

O arrefecimento progressivo do Universo permitiu primeiro a estabilização de prótons e neutrões, depois a formação de átomos e de moléculas e só depois a vida. E a vida só evoluiu porque foram aparecendo mecanismos cada vez mais sofisticados para converter e armazenar formas de energia que são fundamentais para as funções biológicas.

ALEXANDRE QUINTANILHA
Instituto de Biologia Molecular e Celular
Rua do Campo Alegre, 823
4150-180 Porto

alexq@ibmc.up.pt

A ENERGÉTICA

Se não fosse possível converter um tipo de energia noutra, as estrelas não brilhavam, não havia terremotos, o clima não variava, a vida não existia e as civilizações não evoluíam.

Para estudar e compreender estes mecanismos de conversão de energia e as principais fontes energéticas do nosso planeta, os físicos, engenheiros, geólogos, biólogos, sociólogos e políticos usam várias unidades de medida: o joule (J), a caloria (cal) ou o barril de petróleo¹.

Todos aqueles que se preocupam minimamente com a sua própria alimentação, ou com a eficiência energética do seu automóvel ou de uma arca frigorífica já tiveram oportunidade de analisar o valor calórico das bolachas que comem, o consumo médio do novo modelo da sua marca favorita, ou o símbolo representativo da eficiência do seu electrodoméstico.

É frequente, nos dias que correm, ouvirmos os economistas fazerem previsões cada vez mais pessimistas à medida que o preço do petróleo aumenta. A energia nuclear voltou a ser discutida como alternativa em muitos países até porque retardaria a alteração climática que muitos prevêem para as próximas décadas.

Apesar de ser relativamente fácil definir quantitativamente o que é um joule ou uma caloria², é difícil responder à pergunta: o que é energia? Não passa no fundo de um conceito abstracto inventado no século XIX, que permitiu descrever quantitativamente uma enorme variedade de fenómenos.

Para além da famosa equação $E=mc^2$ que traduz a equivalência entre massa e energia, muitos de nós temos noções relativamente pouco claras sobre o funcionamento do Uni-

DA VIDA



Enxame de galáxias.

verso. Sabemos que o movimento das galáxias e da Terra à volta do Sol assim como a existência de uma atmosfera que não se dilui no espaço só é possível pela existência da energia gravítica. Que é a energia nuclear do Sol a principal responsável pela luz que ele emite. Que uma parte dessa energia chega ao nosso planeta e que, juntamente com a energia geotérmica é a responsável pelo movimento da nossa atmosfera, dos oceanos e das placas tectónicas. Que uma percentagem muito pequena dessa energia é utilizada por bactérias e plantas para crescerem e armazenarem vários tipos de energia bioquímica. Que uma parte dessa energia armazenada se converte em alimentação para seres vivos e outra é lentamente transformada nas fontes de energia fóssil que consumimos. E que essa energia fóssil, armazenada durante milhões de anos, tornou possível a Revolução Industrial e os desenvolvimentos tecnológicos a que nos fomos habituando.

Mas, frequentemente, ignoramos os valores envolvidos e a eficiência destes mecanismos. E mesmo sabendo que os sistemas vivos, por serem sistemas abertos, que importam e exportam energia, e por isso se mantêm em desequilíbrio termodinâmico, temos dificuldade em conceber como foi possível evoluir para a complexidade biológica que nos rodeia. Isto quando, pela Segunda Lei da Termodinâmica, sabemos que em qualquer conversão de energia se perde a possibilidade de fazer trabalho útil.

Em relação aos valores é difícil aceitar a ideia de que a quantidade de energia produzida por unidade de tempo e por unidade de massa do Sol (aproximadamente³ 200 nW/g) quando comparada com o metabolismo de certas bactérias (que podem chegar a valores de 100 W/g) é 500 milhões de vezes inferior!

A maior parte da energia usada pelo ser humano serve unicamente para manter concentrações de potássio elevadas dentro das células, ao mesmo tempo que se mantêm baixas as concentrações de sódio. Para conseguir isso existem “bombas” de sódio e potássio nas membranas celulares que, por cada três iões de sódio (Na^+) que bombeiam para o exterior da célula, bombeiam simultaneamente dois iões de potássio (K^+) para o seu interior. Como seria de prever, este mecanismo resulta na criação de um gradiente eléctrico entre o interior e o exterior das células da ordem dos 90 mV (negativos no interior). Se pensarmos que durante a evolução, as primeiras células vivas apareceram nos oceanos, compreende-se que este mecanismo de exclusão do sódio possa ter servido para criar um ambiente intracelular (muito K^+ e pouco Na^+) diferente do extra celular (muito Na^+ e pouco K^+).

Para manter estes gradientes iónicos as células consomem energia. A energia que consomem está na forma de adenosina trifosfato (ATP). As células produzem e consomem energia nesta pequena molécula que consegue armazenar aproximadamente 30 kJ por mole. O ATP é a “moeda” principal para a grande maioria dos processos celulares que envolvem trocas de energia.

Os mecanismos envolvidos na síntese do ATP e na sua utilização são muito semelhantes na maioria dos seres vivos, mesmo naqueles que vivem em ambientes anaeróbicos. Esta afirmação reforça a ideia de que, durante a evolução da vida, quando se encontram soluções eficientes, estas são retidas.

No entanto, o aparecimento do oxigénio molecular (O_2) na atmosfera foi fundamental para que os mecanismos de conversão da energia contida nos alimentos que os seres vivos armazenam em ATP se tornassem mais eficientes.

Ninguém sabe exactamente quando apareceu o oxigénio na atmosfera. Suspeita-se que tenha sido quando apareceu a fotossíntese. A capacidade bioquímica de usar luz visível para simultaneamente produzir oxigénio a partir da molécula de água e consumir o hidrogénio resultante para a fixação do CO_2 na síntese de açúcar, deve ter sido uma das “histórias de maior sucesso” da evolução. Não só porque reduziu a concentração do CO_2 na nossa atmosfera para concentrações (tão baixas) que permitiram a descida da temperatura atmosférica para valores próximos dos actuais⁴. Outra das consequências do oxigénio atmosférico foi a sua conversão em ozono com os conhecidos efeitos protectores em relação à radiação ultravioleta (vinda do Sol). Curiosamente o aparecimento do oxigénio deve ter também causado uma das mais importantes extinções da história do nosso planeta. Como oxidante, o oxigénio, na ausência de defesas apropriadas (moléculas e enzimas antioxidantes) e de mecanismos de reparação eficazes, pode ser altamente tóxico. Não é difícil imaginar que a maioria dos seres vivos não teria tais defesas na altura em que o oxigénio apareceu na atmosfera e que por isso tenham sido extintos.

Há muito tempo que os investigadores procuram compreender o processo fotoquímico que utiliza a energia contida em fotões de cor vermelho azulado para “partir” a molécula de água. Mais interessante é que o mecanismo envolvido consegue “partir” duas moléculas de água e ao mesmo tempo evitar a libertação de oxigénio atómico que é altamente tóxico. Retirar simultaneamente quatro electrões e quatro protões de duas moléculas de água permitindo que os dois átomos de oxigénio formem “imediatamente” oxigénio molecular foi possível colocando no sítio “activo” da reacção molecular quatro átomos metálicos, cada um deles capaz de receber um electrão e depois dirigi-lo para a cadeia fotossintética de transporte de electrões. O modo como os quatro fotões “preparam” (oxidam) os quatro átomos metálicos de modo a que eles possam aceitar os electrões continua a ser um mistério. Estes electrões são subsequentemente usados para “converter” (reduzir) moléculas de CO_2 em glucose. Para produzir uma molécula de glucose, partindo de seis moléculas de CO_2 , são necessários 60 fotões.

Conhecendo a energia armazenada numa mole de glucose (2,8 MJ) e o facto de apenas 40 % da energia luminosa incidente ser azul-avermelhada, é possível calcular a eficiência máxima (sem perdas) deste processo. Anda pelos 11 %. Imaginem que a engenharia genética conseguia aumentar este número!

Os animais, incluindo o homem, não são capazes de converter fotões em açúcar. Mas são capazes de usar açúcares e outros nutrientes para sintetizar o ATP de que necessitam. O ATP é essencial para a fábrica metabólica dessas células.



Abundância de vida num parque natural.

A síntese de quase todo o ATP envolve o consumo de oxigénio, fechando assim o ciclo. As plantas usam energia solar para produzir açúcar e oxigénio e os animais consomem açúcar e oxigénio para produzirem energia utilizável pelas células. Esta descrição está obviamente simplificada. As plantas também precisam de ATP sendo que uma parte desse ATP também envolve o consumo de oxigénio enquanto outra utiliza directamente a energia solar. Isto para não falar também em microorganismos que usam estes e outros mecanismos.

No interior das células quase todo o processo de oxidação progressiva de glucose em CO_2 e da conversão de oxigénio novamente em água é da responsabilidade de pequenos organelos intracelulares denominados mitocôndrias. A semelhança estrutural entre estas mitocôndrias e bactérias é tão grande que a maioria dos biólogos aceita a teoria simbiótica sobre a origem destes organelos celulares.

Na matriz interior da mitocôndria estão localizadas enzimas que, a pouco e pouco, vão oxidando a glucose e produzindo CO_2 .

Assim enquanto as plantas fixam CO_2 e produzem oxigénio em organelos celulares denominados cloroplastos, tanto os animais como as plantas consomem oxigénio e produzem CO_2 nas mitocôndrias. Estes mecanismos envolvem moléculas que transportam electrões e protões criando gradientes de carga que, por sua vez, são utilizados na síntese do ATP.

Para dar uma ideia mais quantitativa destes mecanismos de conversão de energia, dos aproximadamente 7×10^{21}

joules/dia de energia solar que atingem a Terra só 7×10^{17} joules/dia (0,01%) são convertidos em alimentação. Se a população inteira do planeta se alimentasse como os portugueses, que consomem perto de $15,5 \times 10^6$ joules/dia, mas fosse vegetariana o planeta poderia sustentar uma população sete vezes superior à actual.

No entanto, uma vez que não somos vegetarianos, e sabendo que são necessários 10-40 kg de grão para produzir 1kg de carne, torna-se claro que estaremos perto de uma situação quase insustentável. Muitos são os que desejariam que a fotossíntese fosse mais eficiente e que os problemas da falta de água e da fertilização excessiva dos solos fossem resolvidos. Estes serão certamente desafios importantes para a ciência nas próximas décadas.

Outro aspecto fascinante da evolução do nosso planeta está relacionado com a importância da camada de ozono protectora que nos envolve. Sem oxigénio não teríamos ozono, e sem ozono estaríamos sujeitos à radiação ultravioleta que, apesar de reduzida, nos chega da nossa estrela. Essa radiação tem exactamente a energia suficiente para quebrar a maioria das ligações atómicas⁵ das moléculas que os seres vivos sintetizam. Um pouco menos de ozono, e seríamos expostos a radiações capazes de destruir proteínas, lípidos e, talvez mais importante ainda, o DNA.

É extraordinário pensarmos que a fotossíntese não só conseguiu reduzir o CO_2 na nossa atmosfera como aumentou a concentração de oxigénio (tornando as conversões de energia bioquímicas muito mais eficientes) como ainda permitiu a estabilidade de moléculas importantes à vida, ao impedir a entrada de radiação ultravioleta na nossa atmosfera.

A vida só evoluiu porque foram aparecendo mecanismos cada vez mais sofisticados para converter e armazenar formas de energia que são fundamentais para as funções biológicas.

O mesmo se poderia dizer relativamente ao universo. O arrefecimento progressivo desde o *Big Bang* permitiu primeiro a estabilização de prótons e neutrões depois a formação de átomos seguida de moléculas e só depois a vida. Estou convencido que este processo ocorreu em várias partes do Universo simultaneamente...

NOTAS

¹ Um barril de petróleo contém 6 GJ de energia armazenada ($6 \text{ GJ} = 6\,000\,000\,000 \text{ J}$).

² Um joule é a energia necessária para deslocar um quilograma ao longo de um metro com a aceleração de 1 m s^{-2} . Uma caloria é a quantidade de energia (calor) necessária para aumentar de $1 \text{ }^\circ\text{C}$ a temperatura de um grama de água (inicialmente a $14,5 \text{ }^\circ\text{C}$). Uma caloria equivale a 4,18 joules.

³ Um watt (W) corresponde a um consumo de energia de um joule por segundo. Um adulto humano seria equivalente a uma lâmpada de aproximadamente 80 W. Infelizmente nem todas essas lâmpadas “iluminam” com a mesma “qualidade”!

⁴ Sem a fotossíntese a temperatura no nosso planeta andaria pelos $300 \text{ }^\circ\text{C}$.

⁵ Estas energias são da ordem dos 5-10 eV por ligação. A luz visível é constituída por fotões que estão logo abaixo deste limiar de energia.