

energía: algunos conceptos fundamentales

MARK IANNONE *

RESUMEN

Se presenta información y datos sobre la energía, su disponibilidad y consumo, así como el valor energético de algunos cultivos y alimentos.

INTRODUCCION

Este artículo enfoca un tema de gran interés actual: la energía. Su orientación es didáctica y pretende familiarizar a los lectores legos en esta materia con los conceptos de energía y potencia así como despertar su curiosidad sobre la controversia que existe alrededor de la utilización de ciertas fuentes energéticas.

En el Sistema Internacional (SI), la energía se expresa en la unidad conocida como Joule (julio) que se define por medio de la siguiente ecuación:

$$1 \text{ J} = 1 \text{ kg m}^2 \text{ s}^{-2}$$

En el SI, todo cálculo que da como resultado energía sale necesariamente en J (véase cuadro No. 1). La unidad de potencia en el SI es el Watt (vatío) y:

$$1 \text{ W} = 1 \text{ J s}^{-1}$$

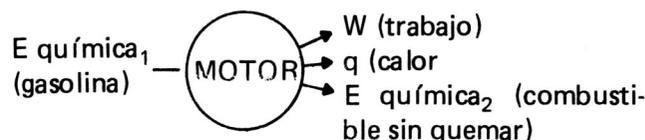
La potencia es el consumo o producción de energía por unidad de tiempo, o el flujo de energía.

CUADRO No. 1. Fórmulas, constantes y prefijos muy usados

Trabajo:	fuerza X distancia: $1 \text{ N m} = 1 \text{ J}$ masa X g X altura: donde g (aceleración de la gravedad) = 9.8 N kg^{-1}
Energía eléctrica:	Para referirse a la energía eléctrica se emplea comúnmente el kW hora. $1 \text{ kW hora} = 1000 \text{ W X } 3600 \text{ s} = 3,6 \times 10^6 \text{ J}$
Calor:	La unidad común, la caloría, definida como $4,184 \text{ J}$, es aproximadamente la cantidad de calor necesario para aumentar la temperatura de 1 g de agua en 1 K .
Prefijos:	K kilo 10^3 M mega 10^6 G giga 10^9 T tera 10^{12}

EFICIENCIA

Considere un motor de gasolina. Tiene una entrada de energía, la energía química de la gasolina. En el motor, esa energía se convierte en trabajo, calor y probablemente salga cierta cantidad de combustible sin quemar. Este proceso se puede representar con el siguiente esquema:



Cuando el motor se mantiene en funcionamiento ininterrumpido por un tiempo, alcanza una temperatura constante. Puesto que el motor no almacena energía en otra forma, su energía interna (U) es constante, y se puede escribir como:

$$\Delta U = 0$$

* Profesor del Depto. de Química, Instituto Tecnológico de Costa Rica.

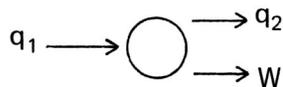
$$-E' \text{ química}_1 = w' + q' + E' \text{ química}_2 \quad *$$

Se puede definir la eficiencia del motor de una manera lógica:

$$e = -w'/E' \text{ (entrada)}$$

Es decir, la eficiencia es la fracción de ese flujo de energía que el motor convierte en trabajo.

El ingeniero francés Sadi Carnot (1796-1832) estudió teóricamente una máquina más sencilla, parecida a una máquina de vapor, para convertir calor en trabajo:



Aquí se puede escribir:

$$-q_1' = q_2' + w'$$

$$e = -w'/q_1'$$

Carnot demostró cómo calcular el trabajo máximo que se puede obtener de cualquier máquina que convierte calor en trabajo. Si el calor q_1 proviene de un depósito de calor externo a temperatura T_1 y el calor q_2 es absorbido por otro depósito externo a temperatura T_2 , Kelvin demostró, también teóricamente, que la máquina puede hacer trabajo únicamente si $T_1 > T_2$, y que la eficiencia de la máquina es $e \leq (T_1 - T_2)/T_1$ cuando la temperatura se expresa en K. Cualquier máquina que convierta calor en trabajo está inexorablemente sujeta a esta limitación.

El calor es una forma de energía que no es directamente aprovechable para hacer trabajo. La razón es que al nivel molecular, el calor es la energía cinética del movimiento desordenado de electrones, átomos, iones o moléculas. Sólo una parte de esta energía se puede dirigir para hacer trabajo. Trabajo y energía cinética, por ejemplo, son formas ordenadas de energía: en el movimiento de una pesa hacia arriba, todas las partículas de la pesa se mueven en la misma dirección.

La energía eléctrica es un movimiento orde-

* Se emplea la convención de expresar con signo negativo la energía en cualquier forma perdida por el sistema. Las comillas (') indican flujo.

nado de cargas; conversiones de energía eléctrica en w pueden alcanzar una eficiencia cercana del 100%. La energía hidroeléctrica proviene de la conversión de la energía potencial gravitacional del agua, y tampoco está limitada por la ecuación de Kelvin.

Las formas ordenadas de energía siempre están tratando de "desordenarse", es decir, convertirse en calor por fricción, resistencia eléctrica, etc. Una forma no matemática de enunciar la segunda ley de la termodinámica es:

Siempre hay una tendencia hacia el desorden.

Un motor de combustión interna trabaja con la energía química del combustible, pero la convierte primero en calor en la combustión, luego en trabajo. Por lo tanto, está limitado por la ecuación de Kelvin, además de sufrir pérdidas por fricción. Lo mismo se puede decir de la máquina de vapor. Otro problema es que el vapor ataca el hierro, inclusive el acero inoxidable, a temperaturas y presiones altas:



Esto limita la temperatura empleada a aproximadamente 800K:

$$e = (800 - 293)/800 = 0,63$$

La mayor parte de la energía eléctrica de los Estados Unidos se genera por turbinas de vapor con una eficiencia (después de otras pérdidas) de alrededor del 40%.

CUADRO No. 2. Eficiencia de varios aparatos

APARATO	EFICIENCIA
Motor, gasolina	0,27
diesel	0,32
turbina	0,3
eléctrica	0,75 - 0,95
Planta hidroeléctrica	0,6
Planta nuclear	0,3
Bombillo	0,05 luz, 0,95 calor
Luz fluorescente	0,2 luz
Celda solar	0,1 (1971)
Acumulador	0,75
Pila seca	0,9
Celda de combustión	0,6

Fuente: referencias No. 1 y No. 2

EQUILIBRIO

Una máquina para convertir q en w produce trabajo sólo si funciona entre dos depósitos de calor con diferentes temperaturas. La ley número cero de la termodinámica dice que dos objetos en contacto llegarán a un estado de equilibrio en el cual tienen la misma temperatura. Entonces, la máquina hace trabajo sólo si los dos depósitos no están en equilibrio.

Todo sistema aislado tiende a llegar a un estado de equilibrio donde la temperatura, presión y concentración están uniformes en todo el sistema. No ocurre ningún cambio visible; no hay energía química ni de otro tipo disponible para hacer trabajo. Un sistema que se mantiene lejos del equilibrio por un flujo de energía se llama un sistema disipativo. Un ejemplo de tal sistema es la célula; otro es la Tierra.

La energía radiativa que baña la tierra construye orden del desorden a través de los procesos de la vida. La mayoría de los cambios en el universo proceden hacia mayor entropía (desorden) pero la vida pospone el efecto de esta ley básica usando la corriente de luz solar para construir complejos ensamblajes de proteínas, carbohidratos, lípidos, y otras moléculas biológicas...La reacción fotoquímica fundamental de la vida es la fotosíntesis en las plantas. La fotosíntesis combina moléculas de dióxido de carbono y agua para formar carbohidratos y oxígeno...Animales que comen las plantas pueden liberar la energía almacenada en ellas por medio de las varias reacciones oxidativas de los procesos metabólicos...La cadena de la vida procede de esta manera; la energía pasa como una cascada por las comunidades de plantas y animales. (4)

ENERGIA SOLAR

La energía solar es la fuente de prácticamente toda la energía disponible en la Tierra. Esto incluye la energía alimenticia y combustible de cosechas vegetales, la energía hidroeléctrica y del viento, y la energía de combustibles fósiles como el petróleo, gas natural, y carbón. Estos últimos, los combustibles fósiles, representan energía solar almacenada por plantas hace millones de años.

CUADRO No. 3. Fuentes de nueva energía en la biosfera, TW

Energía solar	178 000
Mareas	1
Energía geotérmica	0,06

Fuente: la referencia No. 7

La constante solar es la intensidad de la radiación solar antes de pasar por la atmósfera, y es igual a $1,4 \text{ kW m}^{-2}$.

En números aproximados, esta energía incidente se distribuye de la siguiente manera:

- es reflejada: 30%/o
- es absorbida por la atmósfera: 20%/o
- es convertida directamente a calor: 40%/o
- produce evaporación de agua: 30%/o
- produce viento, olas, corrientes: 0,2%/o
- produce fotosíntesis: 0,0002%/o

CUADRO No. 4. Radiación solar en Costa Rica

Radiación, MJ/m ² día	San José	Puntarenas	Limón
máximo	23	> 27	32
promedio anual	13	15	14
Horas de sol			
diarias, promedio anual	5,3	7,3	4,9
total anual	1950	2500	1800

Fuente: referencia No. 3

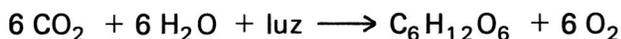
La constante solar se puede usar para calcular la pérdida de masa solar en forma de energía radiativa; se obtiene un valor de $4,4 \times 10^9 \text{ kg/s}$. Al multiplicar la constante por el área transversal de la tierra, se obtiene la energía total recibida por la tierra: $1,78 \times 10^{17} \text{ W}$.

La energía que produce evaporación se puede calcular con base en la precipitación anual mundial de aproximadamente $5 \times 10^{14} \text{ m}^3$ y el calor de vaporización del agua. Este calor es devuelto a la biosfera al condensarse el vapor.

Si la tierra no cediera energía, su temperatura aumentaría debido a la energía solar que recibe. Como todo cuerpo a una temperatura mayor que el ambiente, la tierra irradia energía de acuerdo con la ley de Stefan. La tierra cede $1,25 \times 10^{17} \text{ W}$ al espacio, principalmente en forma de luz infrarroja.

LA FOTOSINTESIS

La fotosíntesis es el proceso natural por medio del cual las plantas "fijan" la energía solar en forma de energía química. De la energía solar incidente, alrededor de 50% es de una longitud de onda aprovechable por las plantas. La fotosíntesis involucra una complicada serie de reacciones, enzimas y agentes catalíticos (notablemente la clorofila) pero la reacción neta más importante es:



La glucosa ($\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$) y la energía química que contiene, se usan para obras de construcción dentro de la planta, y para almacenar energía: se producen celulosa, proteínas, aceites, azúcar, y muchos compuestos más.

Estos productos directos e indirectos de la fotosíntesis suministran la energía vital para prácticamente todos los organismos no-fotosintéticos de la tierra.

En dos estudios muy interesantes (8, 23), se midieron la radiación solar incidente sobre un cultivo y el calor de combustión del material vegetal producido. Se pretende así obtener una idea de la eficiencia del proceso de fotosíntesis.

CUADRO No. 5. La eficiencia de la fotosíntesis

Especie cultivada	Caña de azúcar	Arboles, varias especies
Lugar	Cuba	Estados Unidos
Materia seca producida toneladas ha ⁻¹ año ⁻¹	59	38,5
Calor de combustión, KJ g ⁻¹	16,7	19,2
Energía total producida T J ha ⁻¹ año ⁻¹	0,99	0,74
Energía solar incidente T J ha ⁻¹ año ⁻¹	68,2	45
Eficiencia	1,45% ^o	1,6% ^o

Fuente: referencias No. 8 y No. 23

Los cubanos agregan otros datos interesantes: la eficiencia es 1,72% cuando se toma en cuenta toda la planta (raíces). La caña absorbe 38,6% de la energía incidente.

CALOR DE COMBUSTION

Una manera de medir el contenido energético de materiales combustibles o alimenticios es quemar una cantidad conveniente (entre 0,5 y 1 g) en un calorímetro con un exceso de oxígeno, y medir el calor producido por la combustión. Bajo estas condiciones, todo el C en la muestra se convierte en CO₂ y el H en H₂O(l). El calor de combustión es igual a $-\Delta H$ de la reacción de combustión, y se expresa en J o kcal por mol o por g.

CUADRO No. 6. Contenido energético de algunas sustancias

Sustancia o material	Fórmula	Calor de combustión	
		kJ mol ⁻¹	kJ g ⁻¹
Metano	CH ₄	89	56
Propano	C ₃ H ₈	2220	50
Octano	C ₈ H ₁₈	5480	48
Etanol	C ₂ H ₆ O	1367	30
Metanol	CH ₄	726	23
Carbono	C	393	33
Glucosa	C ₆ H ₁₂ O ₆	2801	15,6
Sacarosa	C ₁₂ H ₂₂ O ₁₁	5641	16
Acido acético	C ₂ H ₄ O	874	15
Monóxido de carbono	CO	283	10
Dióxido de carbono	CO ₂	0	0
Hidrógeno	H ₂	286	143
Leña		17	kJ g ⁻¹
Bagazo (50% humedad)		6,5	8,6
Carbón de leña		27	
Carbón mineral		15	30
Gasolina		33	kJ ml ⁻¹
Diesel		36	
Bunker		39	

Fuente: referencias No. 9, 10 y 11.

ENERGIA EN LA AGRICULTURA

...El uso mundial de energía en 1970 fue del orden de 2×10^{19} calorías. La energía solar incidente en los aproximadamente 4×10^9 acres de tierra actualmente cultivados fue del orden de 5×10^{22} calorías. Si aproximadamente 4% de esta tierra se usara para el cultivo de cosechas que producen alcohol y metano con una eficiencia de alrededor de 1%, toda la

energía usada por todo el mundo en 1970 se podría abastecer. (5, pág. 264-265).

Varios autores han sugerido que la caña de azúcar podría llegar a ser una solución importante a la escasez mundial de combustible, proteína y fibra. Desgraciadamente, esto es demasiado optimista. El uso anual de combustibles fósiles ahora representa casi cinco veces el total de energía solar fijada por toda la actividad agrícola mundial, incluyendo silvicultura (en un año). Segundo, una buena cantidad de energía se requiere para procesar el material fibroso y convertirlo en una forma fácilmente utilizable como combustible. Tercero, la recuperación de azúcar y melaza, que representan menos de la tercera parte de la materia seca producida, requiere que se quemé alrededor de la mitad de la materia seca no-azúcar. Y cuarto, la producción y cosecha de la caña de azúcar requiere una inversión significativa de energía. (9, pág. 25)

El aumento en el riego y el uso intensivo de fertilizantes y pesticidas ha aumentado la productividad agrícola... Los fertilizantes son "energía-intensivos". Mucha energía se requiere para minar, transportar, procesar, vender, y distribuirlos. De hecho, más energía no renovable se gasta en la producción, venta, y aplicación de fertilizantes que la cantidad de nueva energía producida. John y Carol Steinhart estiman que en sistemas industrializados, se requieren de cinco a diez calorías para obtener una caloría de alimento. En las llamadas culturas primitivas, cada caloría de energía produce de cinco a cincuenta calorías de alimento. (12, pág. 790).

CUADRO No. 7. Rendimiento de varias cosechas en Costa Rica, 1976 toneladas ha^{-1} año $^{-1}$

Arroz pilado	0,862
Maíz	1,42
Frijol	0,46
Sorgo	1,84
Banano	34,62
Caña	58,0
Papa	12,4
Yuca	5,6
Piña	12,4 (1973)

Fuente: referencia No. 14

CUADRO No. 8. Caña de azúcar: inversión energética

Inversión (10^6 J ha^{-1} año $^{-1}$)	BARBADOS		BRASIL
	no meca- nizado	meca- nizado	meca- nizado
Labor	1200 ^a	42 ^a	500 ^b
Maquinaria: costo ^c	2000	10000	2680
mantenimiento	290	9300	
combustible	—	10500	8300
Fertilizantes	9530	9530	4580
Herbicidas,			
insecticidas,			
otros	—	170	1100
Procesamiento	bagazo ^d	bagazo ^d	bagazo ^d
Total	12020	39542	17160
Producción (por ha año)			
materia seca			
toneladas		70	54
Energía total ^e 10^{11} J		12	9,2
Producto		7 Ton. azúcar	3564 litros alcohol
Energía del producto ^e 10^{11} J		1,15	0,836
Balance (por ha año)			
Invertido 10^{10} J	1,2	1,95	1,72
Producido 10^{10} J		11,5	8,36
P/I	9,6	2,9	4,9

NOTAS

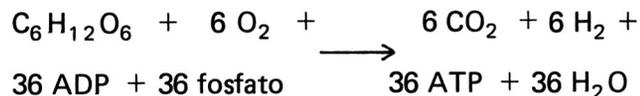
- a El autor toma 1 hombre-día = 12,5 MJ y 1 buey día = 75 MJ
 b El autor toma 1 hombre-día = 18,2 MJ; incluye transporte al trabajo.
 c Combustibles fósiles invertidos en la manufactura de la maquinaria.
 d Ambos autores mencionan que sobra bagazo.
 e Calor de combustión de la materia seca se toma como 17 kJ/g
 Calor de combustión de alcohol y sacarosa, según ref. 10.

Fuente: referencias No. 9 y No. 13

ENERGIA ALIMENTICIA

...el calor no puede ser utilizado como fuente de energía por los organismos vivos, los cuales son esencialmente isotérmicos, ya que aquél sólo puede realizar trabajo, a presión constante, cuando fluye desde un cuerpo más caliente a otro más frío. En cambio, la energía libre de los combustibles celulares se conserva como energía química, específicamente como la energía del enlace fosfato del trifosfato de adenosina (ATP). . . Un segundo camino para transportar la energía química. . . es en forma de electrones (por medio de compuestos como el NADP). (15, pág. 291-292)

En un motor, el combustible se quema, convirtiéndose su energía química en calor. La energía química de los alimentos no se utiliza directamente en la célula; se transfiere en una larga serie de reacciones al compuesto ATP. En el caso de la glucosa, la reacción neta es:

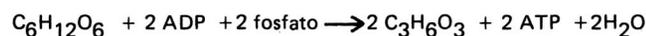


Cada mol de ATP almacena alrededor de 50 kJ de energía directamente utilizable, un total de 1800 kJ por mol de glucosa. Esta energía se aprovecha para trabajo de síntesis, transporte a través de membranas, o muscular, por medio de la reacción:



Los productos de esta reacción se reciclan en la primera reacción. La diferencia entre 1800 kJ mol⁻¹ y el calor de combustión de la glucosa se disipa como calor.

En ejercicio aeróbico, los pulmones y la sangre suplen a los músculos el oxígeno necesario para la reacción anterior. En ejercicio muy intenso, los pulmones no dan abasto, y a falta de O₂ la célula debe recurrir a otra reacción para producir la energía necesaria:



Esta reacción es mucho menos eficiente; además produce el ácido láctico, C₃H₆O₃, un producto inconveniente y difícil de eliminar del músculo. Debe ser oxidado posteriormente, lo que produce una demanda de oxígeno después del ejercicio que se conoce como el déficit de oxígeno.

La energía gastada en varias actividades es energía total alimenticia, y no tiene mucha relación con la cantidad de trabajo realizado. Por ejemplo, al correr en plano, un físico afirmarí que, si se desprecia la resistencia del aire, no se hace trabajo. El metabolismo basal es la cantidad mínima de energía que el organismo necesita en reposo para mantener su temperatura, circulación de la sangre, respiración, etc. Depende del tamaño, edad, sexo, pero se puede tomar como aproximadamente 1300 kcal/día para un adulto.

CUADRO No. 9. Energía gastada en varias actividades

Actividad	kcal/hora	W
Metabolismo basal	55	65
Dormir	55	65
Leer	85	100
Caminar	260	300
Correr	520	605
Trabajo de oficina	120	140
Labor pesada	385	450
Ejercicio muy fuerte	900	1050

Nota: Los datos corresponden a una persona de 60 kg.

Fuente: referencias No. 16 y No. 17

El valor energético de la comida se cita comúnmente en Calorías (con C mayúscula) que son en realidad kilocalorías; son los calores de combustión de los alimentos medidos en el calorímetro. Un adulto moderadamente activo necesita alrededor de 2300 kcal (mujer) o 3200 kcal (hombre) diariamente, además de otros nutrientes, sobre todo proteína.

CUADRO No. 10. Valor energético de varios alimentos

Alimento	kcal/g	kJ/g	% proteína
Azúcar	3,95	16,5	0
Pan blanco	2,75	11,5	8,5
Leche	0,68	2,5	3,5
Huevo	1,62	6,8	12,8
Arroz cocido	1,19	5,0	2,5
Banano	0,88	3,7	1,2

Fuente: referencia No. 17

TRABAJO HUMANO

Hasta el siglo XX, la fuerza humana era importante en algunas industrias. Algunos estudios del trabajo que se podía esperar de un hombre en un día proporcionan ejemplos del cálculo de trabajo y del uso de factores de conversión, si no de justicia social. (18)

En 1699, Guillaume Amontons estudió la actividad de un pulidor de vidrio, y concluyó que su trabajo era equivalente a levantar 25 lb 3 pies por segundo durante una jornada de 10 horas. Comentó que un caballo hacía seis veces este trabajo. Esta última cifra fue muy discutida. En 1819 un enciclopedista promedió los números de

varias fuentes, llegando a una cifra de 5,87 hombres caballo⁻¹. Comentó, sin embargo, que del hombre se esperaban 10 horas diarias de trabajo, y del caballo sólo 8; por lo tanto $5,87 \times 0,8 = 4,7$ era una cifra más realista.

Coulomb calculó el hombre-día con base en unos alpinistas de 70 kg que subieron un pico de 2923 m en 7 horas 45 min. Robison comentó que un joven empleado suyo "fácilmente" hacía 553000 kg m de trabajo* en una bomba de agua en 10 horas (dudoso). Watt, en 1782, tomó 1 caballo = 33000 lb pie/min, cifra que hoy define el caballo de fuerza*.

Como último ejemplo, ponemos el caso del funcionario del ITCR, conocido atleta nacional, que corre desde las instalaciones del Instituto hasta Cot en 32 min., una subida de aproximadamente 500 m (19). Si él pesa 65 kg, el trabajo es:

$$500 \text{ m} \times 65 \text{ kg} \times 9,8 \text{ N kg}^{-1} = 3,18 \times 10^{-5} \text{ J}$$

con una potencia de:

$$3,18 \times 10^{-5} \text{ J}/1920 \text{ s} = 166 \text{ W}$$

CUADRO No. 11. Trabajo humano

Actividad	Potencia	
	W	MJ/día
Pulidor de vidrio	102	3.7
Operador de bomba	150	5.4
Alpinistas	72	2
Atleta	166	—

FUENTES DE ENERGIA EN COSTA RICA

Fuente de estos datos: referencia No. 11

El consumo de energía en Costa Rica, 1980.

Fuentes primarias TJ

Hidráulica	12213	
Petróleo	21784	(importado)
Carbón mineral	12	(importado)
Leña	19050	
Residuos vegetales	5434	

* El kg de fuerza usado aquí equivale a 9,8N. Aunque la expresión "caballo de fuerza" es común, es una unidad de potencia y no de fuerza.

Fuentes secundarias TJ

	Consumo	Importado
Electricidad	8014	—
Gas licuado	385	774
Gasolina	3852	2370
Kerosene, jet	1562	109
Diesel	6305	8893
Bunker	8876	—
Carbón de leña	373	—

Energía eléctrica

	Capacidad, MW	Generada, 1980 GW Horas
Hidroeléctrica	457 (405 del ICE)	2127
Diesel	84	79
Vapor	25	15
Turbina de gas	80	5

Hidrocarburos, 1980

	Produ- cido	Impor- tado	Expor- tado	Demanda	Costo*
Petróleo crudo	—	599,4	—	—	—
Gas licuado	15,1	30,3	—	42,6	66,5
Gasolina	117,9	72,6	—	177,9	7,5
Jet	45,3	3,2	—	52,5	4,95
Diesel	173,5	244,7	—	413,1	5,00
Bunker	227,7	—	43,2	169,8	1,10
Asfalto	16,0	—	—	16,3	—

* costo en ¢/litro (31 de diciembre 1980)
Los demás datos, en 10⁶m³

FUENTES ENERGETICAS EN EL MUNDO

No renovables: reservas totales (10¹⁸ J)

Carbón mineral	200 – 300
Petróleo	30 – 60
Gas natural	20 – 50
Nuclear (fisión)	1000 – (?)
Demanda total, 1960	2000 – 100 – 200

Renovables	Potencial, 10 ¹² W	Utilizable en el año 2000, 10 ¹² W
Solar	28000	?
Leña	3	1,3
Hidroeléctrica	3	1
Viento	0,1	0,01
Geotérmica	0,06	0,006
Demanda, año 2000	15	

Fuente: referencia No. 20

La humanidad ha sido afortunada de disponer tal variedad de recursos energéticos. A largo plazo necesitaremos energía absolutamente libre de contaminación; tendremos la energía solar. A mediano plazo necesitaremos energía inagotable y moderadamente limpia; tendremos el deuterio. A corto plazo necesitaremos energía fácilmente utilizada y abundante; tendremos el uranio. Ahora mismo necesitamos energía barata y fácil de conseguir; tenemos carbón y petróleo. La naturaleza ha sido más bondadosa con nosotros de lo que teníamos derecho a esperar. Cuando miramos allá dentro del universo e identificamos los muchos accidentes de la física y la astronomía que han obrado juntos a nuestro favor, casi parece que el universo debe, en algún sentido, haber sabido que veníamos. (21)

... estamos siendo impulsados hacia una revolución, a una serie de cambios profundos que afectarán casi todos los aspectos de nuestra vida diaria. . . Tal vez el único punto en que concuerdan la mayoría de los expertos es en que en verdad existe un problema energético. Es sumamente crítico en el caso del petróleo: dependemos enormemente del petróleo en prácticamente cada fase de nuestra vida. . . La conservación sería la respuesta sólo si el abastecimiento, aunque limitado, fuese continuo (pero) el petróleo del mundo se va agotando rápidamente, y, una vez agotado, lo habrá sido para siempre. . .

Sin duda, las plantas de energía nuclear generarán una proporción creciente de nuestra energía eléctrica, aunque no tanto como alguna vez se vislumbró, a pesar del enorme capital que requiere su construcción, las enormes cantidades de calor no aprovechable que estas plantas descargan en el ambiente, y los problemas de la eliminación de los desechos radiactivos. Pero bien cabe sospechar que estos problemas en un tiempo limitado serán intolerables. . . No hay una sola respuesta ni panacea alguna que pueda detener la revolución. Simplemente debemos hacerle frente a medida que se nos presenta. (22)

LITERATURA CONSULTADA

1. Reynolds, W. *Energy, from Nature to Man*. California: McGraw-Hill, 1974 (ITCR).
2. *Power conversion*. *Scientific American*, setiembre, 1971 (UCR)
3. *Energía solar: fundamentos y aplicaciones*. Cartago: Editorial Tecnológica, 1980. (ITCR)
4. Gates D.M. *The flow of energy in the biosphere*. *Scientific American*, setiembre, 1981 (UCR)
5. Wilson, S.S. *Sadi Carnot*. *Investigación y ciencia* No. 61 (ITCR)
6. Moore, W.J. *Química física*, tomo 1, capítulo 3 Bilbao: Urmo, 1977 (ITCR)
7. Hubbert, M.K. *Energy* *Scientific American*, setiembre, 1971 (UCR)

8. Varlet, C. et al. *Rendimiento energético de un cultivo de caña de azúcar*. Turrialba. v. 26 (2) 1976 (CATIE)
9. Hudson, J.C. *Sugarcane: energy relationships with fossil fuel*. *The sugar journal*, octubre 1975 (CATIE)
10. Weast, R.C. (ed) **Handbook of Chemistry and Physics Ohio**, CRC Press, 1973 (ITCR)
11. SEPSE **Anuario Estadístico**. Sector energético. San José, agosto, 1981.
12. Kirk, D. ed. **Biology Today**. New York: Random House, 1975 (ITCR)
13. Gomes da Silva, J. et al *Energy Balance for Ethyl Alcohol Production from Crops*. *Science*, v 201 (8) setiembre 1978 (UCR)
14. OPSA. **Información básica del sector agropecuario de Costa Rica**. San José: 1977 (ITCR)
15. Lehninger, A. **Bioquímica** Barcelona: Omega, 1972. (ITCR)
16. Best, C.H. ed. **Bases fisiológicas de la práctica médica**. México: UTEHA, 1964 (UCR)
17. Mertz, E. **Bioquímica**. México: Publicaciones cultural, 1977 (ITCR)
18. Ferguson, E.S. *The measurement of man-day*. **Scientific American**, octubre, 1971 (UCR)
19. Comunicación personal de Jorge Rowe
20. Starr, C. *Energy and power*. **Scientific American**, setiembre, 1971 (UCR)
21. Dyson, F. *Energy in the Universe*. **Scientific American**, setiembre, 1971 (UCR)
22. Phillips, O. **La crisis de energía: las últimas opciones**. Buenos Aires: Edisar, 1981 (ITCR)
23. Zavitkovski, J. **Biomass farms for energy production**. Biological considerations. Wisconsin: North Central Forest Experiment Station. (ITCR)

NOTA: Las siglas UCR, ITCR y CATIE que aparecen al final de cada cita, indican que el documento puede localizarse en la Biblioteca central de esas instituciones.