

**Tesis Doctoral:**

**UNA REVISIÓN CRÍTICA DE LOS FACTORES  
CONDICIONANTES DEL COMPORTAMIENTO  
ENERGÉTICO EMPRESARIAL, PREVIO Y POSTERIOR  
A LAS CRISIS DE 1.973 y 1.979-80**

**VOLUMEN I**

**Director:** Dr. D. Enric RIBAS i MIRÁNGELS

**Tutor:** Dr. D. Francesc TARRAGÓ i SABATÉ

**Realizada por:** Joaquín-Andrés MONZÓN GRAUPERA

**División de Ciencias Jurídicas Económicas y Sociales.**

**Facultad de Ciencias Económicas y Empresariales. Universidad de  
Barcelona.**

**Departamento de Economía y Organización de Empresas.**

**Septiembre de 1.992.**

---

# **VOLUMEN I (PARTE PRIMERA)**

---

---

## **2. FUNDAMENTOS TEORICOS DE LA ENERGIA**

---



---

## **2.1. CONSIDERACIONES BÁSICAS**

---

Con la perspectiva histórica que hemos delineado en el capítulo anterior, se ha descrito el proceso interactivo entre el hombre y su apropiación de la energía en sucesivos modos y formas como instrumento básico para lograr avances técnicos y sociales. Estos avances son perceptibles desde un punto de vista económico a través de los sucesivos incrementos de renta y riqueza del conjunto de la Humanidad.

Las consecuencias indirectas de este proceso han provocado a un número creciente de científicos la necesidad de formular preguntas acerca del sustrato teórico en que descansa su justificación. Más brevemente, sobre las causas del progreso del hombre.

La clave material del análisis estriba en aceptar o no al medio natural -es decir, al entorno físico- como restricción del progreso y en última instancia, de la supervivencia humana.

El problema ha sido abordado en forma espontáneamente coincidente por científicos de variadas disciplinas. El denominador común de tal convergencia en el método es que la mayoría de dichos investigadores pertenecen al ámbito científico de las Ciencias Naturales. Son ecólogos, biólogos, físicos, etc.

Algunos científicos sociales están llegando recientemente a puntos de contacto y entendimiento con los científicos naturales, sobre la

base de que el comportamiento técnico-económico del hombre actual ha de sufrir un cambio de velocidad y dirección si se desea prolongar indefinidamente la vida de la especie humana sobre este planeta.

Este nuevo comportamiento técnico-económico ha de afectar esencialmente al uso de los recursos naturales, los recursos económicos y los recursos energéticos, siendo cada uno un subconjunto del anterior.

Interrogarse sobre la constitución, tamaño y duración del Cosmos, la posición relativa de la Tierra con respecto a éste, y el origen de la vida, es actividad trascendental que ha de apoyarse en hipótesis contrastables que sean capaces de soportar el rigor de posibles verificaciones empíricas. Para ello es necesario disponer de una rigurosa explicación del comportamiento de los fenómenos naturales.

Para muchos científicos, la teoría de la gravitación universal y la teoría de la relatividad son los paradigmas científicos más importantes que amparan y sustentan el saber técnico actual, de tal forma que son dos puntos de referencia sobreentendidos en cualquier análisis.

La Termodinámica, que es la ciencia que se ocupa del contenido teórico del fenómeno energético, ofrece unas leyes que resultan aparentemente más cercanas a la realidad económica que las dos anteriormente mencionadas; pues bien, como veremos en los capítulos 3 y 4, tales leyes han sido ignoradas muchas veces o mal interpretadas por los científicos sociales y en particular por los economistas, salvo excepciones aisladas.

La exposición que sigue está justificada por la necesidad que tiene un economista de mejorar su propia comprensión de los fenómenos naturales y de las leyes que los rigen, en particular -en nuestro caso y dado el contenido de esta tesis-, de las leyes del campo energético.

Si la comprensión de tales leyes -que forman el cuerpo de la Termodinámica- es insuficiente o incompleta, no podrá extrañar la comisión de graves errores en la formulación e instrumentación de políticas

energéticas, muchas veces basadas en principios económicos convencionales, indiferentes a tales leyes naturales. Dichos principios, asociados al sistema de mercado, que actualmente es el único vigente con diversos matices, guían las actuaciones de los agentes económicos, que por esta causa no tienen otros horizontes de decisión que el corto y medio plazo; lapsos de tiempo medidos a escala de la Humanidad, no de las empresas.

Se intentará demostrar que dichos principios económicos generalmente aceptados, interfieren en la escala de valores que deberían mantener las unidades económicas de producción es decir, las empresas, si su comportamiento se plasmara en decisiones respetuosas con el futuro de la Humanidad. Y en nuestra Tesis nos va a interesar el estudio de este comportamiento y de las decisiones de uso racional de energía que toman.

Por supuesto, el autor es consciente que estas afirmaciones entrañan un claro juicio de valor, pero esto es así porque sostiene la tesis que sigue: Las prioridades políticas y económicas están equivocadas; Se prima al corto plazo en detrimento del largo plazo y se favorece la importancia de los costes monetarios internalizables por las empresas, en demérito de los costes externos, no monetarios y no internalizados, que en aplicación de la lógica económica del sistema de mercado no se tienen en cuenta y por tanto no quedan reflejados en los precios de los recursos, en especial los asociados a fuentes agotables, como la mayor parte de recursos energéticos.

No es necesario insistir que la racionalidad empresarial en el uso de la energía estará en función de los estímulos que reciban las empresas y de las restricciones que deban soportar; y ésta va a ser la racionalidad que exhiban, limitada por los condicionantes que sufran desde el exterior de la empresa. Por ello, antes de estudiar dicha racionalidad limitada, conviene analizar una racionalidad de índole superior, expresada en términos termodinámicos.

Ya que el doctorando no es Licenciado en Ciencias Físicas ni experto en Termodinámica, un enfoque muy elaborado y de alto nivel, no está a su alcance y tampoco tendría sentido dentro del objetivo de esta Tesis que es de perspectivas amplias e integradoras.

Por ello, este capítulo tendrá una redacción instrumental. En primer lugar se expondrá un catálogo útil de conceptos y unidades de medida en el campo energético, que será utilizado más adelante en varias ocasiones. En segundo lugar se expondrán las conversiones de energía y las cadenas energéticas desde un punto de vista descriptivo. Una vez sentadas estas bases, en el capítulo siguiente se enunciarán y comentarán las leyes de la Termodinámica y de la Entropía.



---

## **2.2. CONCEPTOS Y UNIDADES DE MEDICION MAS USUALES**

---

En primer lugar vamos a proporcionar algunas definiciones y se expondrán de forma resumida las unidades de medida más usuales en el campo energético.

---

### **2. 2. 1. FUERZA**

---

Es la aplicación de un empujón o estirón a un objeto.<sup>1</sup>

Posiblemente es el término más simple y fácil del comprender ya que por lo común nuestros sentidos la perciben directamente.

Su unidad de medida correspondiente es el NEWTON, que equivale a la fuerza que hay que proporcionar a la masa de un Kg., para que éste adquiera una aceleración de un metro por segundo.<sup>2</sup>

---

## 2. 2. 2. TRABAJO

---

Desde un punto de vista mecánico, la aplicación de una fuerza a un objeto puede tener dos resultados: que se mueva o que se quede estático. En el primer caso la aplicación de fuerza ha producido un trabajo, en el segundo, no. Así pues, se obtiene trabajo cuando un cuerpo es movido por una fuerza<sup>3</sup>.

Hay que resaltar que el concepto "trabajo" en el lenguaje común significa "actividad útil", pero la definición técnica no discrimina la utilidad o inutilidad del trabajo realizado.<sup>4</sup> Tal trabajo -desde un punto de vista mecánico- varía simultáneamente con la resistencia vencida y la distancia recorrida.<sup>5</sup>

Como siempre, la unidad de medida de un fenómeno es una cuestión convencional. En Inglaterra se adoptó la unidad "libra-pie", que significa el trabajo necesario para elevar en vertical una libra de peso, la distancia de un pie. (30 cm.)<sup>6</sup>

La unidad de medida del trabajo en el Sistema Internacional de Medidas<sup>7</sup> (S.I.) es el JULIO (J). Consiste en el trabajo realizado por la fuerza de un NEWTON al desplazarse un metro.<sup>8</sup>

Si en lugar de tomar como unidades de longitud y de masa el metro y el kilogramo respectivamente, adoptamos el centímetro y el gramo, tendremos las unidades DINA y ERGIO de fuerza y trabajo. Un JULIO equivale a  $10^7$  ERGIOS.<sup>9</sup>

Estas unidades, como hemos dicho, provienen de la Mecánica clásica. Desde un punto de vista termodinámico, se precisan 4,184 J de trabajo para elevar la temperatura de un gramo de agua un grado centígrado<sup>10</sup> desde 14,5 a 15,5 grados centígrados.<sup>11</sup> Esta unidad se denomina CALORIA (cal). Normalmente se maneja su múltiplo KILOCALORIA (kc), siendo: 1 kc. =  $10^3$  cal. También es muy usada la unidad TERMIA (th). 1 th =  $10^3$  kc.<sup>12</sup> Algunos países anglosajones no han renunciado a su peculiar sistema de medidas, por lo que es muy normal encontrar en diversas publicaciones técnicas la unidad B.T.U. (British Thermal Unit) que equivale a la cantidad de calor necesaria para elevar en un grado FARENHEIT la temperatura de una libra de agua (0,453 gr.). Haciendo las conversiones correspondientes se hallará<sup>13</sup> que 1 BTU equivale a 252,1 cal., y a 1.055 J. A su vez, se admite la equivalencia: 1 th =  $10^5$  BTU.

Todas las unidades de medida citadas no son legales desde el punto de vista del Sistema Internacional de Medidas. La codificación de este organismo solamente admite el JULIO y sus unidades derivadas de origen mecánico como unidades de medida del trabajo, al presuponer que las unidades térmicas captan simplemente una consecuencia del trabajo: La generación de calor.

---

### 2. 2. 3. ENERGIA

---

De acuerdo con lo expuesto en la definición de energía del capítulo anterior, la acepción más corriente es la de tipo mecánico, que conceptúa a la energía como la aptitud para efectuar un trabajo.<sup>14</sup> Por tanto, las unidades de medida del trabajo mecánico pueden emplearse igualmente para el concepto de energía mecánica.

Por ello, la unidad oficial de medición de la cantidad de energía en el citado Sistema Internacional de Medidas es el JULIO, coincidiendo con la unidad de trabajo en dicho sistema.

La clave de esta unificación de la unidad de trabajo con la energética, estriba en que la capacidad o aptitud para generar trabajo es difícilmente medible por la propia ambigüedad de los vocablos empleados. Esto justifica que los ingenieros mecánicos se inclinen por definir la energía como algo que disminuye o se gasta proporcionalmente al trabajo realizado, De ahí que consideren lógica la equiparación de unidades de medida.

Debido al pequeño tamaño relativo del JULIO, en el Sistema Internacional se previeron unidades múltiplo para adaptar esta nomenclatura a la medida de grandes cantidades de trabajo o energía. A continuación exponemos una tabla de múltiplos<sup>16</sup>

PREFIJO	SIMBOLO	FACTOR	DENOMINACION
-	Q	$10^{21}$	
EXA	E	$10^{18}$	EJ (EXAJULIO)
PETA	P	$10^{15}$	PJ (PETAJULIO)
TERA	T	$10^{12}$	TJ (TERAJULIO)
GIGA	G	$10^9$	GJ (GIGAJULIO)
MEGA	M	$10^6$	MW (MEGAVATIO)
KILO	K	$10^3$	KW (KILOVATIO)

Las dos últimas constituyen unidades de potencia. (Ver posteriormente el apartado 2.2.4.)

A pesar de los intentos de normalización de las unidades de medida, existe una verdadera proliferación de unidades empleadas por los diferentes autores y organismos en el campo de la energía.

Como justificante práctico de esta situación podemos considerar un conjunto de factores:

En primer lugar, existe la necesidad de referir la energía a una magnitud temporal que la enmarque y dinamice. Debido a ello, se produce la medición en términos de VATIOS y sus múltiplos, por parte de las empresas y organismos del subsector eléctrico. Cuando se estudie el concepto de potencia, quedará desarrollada esta rama de unidades.

En segundo término, existe una vertiente térmica del estudio del trabajo, como hemos notado antes. Esta versión se refleja lógicamente en las unidades de medida energéticas. Por ello, en el caso de las máquinas que convierten energía de cualquier otro tipo en energía térmica, se mide la energía en términos de BTU, th ó kc, es decir, Unidades Británicas de Calor, termias o kilocalorías.

En tercer lugar, existen unas unidades de medida de la energía que no abandonan su origen térmico, pero se refieren a las formas concretas en que puede presentarse la energía desde un punto de vista material, y en especial a sus propiedades según calidades, pesos, volúmenes y densidades. Por tanto no se remiten a las características abstractas de medición de trabajo o calor anteriormente mencionadas.

Tales medidas empíricas son muy utilizadas en la práctica empresarial, a pesar de que sus valores referidos a las magnitudes abstractas varían según países y según las calidades de las correspondientes formas materiales de energía, hechos que dificultan la correcta comparación de magnitudes.

Algunas de dichas medidas empíricas son:

### **TONELADA EQUIVALENTE DE CARBON (TEC)**

Es el valor calorífico standard contenido en una Tm. de antracita o hulla. Esta convención permite "convertir" en carbón los recursos de otras fuentes energéticas, con lo que pueden efectuarse sumas de recursos mediante una homogeneización previa. Un inconveniente del uso de la TEC es que oscila en su conversión a unidades abstractas, según el poder calorífico de la antracita o hulla que se tome como referencia y también

cambia según la unidad de medida de peso. (Toneladas contra Toneladas Imperiales, por ejemplo).

La Agencia Internacional de la Energía (A.I.E.), organización nacida en el seno de la O.C.D.E., acepta un valor calorífico:  $1 \text{ TEC} = 7 * 10^9 \text{ kc.}$ <sup>16</sup>, lo que equivale a unos 29,3 GJ.<sup>17</sup>

## TONELADA EQUIVALENTE DE PETROLEO (TEP)

En inglés, TOE. Equivale al calor producido con la combustión de una Tm. de petróleo. Esta cantidad se considera convencionalmente equivalente a  $10 * 10^9 \text{ kc.}$ , es decir, 41,8 GJ aproximadamente. También se emplea el múltiplo MTEP, que equivale a un millón de TEP.

## BARRIL DE PETROLEO.

Es una medida divulgada por las compañías petrolíferas en su práctica comercial diaria y a través de los estudios de stocks de recursos energéticos que publican periódicamente. No debe olvidarse que el petróleo se cotiza en los mercados mundiales en dólares por barril.

Hay múltiples equivalencias según calidades<sup>18</sup> y densidades, pero se suele aceptar que un barril = 1 b = 139 Kg., por lo que 1 Tm. = 7,2 b.

Desde un punto de vista macroeconómico se suele usar la unidad comercial denominada "Millón de barriles de petróleo / día equivalentes" (mbpde; mbdoe en sus siglas inglesas)<sup>19</sup>. Dicha magnitud equivale a 50 MTEP.<sup>20</sup>

En el campo de los combustibles gaseosos, podemos citar la equivalencia comercial:  $1 \text{ TEP} = 1.000 \text{ m}^3$  de gas natural. En realidad, al ser el poder calorífico del petróleo de un orden algo superior a 10.000 th. por cada TEP y resultando ser el poder calorífico promedio del gas natural alrededor de 10 th/m<sup>3</sup>, se produce la equivalencia térmica  $1 \text{ m}^3 = 1 \text{ kg.}$  de petróleo, "a grosso modo".<sup>21</sup>

Por último diremos que en los Estados Unidos durante los años posteriores a la crisis de 1.973, se tendió a expresar el "consumo" energético nacional, mediante una unidad térmica denominada QUAD<sup>22</sup> que equivale a  $10^{16}$  BTU.

---

#### 2. 2. 4. POTENCIA

---

Las unidades de potencia miden la energía utilizada por unidad de tiempo. Se define la potencia como la velocidad con que se hace un trabajo o se utiliza la energía. Así pues, una máquina potente es aquella que en poco tiempo puede convertir en trabajo gran cantidad de energía.<sup>23</sup>

La unidad que el Sistema Internacional tiene asignada a la potencia es el VATIO, que procede del campo eléctrico. La unidad de energía equivalente necesita de una referencia temporal. De esta forma, el VATIO equivale a la potencia de una máquina que produce energía a razón de un JULIO por segundo.<sup>24</sup>

Un detalle importante consiste en que no debe confundirse el JULIO eléctrico definido ahora, con el JULIO equivalente mecánico de calor<sup>25</sup> ya que, si bien todo trabajo puede transformarse íntegramente en calor (o al



menos puede acercarse al límite máximo), el suceso inverso no es cierto<sup>26</sup> como se verá posteriormente.

El VATIO es una unidad de potencia de pequeño tamaño. También aquí se emplean múltiplos más manejables, similares a los utilizados en el caso del JULIO.

La unidad de energía derivada del VATIO es el KILOVATIO/HORA, por citar el múltiplo del VATIO que se utiliza con mayor frecuencia. El Kw/h equivale a  $3,6 * 10^6$  J. También se utiliza para datos globales el MEGAVATIO/HORA (Mw/h), el GIGAVATIO/HORA (Gw/h), etc.

Por otra parte en la práctica empresarial se utilizan con mucha frecuencia las siguientes unidades de potencia: HP (Horse Power); CV ((caballo). Al referirlas a unidades de tiempo, se convierten a unidades energéticas. Las relaciones de conversión<sup>27</sup> son:  $1 \text{ HP} = 1,01387 \text{ CV} = 0,74565 \text{ Kw/h}$ .

Evidentemente, hay otras muchas unidades de medida que dependen del campo profesional, la formación académica del usuario y del país de trabajo. No obstante, creemos haber definido y comentado las más importantes, tanto en el campo científico-académico como en el comercial.

Los problemas más difíciles de resolver cuando se elabora un trabajo relacionado con aspectos energéticos, es el de trabajar con unidades de medida uniformes, o al menos, coherentes. El problema de la uniformidad es relativo si se posee una buena tabla de conversiones. Mayor enjundia reviste el problema de la coherencia, ya que puede dar lugar a buen número de confusiones el hecho de que muchos autores no explicitan los supuestos de partida de las unidades de medida que manejan. En el caso de que exista una cierta seguridad, se unificarán las unidades utilizadas de acuerdo con el Sistema Internacional o se usarán medidas usuales en el campo comercial.

Con objeto de facilitar la disponibilidad de las equivalencias más comunes, se aportan varias tablas de conversión a título de apéndice al final de este capítulo 2.

---

### **2.3. LAS CONVERSIONES DE ENERGIA**

---

En el subcapítulo anterior, se ha tratado la descripción de los principales conceptos generales de la Física relacionados con la energía y las unidades de medida más significativas. En todo momento han aparecido conceptos, referencias y medidas que cubren en sus formas finales los mayores porcentajes de necesidades humanas: La energía mecánica y la energía térmica ó calorífica. Según LE GOFF<sup>28</sup> ambos tipos de energía representan casi el 100% de las formas finales utilizadas, siendo el resto asignable a la energía química contenida en los alimentos y a la energía invertida en comunicación.

Ahora bien, esta desigualdad de importancias no debe relegar ni desviar la atención de los orígenes de tales energías, si se quiere percibir la realidad energética como un todo.

Si se quiere analizar el fenómeno energético como un ente global, se deberá parar la atención sobre una serie de datos y conceptos nuevos, tales como el flujo de energía en la Tierra y el concepto de sistema energético y el de cadena energética, y además se deberá describir el conjunto de conversiones ó transformaciones de unas a otras formas de energía. Todo ello va a ser abordado brevemente a continuación.

---

### **2. 3. 1. EL FLUJO DE ENERGIA EN LA TIERRA**

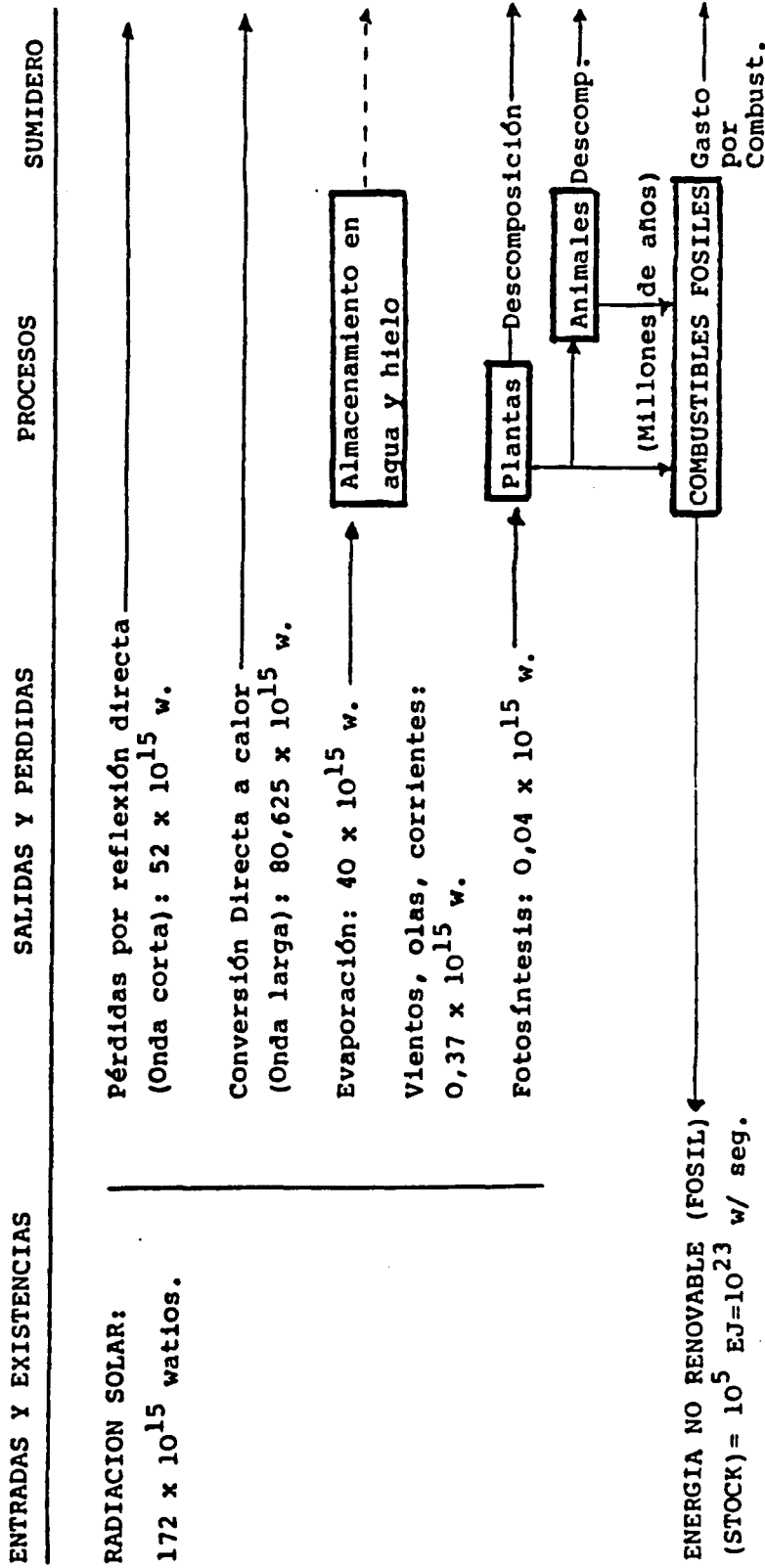
---

El interés suscitado por los temas energéticos ha provocado en los últimos tiempos un replanteamiento del saber acumulado, desde un ángulo cuantitativo: Se trata de manejar enfoques globales para dilucidar cuánta energía posee la Tierra y cuánta puede captar, además de investigar cómo se utiliza y se pierde esta energía al cabo del tiempo.

Este enfoque global de entradas y salidas ha sido abordado a través de la visión sintética que introduce metodológicamente la Teoría General de los Sistemas aplicada a los problemas humanos. Además, se ha complementado con análisis variados que relacionan el comportamiento ecológico y social de los seres vivos sobre la Tierra, con la cantidad de energía utilizada por microsistemas que han sido objeto de análisis científico expreso.

Por lo que se refiere al enfoque global, el prestigioso geólogo M. KING HUBBERT<sup>29</sup> ha detallado un gráfico en el que se cuantifica el flujo de energía de la Tierra y muestra también sus relaciones cualitativas. Como puede observarse en la figura 2.0., existen tres fuentes principales de energía:

FIGURA 2.0.



Fuente: Pg. 68-69 y 48 de las respectivas obras de M. King Hubbert, citadas en la nota 2 de este subcapítulo.  
Esta figura es una adaptación.

**a) La energía derivada del Sol, por medio de la radiación solar.**

Como se ha estudiado en el capítulo anterior, esta forma de energía es el origen de casi todas las demás, convirtiéndose éstas en muchos casos en almacenes de energía solar, sea en ciclos muy largos, como en el caso de los combustibles fósiles, sea en ciclos cortos, como en el ejemplo de la energía hidráulica. Como indica HUBBERT mediante los esquemas citados, prácticamente la totalidad del flujo de energía procede de esta fuente.

DAVIES<sup>30</sup> indica que la potencia total radiada por la superficie del Sol es de un cuatrillón de kilovatios. Sólo una ínfima porción (unas dos mil millonésimas) de toda esta energía cae sobre la Tierra. Cada segundo llega más energía de la luz del Sol que la "producida" durante un año en toda la Tierra.

HUBBERT dice que el contenido energético del stock de energía fósil equivale a unos pocos días de radiación del Sol, según la equivalencia térmica teórica que podría establecerse. Si no es por razones de tipo económico y tecnológico a corto plazo, es difícil explicarse por qué el stock de energía fósil, siendo una parte diminuta comparada con el flujo solar, proporciona buena parte de la energía útil que necesitan los países industrializados.

Debe observarse que de la energía solar incidente, sólo es necesaria una parte entre 4.300 para provocar el proceso de vida en la Biosfera, traducido en la fotosíntesis, que en pocas palabras es el fenómeno que provoca almacenamiento de energía en los vegetales, primordial para la vida de la especies animales.

**b) Energía potencial y cinética del subsistema Sol-Tierra-Luna.**

Su manifestación más evidente es la energía mareomotriz.

Sin descartar otras formas residuales, en tercer lugar podemos citar el conjunto formado por:

**c) Energía geotérmica producida en el interior de la corteza terrestre y la energía nuclear.**

Posiblemente ésta última es la más provechosa, puesto que su origen se remonta a la propia formación de nuestra galaxia y sistema solar, en el que todos los cuerpos celestes tienen la misma edad según las teorías más aceptadas actualmente.<sup>31</sup>

Por otra parte, también es cierto que para conservar el natural equilibrio energético, la Tierra debe absorber del espacio tanta energía como la que despide. Esto sucede por medio del mecanismo noche / día y a través de la degradación de la energía en forma de calor a la temperatura ambiente.<sup>32</sup>

La progresiva modificación del equilibrio térmico terrestre, ha hecho pensar a los científicos que asistimos a un imperceptible recalentamiento de la Tierra debido al aumento de polución y anhídrido carbónico en la atmósfera, fenómeno que desequilibra el filtrado y subsiguiente reflexión de los rayos solares al espacio<sup>33</sup>, mediante el recientemente famoso "efecto invernadero"

En base a la observación del cuadro 2.0 y de la figura 2.1. debidos ambos a LACOSTE, se puede aprender otra forma de clasificación de las energías algo diferente de la anterior pero también muy interesante porque detalla características físicas, técnico-comerciales y de relación comparativa entre gastos de explotación e inversiones, que pasamos a resumir brevemente:

CUADRO 2.0.

CARACTERISTIQUES DES DIVERSES ENERGIES

	caractéristiques physiques		caractéristiques technico-commerciales				caractéristiques de coûts à service rendu égal	
	forces	faiblesses	organisations	opérations nécessaires	marchés potentiels	investissements	autres dépenses	
Energie "STOCK" capitalisée à l'état naturel (uranium, pétrole, charbon, gaz naturel)	denses, stockées et divisibles	non renouvelables mal réparties géographiquement.	en réseaux ou interconnectés	destockage, transport, transformations diverses	largement polyvalents	réduits	dépenses d'exploitation importantes (combustibles)	
Energie "INTERMEDIAIRES" flux semi-stockés (bois, eau, géothermie)	semi-denses, semi-stockés, renouvelables à court et moyen terme	inégale répartition géographique.	beaucoup plus ponctuelles (sauf hydro-électricité)	destockage ou collecte, transport à faible distance, transformations diverses	plus spécialisés (sauf redistribution électrique)	importants (sauf filières traditionnelles bois)	faibles	
Energie "FLUX" sans stockage naturel (solaire, vent, etc)	renouvelables quasi instantanément, assez bien réparties géographiquement.	intermittentes, irrégulières, diffusas, peu concentrées	ponctuelles (sauf redistribution électrique)	captation, collecte, concentration, stockage, transformations diverses	très spécialisés (sauf redistribution électrique)	très lourds	"gratuites" (sauf entretien des matériels)	

FUENTE: LACOSTE, J.: "Energie: Quelles contraintes ?". En: "Projet". No 141. Enero 1.980. Pg. 14.

### **Energías "stock":**

Concentradas en su estado natural, como el uranio, el petróleo, el carbón y el gas y cuya característica principal es que no son renovables; Económicamente las inversiones necesarias son comparativamente reducidas (por unidad de potencia, con relación a las dos siguientes), pero los gastos de explotación en forma de coste del combustible, son muy importantes.

### **Energías "intermediarias":**

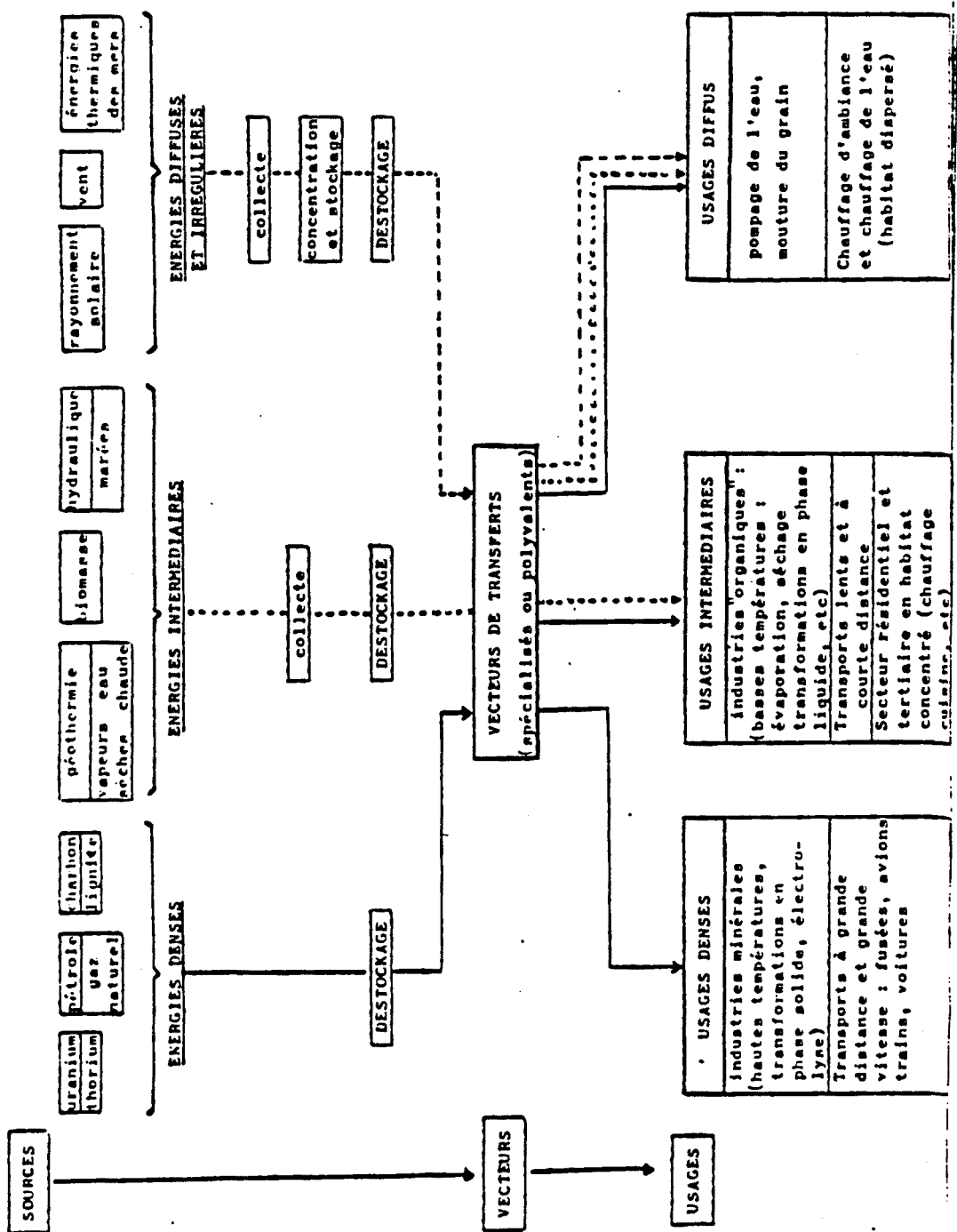
Son los flujos energéticos que LACOSTE denomina semialmacenados como la biomasa, la energía hidráulica, la maremotriz y la geotérmica. Las características más importantes a citar es que son renovables pero requieren grandes inversiones (excepto la biomasa) y están muy desigualmente repartidas.

### **Energías "flujo":**

No se benefician de un almacenamiento natural (energía solar, eólica). Son instantáneamente renovables, bastante bien repartidas por territorios, difusas o poco concentradas, de captación y uso descentralizado; llamadas "energías blandas" por esta causa. Económicamente presentan costes muy altos en concepto de inversión por unidad de potencia instalada y por el contrario, costes de explotación muy bajos, ligados esencialmente al mantenimiento y las reparaciones del material.



FIGURA 2.1.  
DES SOURCES ENERGETIQUES AUX USAGES (schéma simplifié)



FUENTE: LACOSTE, J.: "Energie: Quelles contraintes ?". En: "Projet". N° 141. Enero 1.980. Pg. 14.

En la figura 2.1., LACOSTE efectúa una secuenciación: FUENTES DE ENERGIA-VECTORES ENERGETICOS-USOS FINALES, en la que queda clara su ortodoxa argumentación, que consiste en identificar las energías "stock" con usos finales de tipo denso (industria con necesidad de altas temperaturas, transporte a largas distancias); las energías "intermediarias" con usos intermedios (industrias que necesitan bajas temperaturas, vivienda, oficinas). Esta concretamente parece una argumentación artificial, dada la poca importancia práctica de este tipo de energía; además, si se convierte a electricidad no puede discriminarse su uso según el origen de la energía primaria); por último reserva las energías "flujo", atendiendo a las características técnicas ya comentadas, a los usos difusos o de baja temperatura como la calefacción.

Así pues, el estudio de los flujos energéticos terrestres no sólo es importante por razones económicas. Sobre todo lo es para asegurar la supervivencia de la especie humana a largo plazo.

Recapitulando, se van a extraer las siguientes conclusiones:

La Tierra es un sistema energético abierto, con una tendencia natural al equilibrio. Dicho sistema presenta una enorme diferencia entre la energía en tránsito y la estrictamente necesaria para la vida.

Además, se trata de un sistema, en el que, desde hace unas decenas de años, se viene dando un desequilibrio entre la cansina e imperceptible formación de stocks y el rápido e irresponsable consumo de éstos, en forma de energías fósiles y radioactivas. Este desequilibrio es negativo para las futuras generaciones, y la modesta contrapartida que se está logrando, consiste en asegurar un cierto bienestar a las generaciones contemporáneas.

La situación descrita preocupa en forma desigual a las comunidades científicas de los economistas, biólogos y ecólogos.

---

## **2. 3. 2. SISTEMAS ENERGETICOS Y CADENAS ENERGÉTICAS**

---

Se puede denominar sistema energético a todo ente en cuyo seno se produce la captación y utilización de energía para un fin determinado.

Acabamos de ver que la Tierra es un sistema energético. Es obvia la posibilidad científica de subdividir el sistema en varios subsistemas, para un más cuidadoso estudio.

---

### **2.3.2.1. ENFOQUES PARA EL ANÁLISIS DE SUBSISTEMAS ENERGÉTICOS**

---

Los enfoques posibles para el análisis de subsistemas energéticos se concentran en dos tipos:

---

#### **2.3.2.1.1. ENFOQUE ECOLOGICO**

---

Se tiende a estudiar el comportamiento de microsistemas ecológicos concretos desde un punto de vista energético, mediante la revisión de todos los flujos, stocks, productos y residuos que se generan en dicho microsistema ecológico (por ejemplo: una pesquería, una granja, una industria, una comunidad primitiva, un incendio forestal etc.).

Se establece un balance energético en calorías, que es explicativo de otros muchos fenómenos sociales y económicos de dicho microsistema. Uno de los científicos más significativos dentro de esta tendencia de estudio es el ecólogo H.T. ODUM.<sup>34</sup>

---

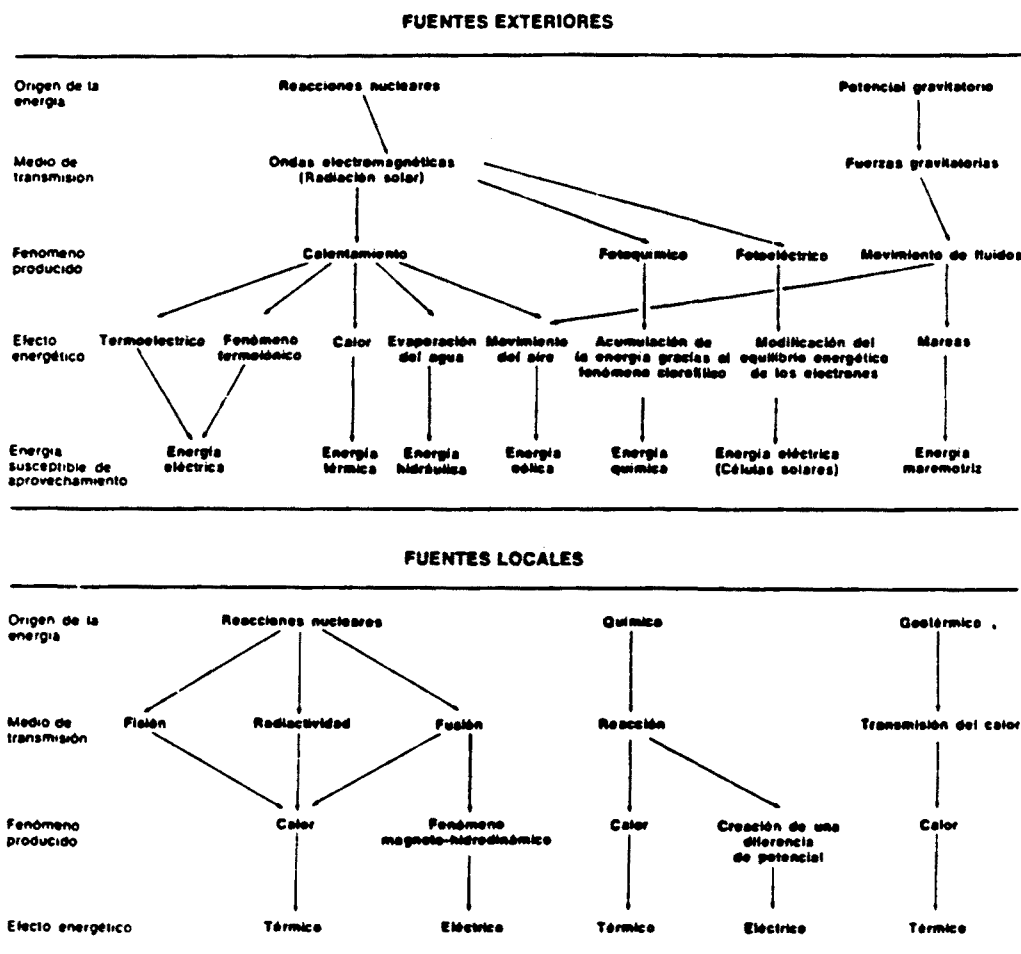
#### 2.3.2.1.2. ENFOQUE FISICO

---

En el enfoque de ODUM se asume una visión orgánica y formalista, en la que importa más el método que el contenido de lo analizado, ya que trata de demostrar que existe un principio unificador que liga el campo energético con el ecosistema. En cambio, el enfoque físico es más convencional, puesto que, remontándose igualmente al sistema global, efectúa desgloses y análisis por fuentes energéticas en sentido conceptual, es decir, sin descender al nivel de los subsistemas usuarios netos de energía.

En la figura 2.2. se puede observar un detalle de fuentes energéticas que profundiza en la descripción somera de los flujos de energía en la Tierra, ya bosquejada en el apartado anterior. Resalta también la diferenciación entre fuentes energéticas exteriores a la Tierra y las fuentes internas. Se ahonda en el aspecto tecnológico, puesto que se concreta el origen de la energía, el medio de transmisión, el fenómeno producido, el efecto energético y la energía susceptible de aprovechamiento.

FIGURA 2.2.



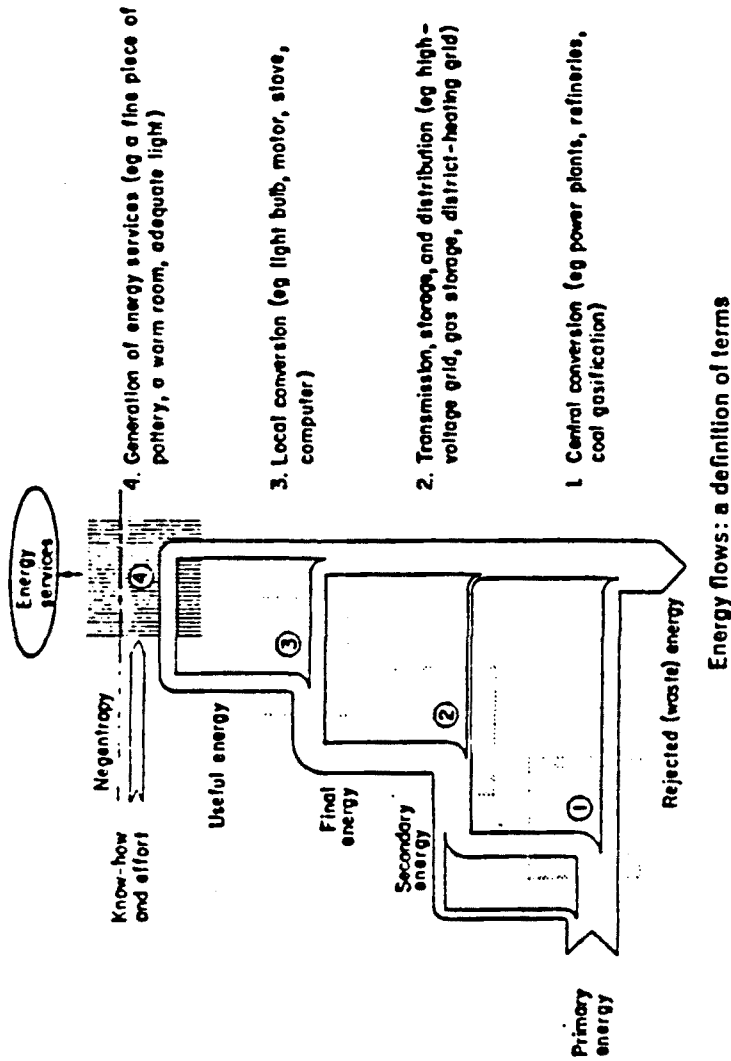
FUENTES DE ENERGIA DESDE UN PUNTO DE VISTA FISICO

Tomado de: MINISTERIO DE INDUSTRIA Y ENERGIA. Obra citada en nota 7, sub.2.2. A su vez, está adaptado de G. BARCELO. La energía y su impacto social. Ed. Index, 1.976, pg 135 s.

Por otra parte, si reagrupamos todas las clases de energía que son susceptibles de aprovechamiento, independientemente de su origen, se puede continuar el estudio mediante el análisis de la figura 2.3. en la que aparecen los distintos sistemas de conversión de energía para lograr formas más cercanas a las necesidades del usuario final.

También puede analizarse el cuadro 2.1.: En forma de grafos puede seguirse el conjunto de las principales transformaciones de diferentes formas de energías entre sí: Energía térmica, nuclear, mecánica, química, luminosa y eléctrica. Además, explicita los aparatos convertidores o las tecnologías necesarias para lograr las transformaciones.

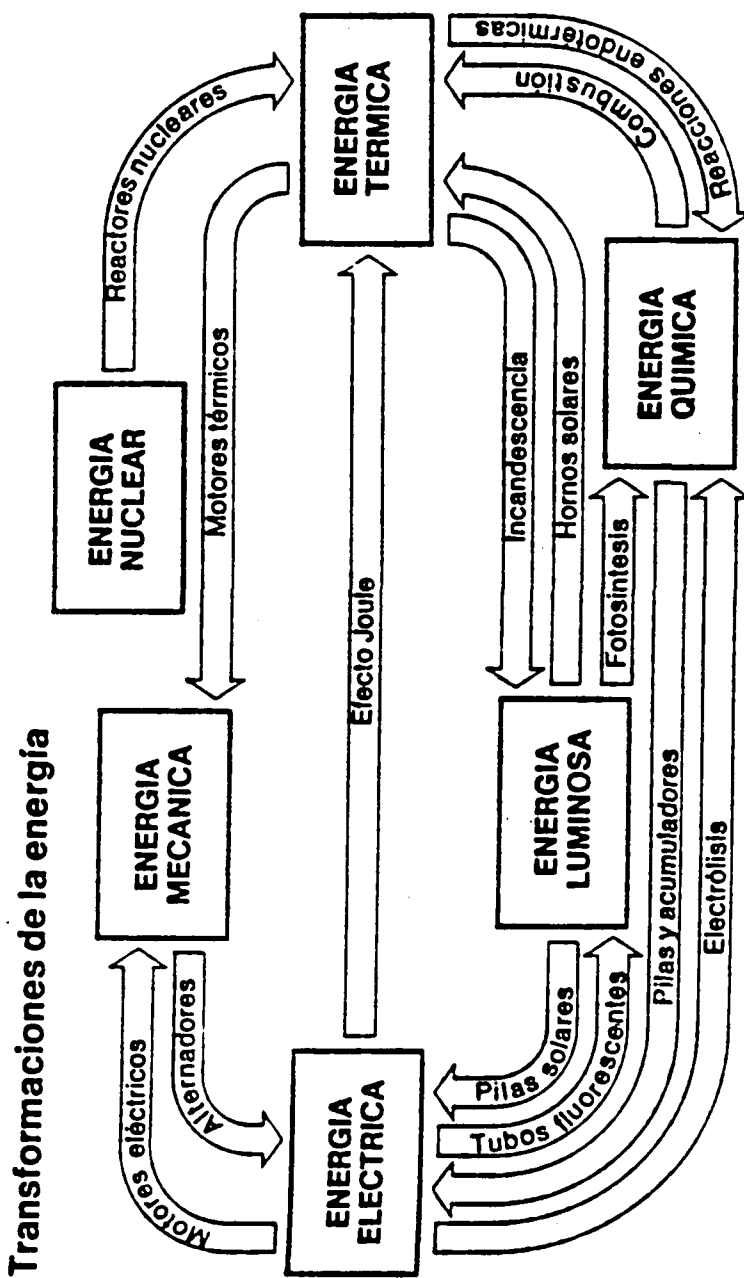
FIGURA 2.4.



FUENTE: HÄFELE, W.: "IIASA'S world regional energy modelling". En: "Futures". Vol 12. Nº 1. Febrero 1.980. Pg. 24.



CUADRO 2.1.





Combinando ambas figuras se puede obtener cada una de las cadenas energéticas simples, que se distinguen entre sí por todas o algunas de sus características: Origen de la energía; energía susceptible de aprovechamiento; energía obtenida.

En la figura 2.4. debida a HAFELE<sup>36</sup>, se refleja una conceptualización de la energía en forma de flujo, que es muy explicativa por su gran capacidad de abstracción: El flujo de energía tiene cuatro etapas:

### **1. ENERGIA PRIMARIA.**

Es la que se contiene en las materias primas energéticas como el carbón, el petróleo, el gas, etc.. Parte de ella se pierde, parte se almacena y distribuye como energía secundaria (es decir, disponible para el uso directo) y la parte más importante se convierte a través de centrales térmicas, en energía secundaria mayoritariamente a través del vector electricidad. En general esta conversión se justifica en términos técnico económicos por el efecto escala.

### **2. ENERGIA SECUNDARIA.**

En esta fase, el problema central es la transmisión, almacenaje y distribución del vector energético correspondiente (electricidad, gas, derivados del petróleo, etc.) tareas todas ellas encaminadas a poner a disposición del usuario la energía requerida en el momento necesario. Por supuesto, en la realización de estas operaciones es inevitable otra cuota de pérdida energética que engrosa el total de energía no disponible.

### **3. ENERGIA FINAL.**

En esta tercera fase, el vector energético o energía secundaria ha llegado a poder del usuario que debe procesarla con aparatos convertidores (bombillas, estufas, motores, etc.) para, pagando el tributo termodinámico de una nueva pérdida energética, pasar a la cuarta fase:

### **4. ENERGIA UTIL.**

Dado que cualquier producto o servicio solamente es de interés para el comprador o usuario en la medida que satisfaga sus necesidades, (a un precio razonable, cabría decir, pero esto no es importante aquí) es obvio que la energía final sólo justificará su existencia en la medida en que preste servicios energéticos medibles según las necesidades del usuario (Habitaciones calientes, iluminación adecuada, horas/máquina trabajadas, etc.

Obsérvese que toda la energía primaria "producida" acaba siendo más pronto o más tarde contabilizada íntegramente como pérdidas de energía en función de los principios termodinámicos a revisar en el siguiente capítulo.

---

### **2.3.2.2. EVOLUCIÓN TÉCNICO-ECONÓMICA DE LAS CADENAS ENERGÉTICAS**

---

Las figuras 2.2, 2.3. y 2.4 proporcionan una descripción sintética de la realidad. Pero yendo más allá de la mera fotografía de la realidad si se analizan los hechos y las cifras con una perspectiva temporal se puede observar que existen tres fenómenos comprobables y relacionados

entre sí, el primero de carácter técnico-físico y los otros dos de tipo socioeconómico, que se enuncian a continuación de la forma siguiente:

a) Pueden combinarse las cadenas energéticas entre sí para formar cadenas energéticas más largas y complejas. Este comportamiento provoca pérdidas de rendimiento por la existencia de sucesivas conversiones energéticas en cadenas que se van alargando artificialmente. Ya se ha observado antes en la figura 2.4. que introducir sucesivas etapas en el flujo de la energía, no hace sino añadir pérdidas energéticas en forma de calor desaprovechado en cada fase adicional.

b) A medida que avanza el progreso técnico, y se centraliza más la Sociedad, las cadenas energéticas<sup>36</sup> se van volviendo cada vez más complejas, puesto que las relaciones económicas son más variadas y complicadas. Esto tiene que ver con la progresiva preponderancia de la sociedad de servicios a la que se encamina la Humanidad, en la que es más importante el servicio que el producto o el soporte de este servicio.

c) Además, por la propia naturaleza de la evolución tecnológica, cada vez con superior claridad, las cadenas energéticas de mayor difusión son más difíciles de romper o abandonar a corto plazo, debido al gran volumen de capital no amortizado que se ha comprometido en ellas.

Así pues, es obvia la conclusión: La progresiva evolución de la tecnología asociada a las cadenas energéticas provoca: Una pérdida de rendimiento y una fuerte rigidez económica.

Dichos problemas pueden ser contrarrestados si se recuerdan las tendencias históricas ya explicadas en el capítulo anterior para los aparatos convertidores de energía: Se producen incrementos de rendimiento por efecto escala y también a través de sucesivas mejoras tecnológicas, es decir, incrementos de rendimiento causados, respectivamente, por la mayor dimensión y la mayor eficacia técnica de las sucesivas generaciones de aparatos convertidores de energía.

En la actualidad, aunque existen avances en ambos campos -la escala y la eficacia-, dichos avances no son espectaculares y tampoco se espera que lo sean en un futuro próximo. Por ejemplo, en lo que se refiere a las mejoras de los procesos técnicos, dado que una buena parte de los convertidores pasan en algún punto por el ciclo de CARNOT (ciclo térmico), sucede que el rendimiento de conversión depende de la temperatura máxima que se puede lograr en el proceso, tal como se analizará después con mayor detenimiento.

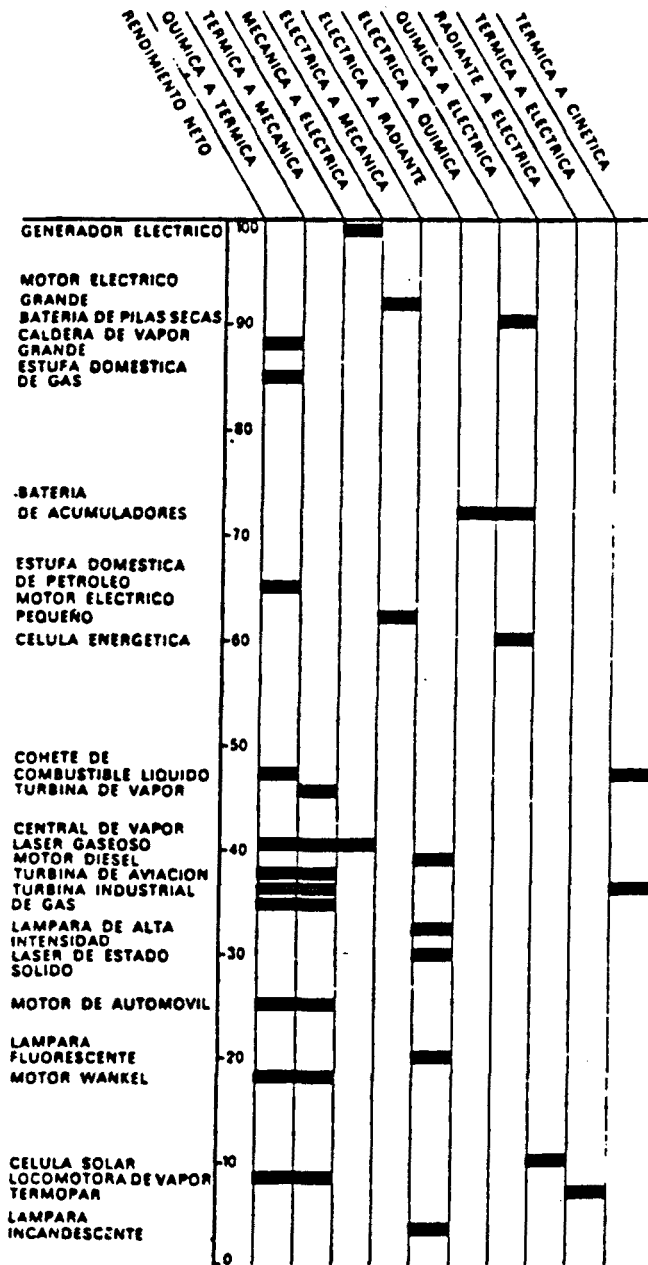
Dicha temperatura máxima está limitada por el calor soportable, según variables técnicas, por los metales de las calderas o turbinas. SPEISER<sup>37</sup> calcula que dicha temperatura máxima soportable ha pasado en unos 30 años de 700 grados centígrados a algo menos de 1.000, evolución técnica que representa un incremento relativamente lento (1,2% anual en promedio), sobre todo si se compara esta evolución con la de análogos indicadores de progreso en prestaciones que este autor ha manejado en otros sectores. En el campo de la electrónica y microelectrónica el crecimiento de prestaciones ha resultado ser 100 veces mayor en el mismo período.

Aceptando que a corto plazo el progreso técnico global es una variable independiente de las decisiones individuales de transformación de la energía, y en el plausible supuesto de que se admita la existencia de varios métodos, caminos o alternativas para obtener un resultado, se deberá reconocer que un método, camino o alternativa muy importante consiste en lograr cambios en la conducta de los agentes económicos que tiendan a mejorar los rendimientos de la conversión de energía.

En la figura 2.5., debida a SUMMERS<sup>38</sup>, se exponen varios tipos de conversión energética y su vinculación al aparato convertidor respectivo. Son muy significativos los rendimientos netos de conversión. Debe aclararse, no obstante, que se trata de cadenas energéticas simples. Las cadenas energéticas compuestas combinan varias conversiones de energía por medio de sucesivos aparatos convertidores intermedios para pasar de la energía bruta ó primaria a los servicios energéticos utilizables por el usuario final, según ha quedado claramente expuesto al comentar la figura 2.4. cuya

autoría corresponde a HAFELE. En la figura 2.5., SUMMERS ya ha tenido en cuenta los rendimientos de la cadena previa hasta llegar a la considerada en cada caso.

FIGURA 2.5:



FUENTE: C.M. SUMMERS: Obra citada

en nota 9 , pg. 203.



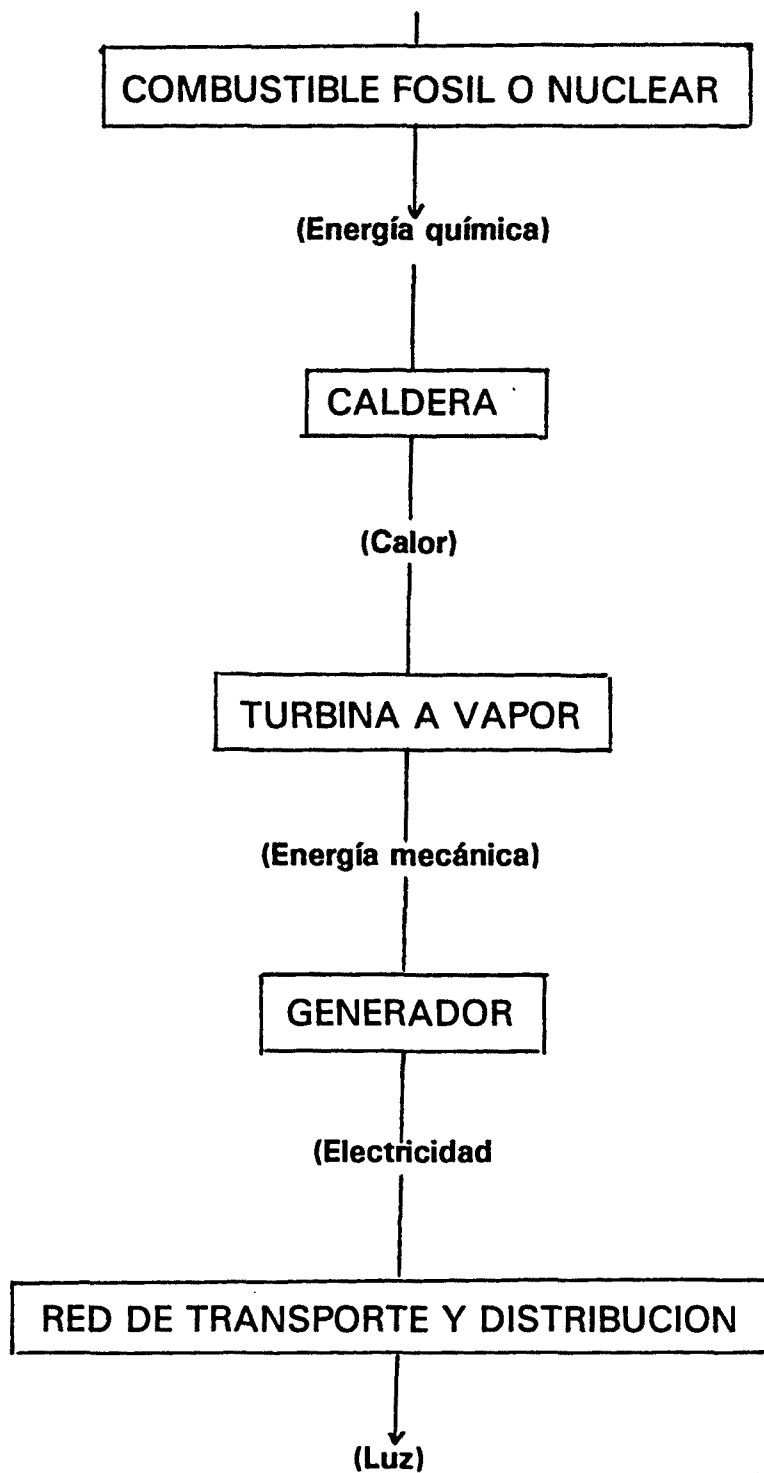
Así, por ejemplo en la figura 2.6. que aparece en la página siguiente se expone la conversión en luz como uso final, a partir de la cadena termoeléctrica.<sup>39</sup>

Dicha cadena termoeléctrica presenta una primera conversión: de energía química a energía eléctrica a través de la caldera de vapor. Su rendimiento térmico es del 90% aproximadamente, según se pudo deducir de la información presentada en la figura 2.5; Algo más del 10% de la energía primaria se pierde en forma de calor no aprovechable. Siguiendo el recorrido de la cadena queda patente que, mediante una caldera de vapor, se transforma la energía térmica no perdida en energía mecánica. El rendimiento de conversión es muy inferior al de la anterior fase, llegando apenas al 45%. En cambio, el rendimiento de transformación de energía mecánica en energía eléctrica mediante el aparato convertidor llamado generador es muy alto: Se acerca al 100% (96-98%).

Hasta este punto de la cadena el rendimiento neto obtenido es:

$$0,90 * 0,45 * 0,96 = 0,39 = 39\%.$$

FIGURA 2.6.



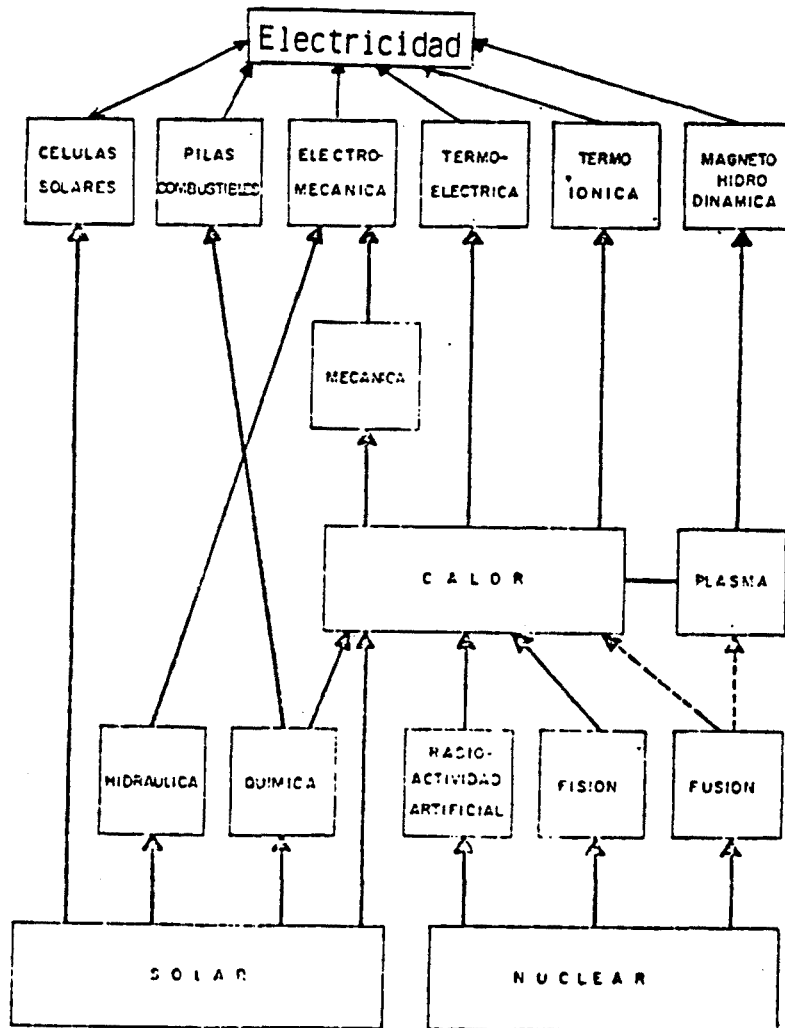
---

Fuente: Autor.

Es decir, por cada unidad de energía primaria que se utiliza, se obtienen 0,39 unidades de energía en forma de electricidad. Dicha cifra es teórica, al suponerse la aplicación óptima de las últimas tecnologías. En la realidad, el promedio del rendimiento no llega al 35%. Si el eslabón inicial de la cadena es energía nuclear, el rendimiento sólo sobrepasa algo el 30%. Por tanto, si se calcula un rendimiento promedio, se puede establecer la cifra del 33% como aceptable en la práctica. Los otros dos tercios (67%) de energía primaria, se despilfarran en forma de calor emitido al exterior a lo largo de la cadena, sin ulterior aprovechamiento alguno.<sup>40</sup>

La generación de electricidad tiene más alternativas técnicas. En la figura 2.7., se explicitan todas las cadenas energéticas alternativas que teóricamente existen para generar electricidad. Algunas son poco importantes o no explotables aún comercialmente.

FIGURA 2.7.



FUENTE: G. BARCELO: La energía y su impacto social. Ed. Index, Madrid. 1.976, pg.147.

Fuente original (no citada):

Sheldon S.L. CHANG: Conversion de l'énergie. Dunod. París, 1.966. pg.8.

Podemos observar como una buena parte de las tecnologías de conversión a electricidad pasan en algún punto intermedio por la energía térmica, es decir, por la conversión expresa de cualquier otra forma de energía en calor. Este camino ofrece bajos rendimientos que afectan tanto a las tecnologías clásicas (por ejemplo: cadena electrotérmica con combustible sólido o líquido), como a las tecnologías en explotación más sofisticadas o que todavía permanecen en germen (fisión y fusión nuclear, respectivamente).

Como cadenas energéticas que no pasan por la conversión intermedia en calor, se pueden enumerar: La energía hidroeléctrica, cuya cadena es de origen natural: La transformación de energía gravitatoria en energía potencial (embalse) y energía cinética (caída de agua) con posterior conversión en energía mecánica mediante turbina hidráulica y en electricidad a través del generador, que es el único aparato convertidor de concepción común a la de las cadenas electrotérmicas. Dicha energía hidroeléctrica tiene un alto grado de rendimiento energético<sup>41</sup> cercano al 90%, lógicamente sujeto a contrapartidas como la limitación de emplazamientos posibles o el elevado índice de capital necesario por unidad de potencia instalada.

Una innovación relativamente reciente está constituida por las células solares ó fotovoltaicas, que permiten transformar directamente los rayos solares en electricidad. La cadena es muy breve pero los rendimientos son acusadamente bajos aunque crecientes rápidamente al ser una tecnología en ciernes: 10-14%.<sup>42</sup>

Así pues, se denota una apreciable variedad tecnológica que permite lograr con diferentes tecnologías el mismo vector energético intermedio: La electricidad. Su estudio detenido es necesario por varias causas, entre ellas una muy importante: El crecimiento de la producción y de la demanda de electricidad es superior al de las demás formas primarias y finales de energía. Por otra parte, alarga y complica las cadenas energéticas, provocando fuertes pérdidas de rendimiento.

En resumen: La progresiva cuota de mercado de la electricidad, si bien es un elemento catalizador del desarrollo económico mundial bajo los esquemas convencionales, también es cierto que (ceteris paribus) provoca empobrecimientos en los balances energéticos globales aumentando el despilfarro de energía.

Ahora nos podemos preguntar si, dado el bajo rendimiento energético atribuible a cualquier transformación de energías primarias en electricidad, existe teóricamente la posibilidad de prescindir de la electricidad y verificar si la cadena energética alternativa aumenta los rendimientos energéticos.

El análisis está limitado en la práctica por el escaso grado de sustituibilidad actual de la energía eléctrica.

Dicho vector energético se usa fundamentalmente en tres aplicaciones genéricas: ILUMINACION, USOS TÉRMICOS Y USOS MECANICOS.

El primer uso final, la ILUMINACION, permite culminar el análisis de la figura 2.5.

Se recordará que el rendimiento de la transformación en electricidad oscila en torno al 33%. Dicha promedio mejora si tenemos en cuenta el rendimiento de la hidroelectricidad, pero tiende a empeorar con el crecimiento de la proporción de electricidad de origen nuclear.

Pues bien: El rendimiento de la conversión de la energía eléctrica en luz, es apenas del 13% en promedio, según estudios de la compañía GENERAL ELECTRIC.<sup>49</sup>

De este modo, el rendimiento real en el uso de la electricidad de origen térmico cuando se convierte en luz, es apenas del 4%:  $(0,33 * 0,13)$ . El 96% restante se disipa en forma de calor, en las sucesivas fases de transformación y distribución.

Los pobres resultados técnicos de esta específica conversión se ven contrariados por razones económicas y de mercado, puesto que la electricidad detenta un monopolio de hecho en el uso final "iluminación", por razones de comodidad y eficacia, tal como se ha resaltado en el capítulo 1 cuando se desarrollaba el aspecto histórico de la electricidad.

Por lo que se refiere a los USOS TÉRMICOS de la electricidad, hay que precisar que la conversión de ésta en calor se basa en el "efecto JOULE"<sup>44</sup>, por el que una energía en forma noble como la electricidad puede perder su capacidad para producir trabajo en la medida en que se degrada como calor, siendo este proceso irreversible en sentido termodinámico tal como se estudiará en el capítulo 3.

Así, puede concluirse que existe un caso claro de inadecuación de la fuente energética al uso final de la energía, cuando la atención se desplaza a la electricidad usada para producir calor,

A excepción hecha de ciertos procesos térmicos industriales en que la electricidad es difícil de sustituir por razones técnicas, la conversión de electricidad en calor es un proceso energéticamente ineficiente, ya que la cadena energética afectada (termoeléctrica), sacrifica dos tercios de la energía inicial disipándola en forma de calor, con objeto de lograr el restante y escaso tercio de flujo energético de alta calidad; Por ello, es aún menos racional desde el punto de vista termodinámico la aplicación de la electricidad para generar calor nuevamente<sup>45</sup>, de tal forma que otra vez se producen pérdidas en dicha transformación.

Aunque estas pérdidas no son importantes: (del 5% al 10%)<sup>46</sup> cabe preguntarse por la racionalidad de la cadena energética así considerada y en todos sus eslabones.

Como expresa con acierto DUMON, "el paso por la energía térmica en general, debe ser evitado cuando el calor no es el objetivo final de la transformación; en efecto: la conversión de toda forma de energía en

energía térmica corresponde a una degradación que se paga duramente cuando tal energía debe ser transformada a su vez"<sup>47</sup>

Recíprocamente a la afirmación de DUMON, se señalará por nuestra parte que el comportamiento termodinámicamente adecuado, consiste en prescindir del vector electricidad si el calor es el objetivo final de la transformación, puesto que seguramente más de un 75%<sup>48</sup> de la energía eléctrica ha sido generada rompiendo un potencial térmico de millones de grados (partiendo de uranio o plutonio) o miles de grados (combustibles fósiles), con el fin de lograr una diferencia térmica de unas decenas de grados, sobre todo en el uso de menor calidad, que es la calefacción.

Como gráficamente apunta LOVINS<sup>49</sup>, tal proceder "equivale a cortar mantequilla con una sierra mecánica".

La alternativa tradicional de la electricidad para producir calor tanto para calefacción como para usos industriales, estriba en quemar directamente combustibles sólidos, líquidos ó gaseosos, que sólo tienen pérdidas ostensibles en la fase de utilización.

Computando incluso las pérdidas en las fases de extracción, refinado y transporte, su rendimiento energético final es el doble aproximadamente que el de la electricidad (50-70% contra 28-31%), debido al notable acortamiento de la cadena energética.<sup>50</sup>

Criticando implícitamente las opciones "todo eléctrico", en el 4º Informe al Club de Roma<sup>51</sup> GABOR y COLOMBO escriben: "En una economía electrificada completamente, el consumo bruto de energía sería mucho más importante que en una economía de combustibles fósiles de la misma capacidad de distribución de energía"

Por último, la utilización de la electricidad para USOS MECANICOS, tiene un rendimiento técnico mucho más comparable al derivado de la energía mecánica lograda a través de la cadena: Combustibles fósiles - calor - turbina a gas ó vapor, (o motor de combustión interna) - energía mecánica.



Este hecho se justifica en que tanto la cadena termoeléctrica como la cadena termomecánica deben pasar por el ciclo térmico de CARNOT<sup>62</sup> que estudiaremos en el próximo capítulo. Ambas alternativas han de pasar por la conversión de calor en trabajo; se trata en definitiva del traspaso de una forma de energía de poca calidad a otra de mayor calidad.

La transformación de la electricidad en energía mecánica se realiza por medio de motores eléctricos. Estos aparatos son altamente eficientes, sobre todo los de gran tamaño que tienen su mercado en la industria.

En el caso de la comparación del rendimiento térmico de ambas cadenas energéticas (termoeléctrica y termomecánica) debe tenerse en cuenta que una parte no importante -pero sí significativa- de la energía eléctrica se genera por vía hidráulica<sup>63</sup>. La conversión de energía mecánica en electricidad y ésta de nuevo en energía mecánica constituye una de las cadenas de mayor eficiencia energética, y esto mejora el balance global del rendimiento en el uso de la electricidad.

Aparte de las aplicaciones de alumbrado, térmicas y mecánicas, existen otras que cuantitativamente tienen poco peso, pero tienen impacto creciente: Se trata de la electrónica y de las telecomunicaciones. Al igual que la iluminación no poseen alternativas fuera de la electricidad.

Basándose en la equiparación de la ineficacia térmica y la ineficacia social (equiparación que los técnicos instalados en el sistema no reconocen), LOVINS ha estudiado los usos en que la electricidad es imprescindible<sup>64</sup>, con el fin de estudiar teóricamente cual podría ser la contribución electronuclear mínima o imprescindible en los balances energéticos de los Estados Unidos.

Según este autor, en dicho país el 13% de la demanda energética de 1.970 se cubrió con electricidad. No obstante, sólo un 8% de dicha demanda total estuvo destinada a usos únicamente atendibles por -y por tanto cautivos de- dicho vector energético: Motores industriales,

iluminación, electrónica, telecomunicaciones, electrometalurgia, electroquímica, soldadura eléctrica, motores eléctricos domésticos, etc. El 8% citado podría ser reducido al 5% si se limitara la iluminación comercial excesiva. Así pues, según LOVINS los usos eléctricos podrían reducirse en 8/13, es decir, más del 60% según sus conclusiones para un país y época concretos.

Los expertos del sector eléctrico conocen la débil posición de su vector con relación a los rendimientos térmicos que presenta, mediocres por existir una transformación intermedia en calor. Siempre han mantenido la esperanza de poder soslayar esta etapa intermedia<sup>65</sup>. Por ello, los científicos estudian tecnologías de conversión más directa, por ejemplo, prescindiendo del ciclo de vapor aunque no del calor (por ejemplo, turbina a gas). Incluso han intentado suprimir el ciclo vapor-generator, mediante la tecnología Magneto-hidro-dinámica (MHD), aún no resuelta completamente debido a las altas temperaturas que requiere, mayores que las soportables con garantías por las aleaciones de metales existentes.

Hay otras vías que no intentan obviar el ciclo térmico, pero logran gratuidad en la fuente de suministro: El Sol. Se trata de las centrales solares que en sus diversas variantes trabajan con el ciclo clásico de vapor. En estas opciones energéticas, el inconveniente principal no es de tipo técnico sino de coste, debido a las grandes inversiones necesarias por unidad de potencia instalada. Lo mismo sucede con las centrales mareomotrices, las centrales de vapor geotérmico, etc.

Por último existen las alternativas nucleares: Fisión nuclear y fusión nuclear.

La fisión nuclear es la tecnología adoptada por las centrales nucleares existentes actualmente, cuyo combustible es el uranio o derivados. Dicha tecnología tiene unos cuarenta años de experiencia en el campo de la generación de energía. En los últimos veinticinco años ha habido dos etapas: Los primeros quince años gozó de una participación creciente en el mercado de generación de energía debido a la crisis de los hidrocarburos. No obstante, al plantear esporádicos pero muy graves problemas de seguridad,

(recuérdense los accidentes de HARRISBURG (Estados Unidos) en 1.979 y de CHERNOBIL (U.R.S.S.) en 1.986); al ponerse de manifiesto que existen enormes costes sociales no incorporados en los precios y al aflorar problemas político-sociales de no aceptación o de rechazo por parte la opinión pública, en la década de los 80 se ha frenado la puesta en servicio de nuevas centrales nucleares en el mundo desarrollado, excepto en el peculiar caso de Francia.

La fusión nuclear está en fase muy temprana de investigación y estudios. A pesar de los éxitos preliminares al haber logrado la Universidad de Princeton (USA) una temperatura de 200 millones de grados en un experimento de generación, se cree que hasta el año 2.020 no podrá ser explotable comercialmente. Puede que se trate del balón de oxígeno energético que para entonces ansiará el mundo, agotados prácticamente los hidrocarburos y las sustancias fisionables de coste razonable, según los parámetros técnicos y económicos que hoy conocemos.

El motivo del frenético interés en la investigación de la fusión nuclear estriba en que parece ser a un plazo de 40 años el único medio capaz de ofrecer grandes cantidades de energía mediante el consumo de materias primas de difícil agotamiento (agua, hidrógeno).

Nosotros le vemos un fuerte inconveniente de tipo político y social: Su desarrollo, comercialización y distribución (como electricidad), pueden quedar tan restringidas en pocas manos, que puede contribuir al acentuamiento del dominio de unos pocos sobre muchos, en una Sociedad cada vez más centralizada, en la que cada vez más será cierta la ecuación: Control de las fuentes de energía = poder real. Una vez más, las opciones tecnológicas, aparentemente inocuas, están condicionando opciones sociales y de poder.

Volviendo a nuestro análisis y recapitulando, diremos que en este subcapítulo nuestra intención ha sido realizar un breve estudio de las cadenas energéticas técnicamente disponibles, analizando sus rendimientos respectivos con relación a los usos finales. Como en el capítulo anterior, no se ha puesto en el centro de interés la cuestión económica.

En este contexto se puede aceptar la identificación del grado de rendimiento energético con el grado de idoneidad social, bajo la premisa de que existe escasez de energía captable.

Resumiendo, una cadena energética es "el conjunto de etapas de elaboración y circulación de recursos energéticos que permiten adaptarse progresivamente al servicio demandado por el consumidor y que lo hacen llegar hasta él".<sup>56</sup> A su vez, "un sistema energético estará formado por el conjunto de cadenas energéticas independientes o comunicantes, concurrentes o complementarias."<sup>57</sup>

Por otra parte, en dichos sistemas y cadenas energéticas existen rendimientos diferentes en la conversión de formas de energía menos útiles a más útiles para el consumidor final. Dichos rendimientos varían ampliamente según el método de conversión empleado y el uso final que se desee.<sup>58</sup>

Dentro de un sistema energético puede mejorarse el rendimiento, pasando de cadenas menos eficientes a otras con mayor rendimiento energético.

Dentro de una cadena puede intentar mejorarse su eficacia energética:

a) Incrementando el rendimiento técnico de todos o algunos de los mecanismos de transformación, tanto en el ámbito de la producción como en el del uso final.

b) Evitando las conversiones de energía que no sean estrictamente indispensables.<sup>59</sup>

El estudio comentado ha sido elaborado eludiendo el aspecto económico del problema, que será tratado en el capítulo 4. A nuestro entender, esta problemática y su estudio se adapta bien a la metodología hegeliana de presentar tesis y antítesis para lograr una síntesis enriquecedora.

De momento, nuestro deseo ha sido justificar la importancia que hemos otorgado al problema de las conversiones energéticas y a su faceta más atractiva para el economista: Los rendimientos energéticos. Tal propósito requiere al menos un grado suficiente de comprensión del objeto y el sentido de la Ciencia clásica de la energía: la Termodinámica. Esta cuestión será abordada acto seguido.

CUADRO 2.3.b.

Fuerza, peso	N	dyn	lb	kg	gf
1 N (Newton)	1	10 <sup>5</sup>	101.9716	0.1019716	0.224809
1 dyn (dina)	10 <sup>-5</sup>	1	1.019716 · 10 <sup>-3</sup>	1.019716 · 10 <sup>-6</sup>	2.24809 · 10 <sup>-6</sup>
1 p (pound)	9.80665 · 10 <sup>-2</sup>	980.665	1	0.001	2.20462 · 10 <sup>-3</sup>
1 kp (kilopondio)	9.80665	9.80665 · 10 <sup>3</sup>	1000	1	2.20462
1 lbf (libra-fuerza)	4.44822	4.44822 · 10 <sup>5</sup>	453.592	0.45392	1

Presión	Pa	bar	kg/cm <sup>2</sup>	at	mm	Torr	cm H <sub>2</sub> O
1 Pa = 1 N/m <sup>2</sup>	1	10 <sup>-2</sup>	1.019716 · 10 <sup>-3</sup>	1.019716 · 10 <sup>-4</sup>	0.986923 · 10 <sup>-6</sup>	0.750062 · 10 <sup>-2</sup>	1.45038 · 10 <sup>-3</sup>
1 bar = 10 <sup>5</sup> dyn/cm <sup>2</sup>	10 <sup>5</sup>	1	10.19716 · 10 <sup>3</sup>	1.019716	0.986923	750.062	14.5038
1 kp/m <sup>2</sup> = 1 mm c.d.a.	9.80665	0.980665 · 10 <sup>-2</sup>	1	10 <sup>-4</sup>	0.967841 · 10 <sup>-6</sup>	0.735559 · 10 <sup>-1</sup>	1.42233 · 10 <sup>-3</sup>
1 at = 1 kg/cm <sup>2</sup>	0.980665 · 10 <sup>5</sup>	0.980665 · 10 <sup>2</sup>	10 <sup>3</sup>	1	0.967841	735.559	14.223
1 atm = 760 Torr	101325	1.01325	1.033227 · 10 <sup>3</sup>	1.033227	1	760	14.69595
1 Ton (Torricelli)	133.3224	1.333224 · 10 <sup>-3</sup>	13.59510	1.359510 · 10 <sup>-2</sup>	1.315789 · 10 <sup>-4</sup>	1	19.3368 · 10 <sup>-3</sup>
1 lbf/in <sup>2</sup> = 1 psi (pound-force per sq. inch)	6.89478 · 10 <sup>3</sup>	68.9478 · 10 <sup>-2</sup>	703.070	70.30706 · 10 <sup>-2</sup>	68.0460 · 10 <sup>-2</sup>	51.7128	1

Trabajo, energía, cantidad de calor por motor	J	kWh	CvH	kg-m	kcal	Btu	MeV	UCM
1 J (Julio) = 1 Ws = 1 Nm = 10 <sup>7</sup> erg (ergios)	1	2.778 · 10 <sup>-7</sup>	3.777 · 10 <sup>-3</sup>	0.1019716	2.388 · 10 <sup>-4</sup>	9.478 · 10 <sup>-8</sup>	6.242 · 10 <sup>-16</sup>	34.12 · 10 <sup>-10</sup>
1 kWh (kilovatio-hora)	3.6 · 10 <sup>6</sup>	1	1.35962	3.671 · 10 <sup>3</sup>	859.845	3412.14	2.247 · 10 <sup>10</sup>	12.28 · 10 <sup>10</sup>
1 CvH (caballo de vapor-hora)	2.648 · 10 <sup>6</sup>	0.735499	1	2.7 · 10 <sup>3</sup>	632.41	2509.62	1.653 · 10 <sup>10</sup>	90.36 · 10 <sup>10</sup>
1 kp m (kilopondio-metro)	9.80665	2.724 · 10 <sup>-6</sup>	3.70 · 10 <sup>-3</sup>	1	2.342 · 10 <sup>-3</sup>	9.295 · 10 <sup>-8</sup>	6.122 · 10 <sup>-16</sup>	33.47 · 10 <sup>-10</sup>
1 kcal (kilocaloría)	4186.8	1.163 · 10 <sup>-3</sup>	1.581 · 10 <sup>-2</sup>	426.935	1	3.96832	2.614 · 10 <sup>10</sup>	14.29 · 10 <sup>10</sup>
1 Btu (British thermal unit)	1055.06	2.931 · 10 <sup>-4</sup>	3.985 · 10 <sup>-3</sup>	107.586	0.251996	1	6.586 · 10 <sup>10</sup>	35.99 · 10 <sup>10</sup>
1 MeV megaelectronvoltio	1.602 · 10 <sup>-13</sup>	4.45 · 10 <sup>-20</sup>	6.050 · 10 <sup>-20</sup>	1.63 · 10 <sup>-16</sup>	3.82 · 10 <sup>-17</sup>	1.518 · 10 <sup>-10</sup>	1	5.464 · 10 <sup>-11</sup>
UCM (unidad de carbon mineral)	29.307 · 10 <sup>6</sup>	8.141	11.067	2.988 · 10 <sup>6</sup>	7000	27.78 · 10 <sup>6</sup>	183 · 10 <sup>10</sup>	1

Potencia	W	kW	Cv	hp	kgm/s	kcal/s	Btu/s	R (l/s)
1 W (Watt)	1	10 <sup>-3</sup>	1.35962 · 10 <sup>-3</sup>	1.34102 · 10 <sup>-3</sup>	0.1019716	238.846 · 10 <sup>-6</sup>	947.81 · 10 <sup>-8</sup>	0.737562
1 kW (kilowatt) = 10 <sup>3</sup> erg/s	1000	1	1.35962	1.34102	101.9716	0.238846	0.94781	737.562
1 CV (caballo de vapor)	735.499	0.735499	1	0.986320	75	0.1757	0.69712	542.476
1 hp (horsepower)	745.700	0.745700	1.01387	1	76.042	0.17811	0.70679	550
1 kp m/s (kilopondio-metro por segundo)	9.807	9.807 · 10 <sup>-3</sup>	0.0133333	0.0131509	1	2.342 · 10 <sup>-3</sup>	9.295 · 10 <sup>-8</sup>	7.23301
1 kcal/s (kilocaloría por segundo)	4186.8	4.1868	5.692	5.614	426.939	1	3.96832	3084.05
1 Btu/s (British thermal unit/seg)	1055.05	1.05505	1.4345	1.4149	107.586	0.251993	1	778.17
1 R (l/s) (foot-pound-force/sect)	1.356	1.356 · 10 <sup>-3</sup>	1.843 · 10 <sup>-2</sup>	1.818 · 10 <sup>-2</sup>	0.138255	3.238 · 10 <sup>-4</sup>	1.285 · 10 <sup>-3</sup>	1

EQUIVALENCIAS ENERGÉTICAS DE LAS FUENTES PRIMARIAS

	1 sec = 7 · 10 <sup>6</sup> kilocalorías				1 hp = 1428 sec				1 termia = 10 <sup>6</sup> kcal			
	Poder calorífico kcal/kg	Unidad	Equivalencias		Poder calorífico kcal/kg	Unidad	Equivalencias		Poder calorífico kcal/kg	Unidad	Equivalencias	
			sec	hp			sec	hp			sec	hp
<b>CARBONES</b>												
Hulla	6060	t	0.866	0.606								
Antracita	5320	t	0.760	0.532								
Cocque	6650	t	3.950	0.665								
Lignito negro	3210	t	0.459	0.321								
Lignito pardo	2086	t	0.298	0.208								
<b>PETROLIO</b>												
Crudo	10000	t	1.428	1.000								
G. L. P.	11800	t	1.686	1.181								
Gasolina, Kerosenos, gas-oil y naftas	10500	t	1.500	1.050								
Fuel-oil	10000	t	1.428	1.000								
Resido de Productos	9500	t	1.357	0.950								
<b>ELECTRICIDAD</b>												
Energía primaria equivalente para la producción												
Consumo	2.470	MWh	0.353	0.247								
	880	MWh	0.123	0.086								
1 TWh = 10 <sup>3</sup> GWh = 10 <sup>6</sup> MWh = 10 <sup>9</sup> kWh = 10 <sup>12</sup> Wh												

\* kcal/MWh

CUADRO 2.3.a.

MAGNITUDES Y UNIDADES FISICAS Y SUS EQUIVALENCIAS

Temperatura

Formulas de conversion

Temperatura Celsius  $t$  en  $^{\circ}\text{C}$

$$t = \frac{5}{9} (t^{\circ}\text{F} - 32) = \frac{t^{\circ}\text{F} - 32}{1.8}$$

Diferencias de temperaturas

1  $^{\circ}\text{Kelvin} = 1 \text{ }^{\circ}\text{K} = 1 \text{ }^{\circ}\text{C}$

1  $^{\circ}\text{Rankine} = 1 \text{ }^{\circ}\text{R} = 1 \text{ }^{\circ}\text{F}$

$$T = t + 273.15$$

$$T_r = t^{\circ}\text{F} + 459.67$$

Temperatura Fahrenheit  $t^{\circ}\text{F}$  en  $^{\circ}\text{F}$

$$t^{\circ}\text{F} = \frac{9}{5} t + 32 = t \cdot 1.8 + 32$$

Longitud	m	km	in	ft	yd	mi	n mi
1 m (metro)	1	0.001	39.3701	3.28084	1.09361	—	—
1 km (kilómetro)	1000	1	39370.1	3280.84	1093.61	0.621371	0.539957
1 inch (pulgada)	0.0254	—	1	0.08333	0.02778	—	—
1 foot (pie)	0.3048	—	12	1	0.3333	0.000189	—
1 yarda	0.9144	—	36	3	1	0.000568	—
1 statute mile (milla terrestre)	1609.344	1.609344	63360	5280	1760	1	0.868976
1 international nautical mile (milla marina internacional)	1852	1.852	72960	6076.12	2025.37	1.15078	1

1 lehon (braza) = 6 n = 1.8288 m. 1 mi = 0.001 n

Superficie	m <sup>2</sup>	km <sup>2</sup>	cm <sup>2</sup>	in <sup>2</sup>	ft <sup>2</sup>	yd <sup>2</sup>	sq. mi	acre	a	ha
1 m <sup>2</sup> (metro cuadrado)	1	—	10000	1550	10.7639	1.196	—	—	0.01	—
1 km <sup>2</sup> (kilómetro cuadrado)	—	1	—	—	—	—	0.3861	247.105	10000	100
1 square inch (pulgada cuadrada)	—	—	6.4516	1	—	—	—	—	—	—
1 square foot (pie cuadrado)	0.092903	—	929.03	144	1	0.111	—	—	—	—
1 square yard (yarda cuadrada)	0.836127	—	8361.27	1296	9	1	—	—	—	—
1 square mile (milla cuadrada)	—	2.5899	—	—	—	—	1	640	—	258.999
1 acre	4046.86	—	—	—	—	4840	0.00156	1	40.4686	0.0404686
1 a (ares)	100	—	—	—	1076.39	—	—	—	1	0.01
1 ha (hectárea)	10000	0.01	—	—	—	—	—	2.47105	100	1

Volumen	m <sup>3</sup>	cm <sup>3</sup>	in <sup>3</sup>	ft <sup>3</sup>	yd <sup>3</sup>	US fl oz	UK fl oz	US gal	UK gal	UK pint
1 m <sup>3</sup> (metro cubico)	1	10 <sup>6</sup>	61024	35	1.3	33.814	35.195	264.2	219.9	1759.8
1 cm <sup>3</sup> (centimetro cúbico)	10 <sup>-6</sup>	1	0.061024	—	—	0.033814	0.035195	—	—	—
1 cubic inch (pulgada cubica)	—	16.3872	1	—	—	0.5541	0.5768	—	—	0.0288
1 cubic foot (pie cubico)	0.0283168	28316.8	1728	1	0.03704	957.5	996.6	7.4805	6.2288	49.831
1 cubic yard (yarda cubica)	0.76456	—	46656	27	1	—	—	201.97	168.18	1345.43
1 US fluid ounce (onza de liquido)	—	29.574	1.805	—	—	1	1.041	—	—	—
1 UK fluid ounce (onza de liquido)	—	28.413	1.7339	—	—	0.96075	1	—	—	0.05
1 US gallon	—	3785.4	231	0.1337	—	128	133.23	1	0.8327	6.662
1 UK gallon	—	4546.09	277.42	0.1605	—	153.72	160	1.201	1	8
1 UK pint	—	568.261	34.68	0.02	—	19.215	20	0.1501	0.125	1

Masa	kg	g	lb	oz	lb	sh cwt	cwt	sh tn	ton
1 kg (kilogramo)	1	1000	0.001	35.274	2.20462	—	—	—	—
1 g (gramo)	0.001	1	—	—	—	—	—	—	—
1 lb (libra)	0.45359	453.5924	—	16	1	0.01	0.0089	0.0005	—
1 sh cwt (short hundredweight unidad norteamericana)	45.3592	—	—	—	100	1	0.8929	0.05	0.0446
1 cwt (hundredweight unidad britanica)	50.8023	—	—	—	112	1.12	1	0.056	0.05
1 sh tn (short ton unidad norteamericana)	907.185	—	—	—	2000	20	17.857	1	0.8929
1 ton (unidad britanica)	1016.05	—	1.01605	—	2240	22.4	20	1.12	1

1 ounce (avardupois) = 16 grams = 437.5 grains. 1 Troy ounce = 480 grains = 31.1 g  
 1 stone (avardupois) = 14 lb  
 1 unidad britanica de masa (c = 1 sup st) = 9.0865 kg

FUENTE: MINER/MEC.: Guía didáctica. Formas de energía; Su utilización y ahorro. Madrid. 1.981. Pg. 64-65.

CUADRO 2.2.

**Unités d'énergie :**

- *tep* : tonne d'équivalent pétrole = 10 000 thermies = 7 barils =  
1,5 *tec* = 4 500 kWh,
- *Mtep* : millions de tonnes d'équivalent pétrole,
- *baril* = 1/7 de tonne de pétrole,
- *tec* : tonne d'équivalent charbon = 6 700 calories = 2/3 *tep*,
- *Mtec* : millions de tonnes d'équivalent charbon,
- *kWh* : kilowatt-heure,
- *CV/h* : cheval vapeur par heure = 0,736 kWh.

**Unités de puissance :**

- *CV* : cheval vapeur = 736 Watts,
- *kW* : kilowatt =  $10^3$  W = millier de Watts,
- *MW* : mégawatt =  $10^6$  W =  $10^3$  kW = millier de kW,
- *MWe* : mégawatt électrique (puissance électrique d'un réacteur par opposition à sa puissance thermique qui est environ trois fois plus élevée),
- *GW* : gigawatt =  $10^9$  W =  $10^6$  kW =  $10^3$  MW = million de kW.

**Equivalence électricité-combustible :**

- à la production (dans une centrale thermique classique)  
1 000 kWh = 1/3 de *tec* = 2/9 de *tep*,
- selon le pouvoir calorifique (c'est-à-dire à la consommation, à rendement égal)  
1 kWh = 0,125 kilo de charbon,  
1 000 kWh = 0,125 *tec*.

Fuente: PUISEUX Louis : *Le babel nucléaire*. Editions Gallilée, 1977, 304 p., pp. 285-286).



---

## **NOTAS DEL CAPITULO 2**

---



- 1 HELLMAN, H.: *Energía en el mundo del futuro*. Ediciones Tres Tiempos, Buenos Aires. 1.973. Pg. 18.
- 2 FILIPOVICH, J.: *Las fuentes de energía*. Ed. Prensa Española-Magisterio Español-Editora Nacional. Madrid. 1.975. Pg. 15. También puede verse:  
EDEN ET ALIA: *Energy Economics, Growth, Resources and Policies*. Cambridge University Press. USA. 1.981. Pg. 20.  
DUCROCQ, A.: *Victoire sur l'énergie*. Flammarion, París. 1.980. Pg. 259.
- 3 HELLMAN, H.: *Op. cit.*, Pg. 18 y ss.
- 4 FOLEY, G.: *La cuestión energética*. Ed. del Serbal. Barcelona. 1.981. Pg. 66.
- 5 FILIPOVICH, J.: *Op. cit.*, Pg. 13.
- 6 *Ibidem*.
- 7 El Sistema Internacional de Medidas (SI), se aprobó en la 9ª Conferencia de Pesas y Medidas celebrada en 1.948. Fue aprobado y adoptado por España en 1.967. Ver: MINISTERIO DE INDUSTRIA. Y ENERGIA: *Formas de energía: Su utilización y ahorro. Guía didáctica*. Madrid, 1.981. Pg. 8.  
La unidad básica de masa es el kilogramo. La de longitud es el metro. La temperatura se mide en grados CELSIUS o grados centígrados (°C). La temperatura absoluta se controla en grados KELVIN (°K), tomada desde la temperatura mínima conocida o cero absoluto: -273,15 °C, siendo éste otorgado a un gas ideal que tiene volumen y presión cero. Ver: FOLEY, G.: *Op. cit.*, Pg. 70.
- 8 DUCROCQ, A: *Op. cit.*, Pg. 259. También:  
FILIPOVICH, J.: *Op. cit.*, Pg. 15.  
Si por otro lado preferimos calcular el trabajo efectuado en vertical (levantar un peso), en lugar del desplazamiento horizontal sin rozamientos, el JULIO equivale al trabajo necesario para levantar a 51 cm. de altura un peso de 200 gr., debido al efecto adicional de la ley de la gravedad. Ver: DUCROCQ, A.: *Op. cit.*, Pg. 10.
- 9 *Op. cit.*, Pg. 261. Por otra parte, DUCROCQ considera anticuado el sistema centímetro/gramo/segundo (CGS). Ver también:  
FILIPOVICH, J.: *Op. cit.*, Pg. 14.
- 10 FILIPOVICH, J.: *Ibidem*.
- 11 MINISTERIO DE INDUSTRIA Y ENERGIA: *Op. cit.*, Pg. 8.
- 12 DUCROCQ, A.: *Op. cit.*, Pg. 260.

- 13 *Ibidem.*
- 14 *Ibidem.*
- 15 EDEN ET ALIA: *Op. cit.*, Pg. 417.
- 16 ORGANIZACIÓN DE COOPERACIÓN Y DESARROLLO ECONOMICOS. (AGENCIA INTERNACIONAL DE LA ENERGIA): *Energy Balances of OECD Countries, 1.975-1.979*. París, 1.981. Pg. V.
- 17 Hay que tener cuidado en no asignar a los carbones pobres el mismo poder calorífico que a la hulla y a la antracita, que son los usados para la equivalencia citada. Por ejemplo, el lignito tiene 16 GJ por Tm. Ver: EDEN ET ALIA.: *Op. cit.*, Pg. 417.
- 18 DUCROCQ, A.: *Op. cit.*, Pg. 262.
- 19 EXXON CORPORATION: *Perspectiva energética mundial. Diciembre 1.980*. Pg. 7 y ss. También: O.C.D.E. (AGENCIA INTERNACIONAL DE LA ENERGIA): *Op. cit.*, Pg. VII.
- 20 EDEN ET ALIA: *Op. cit.*, Pg. 417.
- 21 DUCROCQ, A.: *Op. cit.*, Pg. 260.
- 22 El "QUAD" se hizo popular en USA hace unos años, al divulgar la administración americana que el gasto total de energía en USA había sido en 1.978 del orden de 78 QUADS. (78/78) Ver: BUECHE, A.M.: *La amarga verdad sobre el futuro de nuestra energía*. En: "El Instalador" n° 146. Julio-Agosto 1.980, Pg. 32.
- 23 HELLMAN, H.: *Op. cit.*, Pg. 19.
- 24 *Ibidem*. Ver además: FILIPOVICH, J.: *Op. cit.*, Pg. 15.
- 25 *Ibidem*.
- 26 DUCROCQ, A.: *Op. cit.*, Pg. 261. La equivalencia reconocida entre Julios eléctricos y térmicos es: 1 J eléctrico = 2,58 J térmicos. La misma relación existe entre las medidas de la energía derivadas de la unidad de potencia Kilovatio (1 Kw/h eléctrico = 2,58 Kw/h térmicos). Dicha circunstancia es comprensible si sabemos que en una central termoeléctrica, son necesarias 2,22 th. de calor para producir 1 Kw/h eléctrico. A su vez, un aparato de utilización final de la energía eléctrica, aprovecha del Kw/h suministrado, sólo 0,86 th. en forma de calor. De ahí la relación citada.
- 27 FILIPOVICH, J.: *Op. cit.*, Pg. 16 s.

- <sup>28</sup> LE GOFF, P.: *Les rendements d'utilisation de l'énergie par et pour les êtres humains*. En: "Révue Générale Thermique Française" Tomo XVI. N° 181. Enero 1.977. Pg. 16.
- <sup>29</sup> HUBBERT, M.K.: *Los recursos energéticos de la Tierra*. En: SCIENTIFIC AMERICAN: *La energía*. Alianza Editorial. Madrid. 3ª Ed. 1.982. Pg. 68-69.
- <sup>30</sup> DAVIES, P.: *El universo desbocado. Del Big Bang a la catástrofe final*. Ed. Salvat. Barcelona, 1.988. Pg. 51.
- <sup>31</sup> La edad del sistema se cifra en 4,7 evos, es decir, 4,7 mil millones de años. Ver: ASIMOV, I.: *El Universo. De la tierra plana a los quásars*. Alianza Editorial. Madrid. 1ª Ed. 1.973. Pg. 172 y s.
- <sup>32</sup> COMMONER, B.: *La escasez de energía*. Plaza y Janés, Barcelona. 1.977. Pg. 136 y ss. También ver: ZORZOLI, B.: *Op. cit.* pg. 12.
- <sup>33</sup> COMMONER, B.: *Op. cit.*, Pg. 139.
- <sup>34</sup> ODUM, H.T.: *Environment, Power and Society*. Wiley Interscience, Nueva York, 1.971. Esta es su obra fundamental. Con relación a este tema, ver:  
FOLEY, G.: *Op. cit.*, pg. 78. En general, ver cap. 5. También debería consultarse:  
ODUM, H.T. Y ODUM, E.C.: *Hombre y Naturaleza. Bases energéticas*. Omega. Barcelona, 1.981. 320 pg.
- <sup>35</sup> HÄFELE, W.: *IIASA S world regional energy modelling*. En: "Futures". Vol 12. n° 1. Febrero de 1.980. Pg. 24.  
Por supuesto, no estamos de acuerdo con HÄFELE en la consideración que realiza en la parte superior del gráfico 2.4. que se ha comentado detalladamente en la exposición: A través del "know how" y del esfuerzo no puede lograrse "neguentropía" para mejorar los rendimientos en la obtención de servicios, en contra pues de lo que él indica. Todo lo más, pueden jerarquizarse inteligentemente los usos finales por orden decreciente de temperaturas para lograr que lo que se considera mero residuo en forma de calor en un uso energético final concreto, pueda juzgarse adecuado para obtener calor en un servicio energético que requiera calor a menor temperatura.  
Para la plena comprensión de esta argumentación, nos remitimos al contenido del capítulo 3.
- <sup>36</sup> BOITEUX, M.: *Y a-t'il un problème de l'énergie*. En: "Revue d'Économie Politique" Tomo LXLII. N° 3. 1.982. Pg. 285.
- <sup>37</sup> SPEISER, A.P.: *La técnica en marcha hacia el año 2.000*. En: "Informaciones Económicas. Perspectivas". 1.979. N° 4. Reproducido en Boletín "INCIDE" N° 202, 20-11-79, Pg. 1 a 3.

- <sup>38</sup> SUMMERS, C.M.: *La conversión de energía*. En: SCIENTIFIC AMERICAN: *Op. cit.* Pg. 196-226.
- <sup>39</sup> CHANG, S.S.L.: *Conversion de l'énergie*. Dunod. París. 1.966. Pg. 7. También: HELLMAN, H.: *Op. cit.* Pg. 31.
- <sup>40</sup> Existe una controversia muy dura entre los científicos e ingenieros vinculados a la industria eléctrica y a la energía nuclear, por una parte, y por otra los ecólogos e investigadores interesados en el estudio de las condiciones para que se desenvuelva una sociedad energéticamente descentralizada. Estos últimos atacan particularmente la baja eficiencia de la cadena electronuclear y la tendencia a la centralización política y económica de la Sociedad. Los primeros o científicos convencionales integrados en el sistema, ignoran tales alegaciones y resaltan la inevitabilidad del crecimiento de la oferta energética electronuclear, en base a razones de progreso, agotamiento de los combustibles fósiles, disponibilidad de técnicas comprobadas e incluso razones de tipo ecológico. En Estados Unidos dentro de esta línea de pensamiento, destacan WEINBERG, SCHURR, etc. Ver por ejemplo las siguientes obras que son bastante representativas de esta tendencia "oficialista":
- WEINBERG, A.M.: *An Overview of the Issues*. En: ACADEMY FORUM: *Energy: Futures alternatives and Risks*. Ballinger. 1.974. Pg. 11 a 16;
- BOITEUX, M.: *Op. cit.*, Pg. 288 y s.; LACOSTE, J.: *Énergie: Quelles contraintes?*. En: Revista "Projet". n° 141, Enero 1.980. Pg. 7 a 23; PUISEUX, L.: *La energía y el desconcierto postindustrial*. Plaza y Janés. Barcelona. 1.974. Pg. 49 a 57.
- NOTA: Los tres últimos autores están o han estado vinculados a ELECTRICITÉ DE FRANCE (EDF).
- Una muestra representativa de los escritos de ecólogos y biólogos que defienden esquemas energéticos descentralizados, aparece a continuación:
- LOVINS, A.B.: *World Energy Strategies. Facts. Issues and Options*. Friends of the Earth Int. & Ballinger Publ. Co. Cambridge Press. Massachussets. En especial, capítulo. 12: "Conclusiones", Pg. 125-131. También:
- LOVINS, A.B.: *La alternativa energética*. Miraguano Ediciones. Madrid, 2ª edición. 1.979. Pg. 42 y ss.
- Como resumen de las ideas de LOVINS, puede consultarse: PESTAÑA, A.: *Modelos energéticos y modelos de desarrollo*. En: "Cuadernos de Arquitectura y Urbanismo". N° 50. Julio-Agosto 1.978. Pg. 18-22.
- Una obra fundamental en línea similar y a nuestro entender, con un contenido menos militante pero más profundo que las anteriores, es la de: COMMONER, B.: *Op. cit.* Pg. 38 y ss.
- <sup>41</sup> FOLEY, G.: *Op. cit.*, Pg. 191 y s. Otra limitación que considera este autor, es la no renovabilidad en la práctica de la energía hidroeléctrica, basándose en el período limitado de vida para los embalses (unos 100 años), debido a la progresiva sedimentación que disminuye su capacidad. Creemos que este razonamiento conferirla a cualquier fuente el carácter de no renovable, en la medida en que algún medio de almacenaje, transporte o distribución tuviera un período limitado de vida útil, hecho que siempre sucederá.

- <sup>42</sup> Ver entre otros muchos, los siguientes trabajos: GARRIDO, E.: *Algunas consideraciones sobre el aprovechamiento de la helioenergía*. En: "Obras Públicas. Boletín Informativo del MOPU". Año XXIII. Nº 265. Enero 1.980. Pg. 13-20. En especial, ver la pg. 17.;
- HELLMAN, H.: *Op. cit.*, Pg. 94. Este autor cita células de arseniuro de galio con rendimiento del 18%. El problema básico es lograr costes competitivos para estos sistemas de conversión, cuyas tecnologías avanzan con rapidez siempre que haya incentivos económicos claros.
- LUQUE, A.: *La captación de energía solar para usos domésticos. Electricidad solar fotovoltaica en la ciudad filoenergética*. En: MARTIN MATEO, R.: *La ciudad filoenergética*. Instituto de Estudios de Administración Local. Madrid, 1.981. Pg. 256. Este destacado investigador español consiguió rendimientos efectivos del 22,5% con células de silicio bifaciales, en el laboratorio.
- <sup>43</sup> Citado por SUMMERS, C.: En SCIENTIFIC AMERICAN: *Op. cit.*, Pg. 209.
- <sup>44</sup> DUMON, R.: *Op. cit.*, Pg. 43 y s. También: BARCELO, R.: *Op. cit.*, Pg. 144.
- <sup>45</sup> Ver, entre otros: COOK, E.: *El flujo de energía en una sociedad industrial*. En: SCIENTIFIC AMERICAN: *Op. cit.*, Pg. 184.;
- SUMMERS, C.: En: SCIENTIFIC AMERICAN: *Op. cit.*, Pg. 202.;
- LOVINS, A.B.: *La alternativa...* *Op. cit.*, Pg. 15 y 42 s.;
- LABEYRIE, V.: *Énergie, développement, Écologie*. En: "La Pensée. Revue du rationalisme moderne". Nº 216. Diciembre 1.980. Pg. 130 y 133.
- PESTAÑA, A.: *Op. cit.*, Pg. 19;
- COMMONER, B.: *Op. cit.*, Pg. 39. Este autor expone un ejemplo muy gráfico al señalar que "la electricidad es eficiente para mover el motor de una lavadora, pero no para calentar el agua que ésta utiliza".
- <sup>46</sup> Hay quiénes atribuyen a esta conversión un rendimiento del 100% que no es verificable en la práctica. Ver: COOK, E.: *Op. cit.*, Pg. 186.
- <sup>47</sup> DUMON, R.: *Op. cit.*, Pg. 41.
- <sup>48</sup> GABOR, D. y COLOMBO, U.: *Sortir de l'ère du gaspillage*. 4ème. Rapport au Club de Rome. Dunod. París. 1.976. Pg. 78. Estos autores afirman que: "En los países de la OCDE, solamente un 22% de la energía eléctrica proviene de la producción hidráulica, cuyo rendimiento es superior al 80%; el resto sale de sistemas termodinámicos cuyo rendimiento práctico no permite convertir más que de un 30% a un 40% de la energía principal en electricidad útil."
- La referencia a los millones ó miles de grados en la rotura del potencial térmico, está tomada de LOVINS, A.B. *Op. cit.*, y de PESTAÑA, A.: *Op. cit.*
- <sup>49</sup> LOVINS, A.B.: *La alternativa...* *Op. cit.*, Pg. 42.

- <sup>60</sup> Puede verse el cuadro 2.4. de este capítulo. También: NACIONES UNIDAS. CONSEJO ECONOMICO Y SOCIAL. COMISION ECONOMICA PARA EUROPA (C.E.P.E.): *Medidas adoptadas y susceptibles de adopción en la zona de la C.E.P.E. para economizar energía y lograr una mayor eficiencia en las fases de extracción, conversión, transporte y utilización.* En: "Documentación Económica" Instituto de Estudios Económicos. Vol IV. N° 87. 1.974. Pg. 156. Según se afirma en este informe, el rendimiento de conversión final en uno de los usos térmicos más característicos (la calefacción central) es: Por carbón: 45%. Por fuelóleo: 63%. Por gas: 75%. Por electricidad: 95%, pero con un rendimiento interno de conversión del 33%, el rendimiento global de la cadena acaba siendo aproximadamente de un 30%.
- <sup>61</sup> *Op. cit.*, Pg. 78.
- <sup>62</sup> ALARIO, J.: *Energía y tecnología en la industria. Elementos para un análisis crítico.* En: Revista "Energía". Año V. N° 4. Julio-Agosto 1.979, Pg. 65.
- <sup>63</sup> Ver nota 46.
- <sup>64</sup> LOVINS, A.B.: *La alternativa... Op. cit.* Pg. 15, y 42 y ss. Como información complementaria, transcribimos un párrafo escrito por dicho autor: "Actualmente (1.970), en los Estados Unidos, cerca del 50% de toda la energía que se consume para usos finales se consume en forma de calor, dividida de modo aproximado igualmente entre temperaturas por encima y por debajo del punto de fusión del agua. (En Europa Occidental -continúa LOVINS- el valor a baja temperatura constituye él sólo a menudo la mitad de toda la energía de uso final). Otro 38% de la energía consumida en Estados Unidos se destina a movimiento mecánico: 31% en vehículos, 3% en tuberías y 4% en motores térmicos industriales. El resto... representa la energía empleada en usos finales que... actualmente requieren electricidad". Subrayado en el original. LOVINS intenta demostrar, debido a la baja temperatura promedio de los usos térmicos, que pueden ser satisfechos mediante energía solar descentralizada, es decir, sin conversión previa en electricidad.
- <sup>65</sup> HOYLE, F.: *¿Energía o extinción? El dilema de la energía nuclear.* ENE Ediciones. Barcelona, 1.977. Pg. 21.
- Por lo que se refiere a las tecnologías variantes para acceder a nuevas fuentes energéticas con el propósito de generar igualmente electricidad, o bien para mejorar el rendimiento de las existentes, existe una abundantísima literatura técnica y de divulgación. Entre las obras que hemos consultado podemos citar:
- HELLMAN, H.: *Op. cit.*, Capítulo. 3, y cap. 8 a 13;
- DUCROCQ, A.: *Op. cit.*, Cap. 5 a 12 y apéndices III y V;
- FREEMAN, D.: *Energía: La nueva era.* Ediciones Tres Tiempos. Buenos Aires. 1.976. Cap. 11 y 12.
- FOLEY, G.: *Op. cit.*, Cap. 10 a 12.
- GRENON, M.: *La crisis mundial de la energía.* Alianza Editorial. Madrid. 1.974. Cap. 4 y 6.
- MONTBRIAL, T.: *L'énergie: Le compte au rebours.* Editions J.C. Lattès. Poitiers, 1.978. Pg. 105-138 y 208-228.



- EDEN ET ALIA: *Op. cit.*, Pg. 52 y s, y cap. 6 a 8;
- LANDSBERG, H.H.: *Energy: The Next Twenty Years*. Ballinger. Cambridge. Mass., 1.979. Parte IV;
- STOBAUGH, R. y YERGIN, D.: *Energy Future. Report of the Energy Project at the Harvard Business School*. Random House. Nueva York, 1.979. Cap 5 y 7;
- YANNACONE JR. V.J. (EDITOR): *Energy Crisis. Danger and Opportunity*. West Publishing Co., Saint Paul, USA. 1.974. Cap 1 (J.W. ANDREWS) y 4 (W.J. YANNACONE JR.);
- ZORZOLI, G.B.: *Op. cit.*, Cap. 11.
- TANTILLO, D.: *El futuro del petróleo*. Ed. Index. Madrid, 1.976. Cap. 4 a 6;
- BARCELO, G.: *Op. cit.*, Cap. 11 y 12.
- PUISSEUX, L.: *Op. cit.*, Cap II;
- DUMON, R.: *Op. cit.*, Cap. II, VI, VII y VIII;
- ESTRADÉ, S.: *La energía del futuro*. Publicación de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales de Barcelona. 1.974. 12 pg.
- GLASER, P.E.: *Satellite Solar Power Option*. Ponencia presentada en el Congreso sobre "Fuentes de energía y desarrollo", organizado por los Bancos Occidental y Urquijo. Barcelona, 1.977. Pg. 125 a 150;
- STARR, C. y BALZHISHER, R.: *Evaluación de las opciones en la generación de energía eléctrica*. Informe presentado en la XI Conferencia Mundial de la Energía. Septiembre 1.980. En: "Revista del Instituto de Estudios Económicos". Nº 3. 1.981. Vol II. Pg. 105 a 133.;
- LE MONDE DIPLOMATIQUE: *Les autres énergies de demain*. Nº 328. Junio 1.981. 6 pg.;
- MARTINEZ VAL, J.M<sup>a</sup>.: *Fuentes de energía: ¿Cuál será el futuro?. (I y II)* En: Revista "Energía". Año V. Números 4 y 5. Julio-Agosto y Septiembre-October 1.979. Pg. 41 a 49 y 73 a 83;
- PANTOJA, A.: *Esperanzas y límites de las fuentes de energía convencionales*. En: Revista "Energía". Año III, nº 2. Marzo-Abril 1.977. Pg. 73 a 79;
- DE LINOS, D.: *Momento actual de la energía solar*. En: "Harvard Deusto Business Review". Nº 9. 1er. trimestre 1.982. Pg. 134 a 144;
- GABOR, D. y COLOMBO, U.: *Op. cit.*, Pg. 44 a 86.
- <sup>56</sup> PANTOJA, A.: *A propósito de la comparación de diferentes fuentes de energía*. En: Revista "Industria Minera". nº 194. Octubre 1.979. Pg. 11.
- <sup>57</sup> *Ibidem*.
- <sup>58</sup> SUMMERS, C.: En SCIENTIFIC AMERICAN: *Op. cit.*, Pg. 198.
- <sup>59</sup> DUMON, R.: *Op. cit.*, Pg. 41;
- HELLMAN, H.: *Op. cit.*, Pg. 32 y s.
- La discusión sobre los diversos comportamientos en el uso final de la energía será efectuada en capítulos posteriores.