, lo que equivale a un aumento de del *stock* de CO<sub>2</sub>. Finalmente, la materia orgánica bajo el agua se descompone y genera metano (CH<sub>4</sub>) que es un poderoso gas de efecto de invernadero (GEI) 20 veces más potente que el CO<sub>2</sub>. Desde luego, las emisiones de GEI de una central hidroeléctrica, será diferente si lo que se inunda es un desierto a que si es un bosque. De este modo no es posible dar valores precisos de las emisiones de las emisiones de las distintas tecnologías. La Figura xx.5 muestra las emisiones típicas de las distintas tecnologías con las incertezas antes mencionadas.



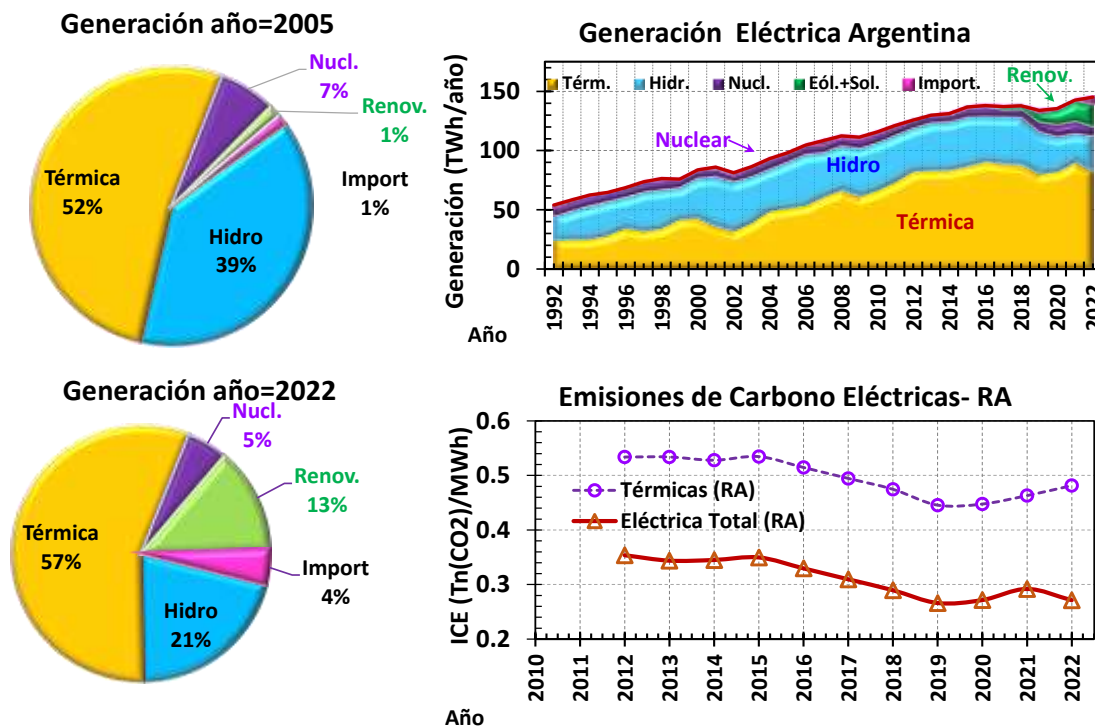
**Figura xx-5.** Intensidad de carbono eléctrica (ICE) para distintas tecnologías de generación. Las barras de error dan una idea de las incertezas en estos valores, por lo que en cada caso particular se requiere un análisis particular. [11], [12]

Dado que cada país tiene una matriz eléctrica única y distinta a la de otro, las emisiones de carbono eléctrica (ICE) para generar electricidad, varía grandemente de un país a otro, como lo muestra la Figura xx.6.

### Intensidad de Carbono - electricidad



**Figura xx-6.** Intensidad de carbono eléctrica media (ICE) media para distintos países. [9] La gran variedad de emisiones de cada país hace difícil trasladar las conclusiones de mitigación de un país a otro. El valor de Argentina está indicado por una barra azul.



**Figura xx-7** Panel superior, derecha, variación de matriz eléctrica argentina en los últimos 30 años. Panel inferior, variación de la Intensidad de carbono eléctrica (ICE) en Argentina en la última década, curva roja. También se indican la ICE asociada a la generación térmica (curva violeta de trazos). [13], [9] La reducción en las ICE en la última década seguramente se debe a la mayor participación de las energías renovables en la Matriz eléctrica. Diagramas de torta de la izquierda.

Lo interesante de la Figura xx-6, es que muestra lo inapropiado que son afirmaciones como: los automóviles eléctricos no generan emisiones (¿dónde?), es mejor usar electricidad que gas para cocinar, el transporte debería ser todo eléctrico, etc.

Otra aseveración que se escucha frecuentemente, aun en medios oficiales, es que quemar leña, madera o *pellets* es ecológicamente neutro. Es decir, no aumenta en stock de CO<sub>2</sub> en la atmosfera. Esta aseveración es debatible. Si se quema un árbol, por el mero hecho de cortarlo, ya se suprime una fuente de absorción de CO<sub>2</sub>, por lo que cortar un árbol ya incrementa el stock de CO<sub>2</sub> de la atmosfera. Luego si se lo quema, las emisiones de CO<sub>2</sub> de la madera son similares a la del carbón mineral. Tabla xx.4. Por lo tanto, *si se quema madera sin reforestar, la quema de leña genera más impacto ambiental que quemar carbón mineral.*

Un término habitual para designar tanto a la madera, leña, como otros productos derivados del crecimiento de plantas, es referirse a ellos con el nombre genérico de *biomasa*. La quema de biomasa solo es *sostenible a largo plazo siempre y cuando se reforeste*. Los bosques necesitan un manejo adecuado para permanecer neutrales en carbono. Y aun si se reforesta, los árboles que vuelven a crecer en las plantaciones industriales no almacenan el mismo carbono que los bosques naturales. Varios estudios sugieren que toma de 40 a 100 años para que un bosque capture la misma cantidad de carbono que un bosque natural. [14], [15] Y dado que la mayoría de los bosques de una plantación se talan a intervalos de 20 años, nunca llegarán al punto neutral de carbono.

La Unión Europea promueve la quema de madera y *pellets* como fuente de energía, por considerarlo “neutral en carbono.” Lo impulsa para cumplir con los objetivos de reducción de emisiones del Acuerdo de París. Uno de los argumentos utilizados para apoyar esta prescripción, es que al cortar un árbol, se puede utilizar el resto: ramas, astillas y aserrín producidos por la tala, para incinerados. Pero esto no siempre es así. Como varios estudios describen, la demanda de *pellets* de madera ha provocado un aumento en la tala en América del Sur y en otras partes del mundo, que no siempre van acompañadas de un manejo apropiado de los bosques. Además, el carbono forestal no solo se almacena en su madera, sino también en el suelo. No se puede cortar un árbol sin impactar el suelo. Los suelos pueden contener hasta el doble de carbono que árboles que lo cubre. Al cortarlo, se expone el suelo a más luz y temperaturas más elevadas que promueven descomposición y la liberación de carbono almacenado.

En ese sentido, es importe diferenciar la quema de biomasa que se genera como subproducto de otra explotación, por ejemplo, la cascara de maní o cacahuate, producida en la producción de esta legumbre. En estos casos, la cascara es un subproducto de la producción de un alimento. Si no se quema esta cáscara, su descomposición puede generar metano. Por lo que su incineración está justificada. Pero como se ve, cada caso debe ser analizado cuidadosamente. [16]

## Problemas y Preguntas

- ✓ Puede utilizar algunas de las varias aplicaciones para convertir unidades. Una muy conveniente para Android es: convertidor de unidades; o *Convert* para Windows (<http://joshmadison.com/convert-for-windows/>).

<b>1 KWh</b>	<b>3.6</b>	<b>MJ</b>		
<b>1 m3 (gas Nat)</b>	<b>10.8</b>	<b>KWh</b>		
<b>1 Litro Nafta</b>	<b>10</b>	<b>KWh</b>		
<b>1 Barril Petroleo</b>	<b>1.64</b>	<b>MWh</b>		
<b>1 M BTU</b>	<b>0.293</b>	<b>MWh</b>		
<b>1 Tep</b>	<b>11.63</b>	<b>MWh</b>		
<b>1 EJ</b>	<b>1.00E+18</b>	<b>J</b>		
<b>1 Quad</b>	<b>1.00E+15</b>	<b>BTU</b>	<b>1.06</b>	<b>EJ</b>

- Estime el consumo eléctrico mensual, de una pareja que vive en un departamento (50 m<sup>2</sup>), y que tiene una heladera de 400 l, (650 kWh/año). Usa el lavarropa 1 vez por semana (100 Wh/lavado), 3 lámparas incandescentes de 75 W, con 4 horas de uso diario, una lámpara LED 12W, encendida 8 horas diarias. Tienen un televisor, 50 W que usan tres horas diarias. Un Aire Acondicionado, frío/calor de 1000 W, que se usa 5 hs en invierno (120 días) y 4 hs. En verano (90 días) A) Cual es su consumo anual en kWh y en MJ. B) Cual es el costo anual y mensual de su factura eléctrica. Suponga que es cliente de EDENOR, ¿qué categoría de cliente sería? C) Realice un gráfico de torta con los distintos consumos. Que cambios realizaría para disminuir su consumo, ¿cuál es el costo de cambio y como se modifica su factura anual. Consulte el cuadro tarifario de esta distribuidora para obtener los datos necesarios.
- ¿Cuántos Joules se requieren para mantener encendida una lámpara incandescente de 100W todo el día?
  - La quema de carbón rinde  $30 \times 10^6$  J por kg de carbón quemado. Busque en la bibliografía el poder calorífico del carbón, ¿Cómo se compara estos datos con el sugerido aquí? ¿Qué dificultades encuentra?
  - Asumiendo que una central a carbón tiene un 30% de eficiencia, ¿cuánto carbón se debe quemar para mantener la lámpara encendida todo el día?
  - Suponga que la eficiencia de conversión de carbón a electricidad es del 30% y las pérdidas en la red de transmisión y distribución son del 12%. En Argentina hay unas 160 millones de lámparas de este tipo, cuanto carbón se debería quemar por hora, durante la noche, de 20 a 24hs, para encender estas lámparas.
  - ¿Cómo se podría transportar todo este carbón a una planta que produzca esta energía?
  - ¿Sería viable esta operación logística?
- Un litro de nafta permite obtener alrededor de  $4,7 \times 10^7$  J. Busque en la bibliografía el poder calorífico de la nafta ¿Cómo se compara estos datos con el sugerido aquí? ¿Qué dificultades encuentra? A un precio de U\$S 1,0<sup>iv</sup> por litro, ¿cuántos Joules se obtienen por un dólar?
  - ¿Cuánto cuesta en dólares el kWh de nafta, ¿cómo se compara con el costo de la electricidad y el gas en Buenos Aires? Un kWh de electricidad cuesta U\$S 0,07 y el m<sup>3</sup> de gas cuesta U\$S 0,06.
  - Un m<sup>3</sup> de gas produce 9300 Kcal cuando se quema y cuesta en EE.UU. 3.5 U\$S/MBTU.
  - ¿Cuánto cuesta el MBTU de gas natural a los usuarios residenciales en Argentina?
  - ¿Cómo se compara este valor con el costo del MBTU de gas importado (LNG- U\$S 24 en Argentina)? Explique la diferencia.
  - Una bolsa de carbón vegetal de 10 kg cuesta U\$S 3 al público, con un poder calorífico de 30.000 kJ/kg.
  - ¿Cuántos J se obtienen por un dólar?
  - ¿Qué diferencia al carbón vegetal del mineral?
  - El aceite de girasol cuesta alrededor de U\$S 1 por litro y tiene 108 kcal por porción de 13 ml.
  - ¿Cuántos Joules se pueden obtener por un dólar?
  - ¿Qué diferencias habrá si se trata de aceite de oliva? (108 kcal por 13 ml, U\$S 12/l)
  - Construya una tabla con el costo internacional del MWh en USD del gas natural licuado, el de petróleo, el de carbón y el de alcohol. Discuta estos resultados.

<sup>iv</sup>Datos aproximados en Argentina, al consumidor final, marzo 2020, considerando 1U\$S= \$63.

4. a) La represa Hoover tiene una potencia eléctrica de  $2.10^9$ W. Fue construida con  $7 \times 10^9$  kg de concreto. Para producir 1 kg de concreto se utiliza 1MJ de energía. ¿Cuánta energía se utilizó en la construcción de la represa? ¿Cuál es el tiempo de retorno energético de la represa? b) El área del lago Mead, formado por la represa, es de 247 millas<sup>2</sup>. Asumiendo  $250 \text{ W/m}^2$  de radiación solar sobre el lago, ¿cuánta energía produciría la misma superficie cubierta con paneles solares con una eficiencia del 12%? c) Busque la historia de esta represa y sus impactos ambientales (por ej. en Wikipedia, preferentemente en inglés). Ordene estos impactos según la clasificación vista en clase.
5. El Complejo Hidroeléctrico La Barrancosa-Cóndor Cliff, Santa Cruz, tendría un costo estimativo de unos 5000 Millones de dólares y generará unos 1700 MW. Suponiendo que tendrán un factor de uso comparable a la usina del Chocón (30%), con un precio de la energía de 0,10 US\$/kWh, ¿cuánto tiempo tardará en amortizarse? A) Ignore el costo del dinero. B) Considere que el costo de la tasa de retorno o interés del capital es del 5 o 10% anual. Ver: Complejo hidroeléctrico Cepernic-Kirchner (La Barrancosa-Cóndor Cliff) en Wikipedia.
6. Si se reemplazan unas 100 millones de lámparas, por su versión LED, a un costo de unos 1 US\$ por lámparas, ¿Cuántos MW de potencia se podría ahorrar? ¿Cómo se compara el costo del reemplazo de lámparas con el de construcción de una usina que genere la misma energía que se ahorra con el reemplazo de lámparas? Discuta las ventajas y desventajas de cada alternativa. Para fijar ideas suponga que el parque de 100 millones de lámparas está compuesto de una mitad de lámpara incandescentes y otra mitad de bajo consumo (CFL). Consulte los consumos de las lámparas incandescentes, CFL y LED para general la misma iluminación que una tradicional de 100 W.
7. a) Una persona tiene una dieta de 2000 cal (kcal) por día. Calcule la potencia promedio en W. b) En 2015, el consumo humano total de energía fue de 570 EJ. A) Calcule la potencia promedio. B) Calcule la potencia promedio per cápita. C) Compare ambos resultados.
8. Realice un gráfico de barra de costo de distintos combustibles, usando los valores internacionales, en USD/MWh en función de cada insumo. Puede usar los insumos indicados en la Tabla 4. Asimismo, en otro gráfico, indique las emisiones (IC) de los mismos en  $\text{kg}(\text{CO}_2)/\text{MWh}$  para todos ellos (o la mayoría).
9. Realice un gráfico de barra de costo de distintos combustibles (nafta, gasoil, gas natural, electricidad residencial), en USD/MWh para por lo menos 4 países de América Latina (incluyendo Argentina), EE.UU. y tres países de la UE.  
Ver: [https://es.wikipedia.org/wiki/Precios\\_de\\_la\\_electricidad](https://es.wikipedia.org/wiki/Precios_de_la_electricidad),  
<http://www.olade.org/publicaciones/precios-de-la-energe%EF%BF%BDa-en-america-latina-y-el-caribe-informe-anual-marzo-2020/>, <https://www.bnamericas.com/es/noticias/precios-de-la-electricidad-en-latinoamerica-comparacion-de-paises> , <https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/pdfscache/64909.pdf>,  
[https://elpais.com/elpais/2013/12/17/media/1387305009\\_225956.html](https://elpais.com/elpais/2013/12/17/media/1387305009_225956.html),  
[https://es.globalpetrolprices.com/gasoline\\_prices/](https://es.globalpetrolprices.com/gasoline_prices/), [https://es.globalpetrolprices.com/diesel\\_prices/](https://es.globalpetrolprices.com/diesel_prices/)
10. Una **central eléctrica térmica** de 1 GW y Factor de utilización del 95% al año, puede ser operada con gas natural (GN) o carbón (C) como combustible. Una central a GN de Ciclo Combinado (GN-CC) tiene una eficiencia de conversión del 58%, mientras que una central a Carbón tiene una eficiencia del 33%. Si el precio del GN es de 5 USD/MBTU y el del carbón es de 80 USD/Tn (Poder calorífico 7500 kcal/kg). A) Calcular la cantidad de TWh al año producida por cada una de las centrales. B) Calcular el costo de combustible que cada una de estas centrales usa por año. C) Calcular el costo del MWh asociado solo al costo del combustible para cada alternativa posible (GN-CC o C). D) Calcular las emisiones anuales de ambas centrales. E) Calcular las Emisiones de CO<sub>2</sub> por MWh de cada una de estas alternativas. F) Discuta la conveniencia de usar una u otra forma de

combustible, desde el punto de vista ambiental (emisiones) costo y logística de transporte. G) en el caso de Argentina, cree conveniente construir una central de carbón? Discuta.

11. En el año 2002:

- Se estimaban que las reservas mundiales de carbón eran de 24.000 Q (1 Q=Quad). Exprese este valor en EJ. ¿Cuál sería la duración de estas reservas si se mantuviese la tasa anual de consumo de 93 Q anuales de ese año?
- Las reservas mundiales de petróleo son de alrededor de 10.000 Q y su tasa de consumo es de 140 Q anuales. Repita el cálculo del punto a).
- Ídem para el gas natural. Se estimaba que las reservas eran de 7000 Q y el consumo era de 80 Q anuales. Exprese los resultados en una tabla.

Baterías	Voltaje Medio (V)	mA	Costo	Energía	Costo Especifico
Tipo	Durante descarga	horas (mAh)	USD	Wh	USD/kWh
<b>Baterías AAA</b>					
Alkaline Long-life	1.23	1,150			
<b>Baterías AA</b>					
Alkaline Long-life	1.23	2,122			
carbón-zinc	1.10	591			
Nickel-Cadmio (R)	1.20	1,000			
<b>Baterías C</b>					
Alkaline Long-life	1.23	7,800			
carbón-zinc	1.10	2,172			
Nickel-Cadmio (R)	1.20	2,500			
<b>Batería D</b>					
Alkaline Long-life	1.23	17,000			
Carbón-zinc	1.10	4,733			
Nickel-Cadmio (R)	1.20	5,000			
<b>Baterías Recargables (duración mil ciclos)</b>					
Laptop for Dell (Li Ion)	7.60	7,200			
Celular Samsung Li Ion	3.70	1,300			
Lithium Ion B Pack	3.70	6,600			
Auto eléctrico (li Ion)	72	150,000			
<a href="#">Batería de ácido-plomo</a> para automóvil.	12	1200			
Energía almacenada en un termotanque de 200 litros a T=65°C T <sub>ambiente</sub> T <sub>a</sub> = 18°C (Eléctrico)					

12. Usando la tabla que se indicada arriba. Estime el costo de la energía en USD/MWh y USD/kWh, de las distintas baterías descritas en la tabla. Consulte su costo en páginas como Amazon.com o similares. Con esta información complete la columna de los costos de estas baterías. A) Complete los datos de las dos últimas columnas. En el caso de baterías descartables en calculo es directo. Costo batería/energía en kWh. En las recargarlas, use un valor de unos 0.12 USD/kWh para la energía de la red que las carga. B) Realice un gráfico de los costos de electricidad en USD/kWh, 4 países analizados en el problema 9, y las distintas versiones de baterías analizados aquí. C) que pude concluir sobre el costo de la

electricidad. Sobre todo, de la electricidad que no viene del lar redas. D) a veces se dice que la energía más cara es la que no se tiene, discuta en contenido de esta frase.

Ver: [https://es.wikipedia.org/wiki/Bater%C3%ADa\\_de\\_ion\\_de\\_litio](https://es.wikipedia.org/wiki/Bater%C3%ADa_de_ion_de_litio),  
[https://es.wikipedia.org/wiki/Bater%C3%ADa\\_\(electricidad\)](https://es.wikipedia.org/wiki/Bater%C3%ADa_(electricidad))

## Bibliografía

- [1] «how photosynthesis take place in plants,» Neurotech Lectures, 2021. [En línea]. Available: [https://www.youtube.com/watch?v=xEF8shaU\\_34](https://www.youtube.com/watch?v=xEF8shaU_34).
- [2] R. Muller, *Physics and Technology for Future Presidents*, Princeton. N.J.: Princeton Univ. Press, 2010.
- [3] R. Muller, *Energy for Future Presidents*, N.Y.: W.W. Norton &Co., 2012.
- [4] H. D. y. R. A. F. Young, *Física universitaria volumen 1*, D. edición., Ed., México, 2009.: Pearson Educación, 2009.
- [5] Our World in Data, «Access to Energy,» 2020. [En línea]. Available: <https://ourworldindata.org/energy-access>.
- [6] Internationa Energy Agency (IEA), «Access to clean cooking,» Nov. 2019. [En línea]. Available: <https://www.iea.org/reports/sdg7-data-and-projections/access-to-clean-cooking>.
- [7] C. Barras, «Transformers: 10 revolutions that made us human,» *New Scientist*, pp. 32-36, 22 Oct. 2014.
- [8] R. Wrangham, *Catching Fire: How Cooking Made Us Human*, London, UK: Profile books, Basic Books, 2009.
- [9] A. Moro y Otros, «Electricity carbon intensity in European Member States: Impacts on,» *Transportation Research Part D*, p. In Press, 2017.
- [10] Secretaria de Energía de la Nación Argentina, «Secretaria de Energía de la Nación Argentina,» 2020. [En línea]. Available: <https://www.argentina.gob.ar/produccion/energia>. [Último acceso: Feb. 2020].
- [11] Secretaría de Gobierno de Energía. Subsecretaría de Planeamiento Energético, «Cálculo del Factor de Emisión de CO2 de la Red Argentina de Energía Eléctrica,» Secretaría de Gobierno de Energía Argentina, 2020. [En línea]. Available: <http://datos.minem.gob.ar/dataset/calculo-del-factor-de-emision-de-co2-de-la-red-argentina-de-energia-electrica>.
- [12] Wikipedia, «Intensidad de emisión,» 2020. [En línea]. Available: [https://es.wikipedia.org/wiki/Intensidad\\_de\\_emisi%C3%B3n](https://es.wikipedia.org/wiki/Intensidad_de_emisi%C3%B3n).
- [13] CAMMESA, «Compañía Administradora de del Mercado Mayorista Electrico S.A. Argentina,» 2023. [En línea]. Available: <https://cammesaweb.cammesa.com/>.
- [14] J. Daley, «The EPA Declared That Burning Wood Is Carbon Neutral. It's Actually a Lot More Complicated,» *The Smithsonian Magazine*, 24 APRIL 2018.
- [15] W. H. Schlesinger, «Are wood pellets a green fuel?,» *Science*, vol. 359, n° 6382, pp. 1328-1329, 2019.
- [16] F. Ramos, M. Díaz y M. Villar, «Biocombustibles,» *Ciencia Hoy*, vol. 25, n° 147, pp. 69-73, 2016.