

A Energia ao Serviço da Humanidade (*)

JOSIP KLECZEK

Astronomical Institute of the Academy of Sciences, Prag, Czechoslovakia

Desde que nascemos até ao fim dos nossos dias, vivemos e estamos ligados pela gravitação a um dos nove planetas que giram em volta do Sol, isto é, em torno de uma dentre 150 biliões de estrelas da nossa Galáxia, que por sua vez é uma dentre centenas de milhar de galáxias que constituem uma das muitas super-galáxias do Universo. O nosso artigo anterior, sobre a Energia no Universo [1], era muito geral pois tratava a energia do Universo apenas como um todo. Do ponto de vista prático estamos porém mais interessados na *energia* e suas *formas* neste canto do Universo em que vivemos — a «nossa» Terra.

A Energia na Terra

A energia altera a sua forma um pouco como um actor no palco, não podendo ser destruída nem criada a partir do nada. Cada *quantum* de energia tem uma longa história que se estende até aos confins do passado mais remoto — justamente aos *primeiros instantes* do nosso Universo. A energia passa da componente *partícula* do Universo para a sua componente *fotónica* e vice-versa; pode ser transferida de um corpo para outro, mas o seu fluxo nunca pode parar.

Da nebulosa proto-solar o nosso planeta recebeu energia cinética (de translação e de rotação), energia nuclear (núcleos radioactivos, urânio para os reactores nucleares, hidrogénio para os reactores termonucleares que poderão construir-se no futuro), e também alguma energia gravitacional (que se transformou em calor com a progressiva contracção da Terra, e foi radiada para o exterior). O modo mais eficaz de extrair energia da matéria — através da aniquilação da matéria ou através da gravitação — está aqui praticamente ausente, uma vez que não há antimatéria na Terra e as forças gravíticas nunca poderão ser muito eficazes

para libertar energia, devido à reduzida massa do nosso planeta. A energia gravítica presente nas nossas barragens e albufeiras é apenas, e só, uma transformação da energia solar.

As fontes de energia próprias da Terra são o calor geotérmico e a energia de rotação da Terra. Para extrair algo significativo da energia nuclear armazenada no urânio e no hidrogénio, falta fazer ainda muita investigação, falta muita inteligência e, também, avultados investimentos adicionais. Se a Terra estivesse apenas dependente das suas fontes intrínsecas de energia, seria apenas um corpo gigantesco gelado, desértico, escuro e morto.

O inverso é que é verdadeiro: os astronautas e cosmonautas relatam que o nosso planeta azul é o corpo mais belo do Universo observável. A sua beleza decorre do intenso fluxo de fotões solares incidentes na Terra desde o seu nascimento, isto é, há mais de quatro biliões e meio de anos. A energia dos fotões vindos do Sol ilumina e aquece a Terra, transforma-se em energia *cinética* das correntes oceânicas, dos ventos na atmosfera e das ondas à superfície das águas; em energia *potencial* das núvens e dos rios, em energia *química* de todos os organismos na biosfera; cobre ainda a quase totalidade das necessidades energéticas da sociedade moderna, na maior parte na sua forma *fóssil*, como no carvão, no petróleo e no gás natural.

No Quadro I pretende-se sumariar todas as formas de energia existentes na Terra, fazendo a estimativa das respectivas quantidades, de quanto poderia vir a ser usado na prática para satisfazer as nossas necessidades energéticas, indicando ao mesmo tempo a energia que usamos actualmente, e qual a sua origem.

(*) Trabalho apresentado na Escola de Verão da União Astronómica Internacional para Jovens Astrónomos, Espinho, Setembro 1986; tradução de J. Bessa Sousa.

Quadro I — Energia no planeta Terra. Suas formas, quantidades existentes, utilizáveis e utilizadas; suas origens físicas.

Energia	Forma na Terra	Exemplos; aplicações	Quantidade (Energia ou potência existente)	Utilizável	Usada presentemente	Origem
Cinética	Rotação terrestre	Marés; centrais de marés	2×10^{29} J	$\ll 1$ TW	Insignificante	Turbulência da nebulosa protosolar
	Ventos	Moinhos de vento	10^{20} J	1–10 TW	Pouco	Energia solar
	Rios	Centrais e Geradores hidráulicos	9 TW	5 TW	0,9 TW	
	Ondas	Geradores experimentais	> 1 TW	$\ll 1$ TW	—	
Calor	Da Litosfera	Bombas de calor; en. geotérmica	9×10^4 TW	~ 1 TW	poucos GW	Energia solar, radioactivi- dade
	Da Hidrosfera	OTEC (usa gradientes de temperatura nos oceanos) (a)	100 TW	poucos TW	em desenvolvimento	Energia solar
Química	Biomassa	Combustíveis fósseis	$3,4 \times 10^{23}$ J	3×10^{22} J	7 TW	Energia solar
		Biosfera contemporânea	90 TW	10 TW	≤ 1 TW	Energia solar
Nuclear	Material de fissão (U, Th)	Centrais nucleares	Bilhões de tonela- das (b)	5×10^6 toneladas	0,09 TW 10^{12} J/kg 6×10^{13} J/kg (nos reactores de realimentação)	Explosões Supernova
	Cobustível termonuclear (D, T) (c)	Fusão nuclear (ainda na fase experimental)	«Combustão» dos oceanos	> 100 TW	> 100 TW	Estádio experimental
Fotões	Radiação solar incidente na Terra	A maior parte da energia na Terra	180 000 TW	> 100 TW	Use directo; em desenvolvimento	Energia solar
			(120 000 TW transformados)	20 TW	Use indirecto: vento, água ou biomassa	

Obs.: (a) OTEC significa Oceanic Thermal Energy Conversion; trata-se de uma máquina térmica de dimensões gigantescas que usa a diferença de temperatura entre a superfície e as águas profundas dos oceanos.

(b) Em cada tonelada de minério natural de boa qualidade há cerca de 2 g de U e 3 g de Th.

(c) Isótopos do hidrogénio: Deutério (D) e Trítio (T).

Como referência, mencionemos o consumo energético total da Humanidade em cada segundo: cerca de 8 TW, isto é, 8 bilhões de KW. Como há cerca de 4 bilhões de habitantes da Terra, isto significa a utilização média, em cada segundo, de 2 KW por cada um de nós ⁽¹⁾. Neste cenário, a importância da energia solar é evidente.

A energia e o homem

Para viver, o nosso organismo tem que receber energia, cerca de 2000-3000 kcal por dia, isto é, $\sim 8 \times 10^6$ J- 12×10^6 J por dia. Como há 86 400 segundos num dia, o nosso consumo médio de energia por segundo é cerca de 100-150 W, comparável ao consumo energético de uma lâmpada eléctrica. Nós recebemos a energia sob a forma de alimento, isto é, como energia química com origem na acção solar. O nosso organismo converte esta energia química em calor, em trabalho produzido por uma rede diversificadíssima de músculos, e parte dela é ainda utilizada para manter um elevado número de reacções químicas no nosso organismo. Do ponto de vista energético e material, o nosso organismo — e para o efeito qualquer organismo vivo em geral — constitui um sistema aberto: recebe do exterior *matéria* com *energia* (isto é, energia química), usa uma e outra, devolvendo-as ao exterior sob uma forma degradada.

A totalidade da população humana constitui um sistema aberto. Nas fábricas, transportes, agricultura e nas nossas casas, consumimos juntos, em cada segundo, cerca de 8 TW ou seja 2 KW per capita. Por outras palavras, utilizamos em média cerca de 16 vezes mais energia para o nosso bem-estar e conforto que o nosso próprio organismo! É útil referir que não só os nossos alimentos como a maioria das nossas fontes energéticas são, em essência, energia solar transformada.

A sociedade humana é um subsistema da biosfera terrestre. A porta de entrada da energia solar é a clorofila das plantas verdes, através do processo de fotossíntese. Trata-se de uma transformação da radiação solar (isto é, da energia dos fótons vindos do Sol) em energia

química, mais precisamente, em *energia de ligação* das moléculas. Da quantidade total de energia solar incidente em cada segundo no nosso planeta (isto é, 180 000 TW), apenas cerca de meio milionésimo entra, através da fotossíntese, na biosfera, isto é, cerca de 90 000 TW. Esta potência é cerca de uma ordem de grandeza superior às necessidades energéticas actuais da Humanidade em cada segundo. Apenas 1/10 do caudal energético que passa pela biosfera actual seria suficiente para cobrir todas as necessidades de energia da totalidade dos seres humanos existentes no nosso planeta. Neste sentido falamos em biomassa, biogás, bioconversão, etc. Por outro lado, o fluxo energético através da biosfera é renovável e praticamente inesgotável; a biosfera está a ser continuamente alimentada pelo processo da fotossíntese, com um caudal fotónico correspondente, em termos de energia, à passagem em cada segundo de 90 TW.

A energia que a Humanidade dirige, em cada segundo, para a sua indústria, transporte de mercadorias e passageiros, agricultura e consumos domésticos, situa-se hoje em 8 TW de potência *térmica* (1 TW de potência *eléctrica* corresponde aqui a 3 TW de potência *térmica*, uma vez que o rendimento da conversão do calor em electricidade é apenas de 1/3) ⁽²⁾. O fluxo de energia controlado pela Humanidade está, contudo, a crescer continuamente. Por um lado a população da Terra tem vindo a aumentar sem interrupção; por outro lado, tem-se verificado que o bem-estar e a qualidade de vida em cada país têm sido directamente proporcionais ao consumo energético dos seus cidadãos, per capita. Isto é o que dão as estatísticas da ONU. Por isso, não tem cessado de crescer, ao longo dos anos, a procura de mais energia e as pressões contínuas sobre as fontes de energia existentes.

(1) Mais precisamente, em cada segundo usamos 2 KJ de energia (*N. do tradutor*).

(2) A energia total conserva-se, obviamente; quando, numa máquina térmica, sai uma quantidade de calor Q_1 da fonte quente, só uma parte (Q_1-Q_2) é convertível em electricidade, sendo Q_2 a quantidade de calor cedida à fonte fria (*N. do tradutor*).

A contrastar com o incessante aumento da utilização da energia está o facto de as reservas mais utilizadas — carvão, petróleo, gás natural — serem extremamente limitadas. Estas reservas seriam sobretudo muito mais úteis para a indústria química do que «gastas» na produção de certas formas de energia. Procuram-se por isso novas fontes energéticas, tornando-se claro, pela simples observação do quadro I, que a energia nuclear poderia cobrir todas as necessidades energéticas futuras da Humanidade: quer sob a forma de energia nuclear libertada pelo homem à superfície da Terra, quer sob a forma de energia termonuclear libertada pelo Sol no seu interior. Ambas são energia nuclear — isto é, energia libertada da matéria pelas forças nucleares — embora haja uma grande diferença na forma como aparece a energia libertada: dos reactores nucleares na Terra nós recebemos calor, enquanto do reactor termonuclear perfeito — como é o Sol — recebemos luz, que é uma forma extremamente nobre de energia (ou de alta qualidade). Analisemos por isso esta energia solar, nas suas propriedades e nos diferentes modos da sua utilização.

Energia solar

O Sol liberta a sua energia através das forças nucleares actuando no plasma de elevada massa volúmica e temperatura (10^2 g cm^{-3} e $13\,000\,000 \text{ K}$, respectivamente) existente na sua região central. Por exemplo, através das colisões, quatro prótons podem acabar por fundir-se a estas temperaturas tão elevadas, formando então uma *partícula alfa*, isto é, um núcleo de hélio. Em cada segundo ocorrem no Sol cerca de 10^{38} destas *fusões nucleares*, cada uma libertando a energia de ligação de uma partícula α — isto é, 28 MeV . A energia total libertada pela conversão de 500 milhões de toneladas de hidrogénio por segundo é de $3,8 \times 10^{26} \text{ J. s}^{-1}$, isto é, corresponde a uma potência de $3,8 \times 10^{26} \text{ W}$. Esta energia por segundo é emitida pela superfície solar para o espaço cósmico, designando-se por *luminosidade solar*. É emitida sob a forma de fotões (sobretudo fotões correspondentes à luz visível),

em todas as direcções do espaço. Apenas uma fracção extremamente pequena desta energia incide, em cada segundo, no distante e pequeno planeta Terra, mais concretamente, cerca de $1,8 \times 10^{17} \text{ W}$ ou $180\,000 \text{ TW}$.

Que acontece com a quantidade de energia, apesar de tudo elevadíssima, que atinge a Terra em cada segundo? Cerca de $1/3$ é constantemente reflectida e difundida de novo para o espaço cósmico, sem ter interferido de modo significativo em qualquer processo ao nível da Terra. Cerca de $2/3$ da energia são conjuntamente absorvidos pela atmosfera (19%) e pelas superfícies sólida e líquida da Terra (47%), convertendo-se em calor. Sem esta conversão o nosso planeta seria um fósil gelado e morto, coberto de ar solidificado e de gelo. Por último, como vimos atrás, cerca de 90 TW da potência recebida do Sol entra na biosfera, através da fotossíntese.

A radiação solar absorvida pelo solo, água, ar e plantas verdes origina movimento, animação e vida (no sentido lato) em tudo o que existe na Terra. Por exemplo, o calor é transformado em energia cinética dos ventos, a uma taxa de cerca de 1000 TW , que é por sua vez transformada em calor através da fricção com a superfície da Terra e através dos fenómenos de turbulência. A energia total contida nos ventos à superfície do nosso globo é cerca de 10^{20} J . O calor é também parcialmente convertido em energia potencial gravítica nas núvens, em energia cinética dos rios, das correntes oceânicas, etc. A conversão energética na biosfera é muito mais complicada apesar de a energia que passa em cada segundo para a biosfera (90 TW) ser menor que, por exemplo, a energia que é convertida, nesse período, nos ventos (da ordem de 10^3 TW).

Quaisquer que sejam as transformações da energia solar na Terra, o seu destino final é sempre o mesmo: *radiação infravermelha* (isto é, radiação térmica) emitida pela Terra para o espaço exterior. O nosso planeta é assim um transformador gigantesco de energia, que degrada em cada segundo $120\,000 \text{ TW}$ de radiação solar (de elevada qualidade, isto é, baixa entropia) em $120\,000 \text{ TW}$ de radiação

infravermelha, com comprimentos de onda máximos de cerca de 10 μm (isto é, energia de baixa qualidade, com uma entropia elevada). A biosfera e o homem em particular, reduzem um pouco a taxa desta degradação, isto é, o aumento generalizado da entropia ⁽³⁾. Para sermos mais específicos, a biosfera em geral e a humanidade em particular não «consomem» energia ⁽⁴⁾, mas apenas a usam, degradando-a nesse processo.

A energética solar

A energia solar, isto é, a energia trazida do Sol pelos fotões, tem de ser convertida noutras formas, formas úteis, como o calor para aquecimento, a electricidade, a energia utilizada nas máquinas, ou a energia química [2-5].

Nos países tropicais há extensas regiões com muita insolação diária e sem importância económica digna de registo em qualquer outro aspecto. Consideremos, por exemplo, 1 milhão de km^2 de deserto, fazendo notar que há cerca de 22 milhões de km^2 de desertos na Terra sem qualquer uso prático até agora. As regiões tropicais recebem em média, e por segundo, cerca de 210 W-420 W por cada m^2 de superfície. Para concretizar, tomemos 250 W por cada m^2 . Com um rendimento de apenas 20 % na transformação da energia solar (fotões) noutra forma de energia (por exemplo, electricidade ou energia química), 1 m^2 produzirá, em cada segundo, 50 W. Em cada segundo, uma superfície de 1 milhão de km^2 — que é menos de 1 % da área total dos desertos — produziria 50 TW, que é mais do que suficiente para cobrir todas as necessidades da Humanidade em matéria de energia.

Porque não nos voltamos então exclusivamente para a energia solar? Porque a concepção e instalação em grande escala do equipamento conversor da radiação solar em electricidade ou energia química não é uma tarefa simples nem fácil. Necessita-se, em particular, de uma colaboração internacional de grande envergadura, envolvendo necessariamente muitos cientistas e técnicos. Levará pelo menos meio século antes que a energia solar

tenha uma utilização em larga escala, como fonte energética dominante. Devemos recordar, a propósito, que a introdução do carvão, do petróleo e do gás natural como fontes energéticas em grande escala também levou um período de tempo comparável, antes de se imporem no domínio da energética.

A energia solar tem naturalmente grande simpatia entre os ecologistas. Enquanto os combustíveis fósseis e nucleares poluem o ambiente, a energia solar não o faz. A energia solar é, não só *pura*, como *grátis*, pois não temos de pagar para a ter no nosso meio. É também uma energia *renovável*, sendo a quantidade de hidrogénio existente no núcleo do Sol suficiente para manter a luminosidade solar nos próximos 10 biliões de anos.

A potência fantástica de 1 800 000 TW vinda do Sol é mais que vinte mil vezes superior às necessidades actuais da Humanidade. Fará sentido falar em crise energética? Em termos fósseis sim, mas eles não constituem a única fonte de energia na Terra! Falar em crise energética no contexto do gigantesco fluxo de energia oferecido pelo Sol acaba por não ter, de facto, qualquer sentido e objectividade. A análise atenta do quadro I coloca na devida perspectiva o potencial energético relativo dos combustíveis fósseis.

⁽³⁾ Como entidades organizadas, os seres vivos representam uma economia de entropia na região por eles ocupada (*N. do tradutor*).

⁽⁴⁾ Não é possível «consumir energia» — isto é, parar a cadeia das suas transformações — pois tal violaria a *lei da conservação da energia*. O termo «consumir energia» é contudo usado, e todos conhecemos sem ambiguidade o seu significado.

BIBLIOGRAFIA

- [1] J. KLECZEK, *Gazeta de Física*, **10**, 47 (1987).
- [2] *Solar Energy*, revista sobre Ciência e Tecnologia da Energia Solar; publicação da Int. Solar Energy Society, Pergamon Press.
- [3] *Natural Resources Forum*; publicação da ONU, Reidel, Dordrecht, Holland.
- [4] IIASA Publications, Int. Institute for Applied System Analysis, Laxenburg, Áustria.
- [5] *Geliotecnika*, revista sobre a utilização da energia solar; Academia das Ciências da USSR (existe tradução para inglês, USA).