



# **ASTROBIOLOGIA UMA CIÊNCIA EMERGENTE**



**ORGANIZAÇÃO:  
DOUGLAS GALANTE  
EVANDRO PEREIRA DA SILVA  
FABIO RODRIGUES  
JORGE E. HORVATH  
MARCIO G. B. DE AVELLAR**

# ORIGEM DA VIDA

---

## CAPÍTULO 6

Douglas Galante e Fabio Rodrigues

Nosso conhecimento moderno sobre a vida no planeta tem como base, em grande parte, o trabalho de Charles Robert Darwin, em especial *A origem das espécies*. Este livro é a compilação de um extenso trabalho de coleta de dados e reunião de evidências que comprovaram a ocorrência do que hoje chamamos evolução darwiniana, na qual os organismos vivos são resultado de um longo processo de modificação aleatória e herança.

Apesar de ser um dos mais importantes fatos científicos da história, comprovado por inúmeros dados experimentais, a evolução darwiniana não trata, a princípio, do problema da origem da vida em si, ao qual Darwin se refere brevemente: “[...] devo inferir por analogia que, provavelmente, todos os seres orgânicos que já viveram na Terra descendem de uma forma primordial, na qual a vida uma vez se baseou”\* (Tradução nossa).

---

\* “[...] I should infer from analogy that probably all organic beings which have ever lived on this Earth have descended from some one primordial form, into which life was first breathed.”

Darwin volta a essa questão em uma carta a seu amigo Joseph Dalton Hooker, datada de 1 de fevereiro de 1871, no célebre parágrafo:

“[...] é comumente dito que todas as condições para a primeira produção de um ser vivo estão presentes agora, e podem ter sempre estado presentes. Mas se (e, oh, um grande se) nós pudéssemos conceber, em uma pequena poça quente, com todo tipo de sais de amônia e sais fosfóricos – com luz, calor, eletricidade etc. presentes –, que um composto proteico se formasse, pronto para sofrer mudanças ainda mais complexas, no presente ele seria rapidamente devorado ou absorvido, o que não teria sido o caso antes das criaturas vivas terem se formado”\*\* (Tradução nossa).

Ou seja, Darwin concebia um cenário químico na Terra primitiva para a origem da vida, gradual e envolvendo o aumento de complexidade, e sabia que esse poderia ser o ponto de partida para a Evolução, porém deixou claro que o processo de origem ainda não era claro, mas que deve ter ocorrido ao menos uma vez na Terra, ou fora dela. Há discussões se a vida surgiu mais de uma vez em nosso planeta, de maneira independente e com diferentes características, mas, pelo que observamos hoje, mesmo que isso tenha acontecido, apenas uma forma de vida sobreviveu, e, mesmo que eventos de origem estivessem acontecendo agora, esses novos seres provavelmente seriam rapidamente devorados pelos organismos existentes e já bem adaptados ao ambiente.

Na verdade, a busca pela origem da vida é muito mais antiga que Darwin, estando intimamente ligada à compreensão de nosso

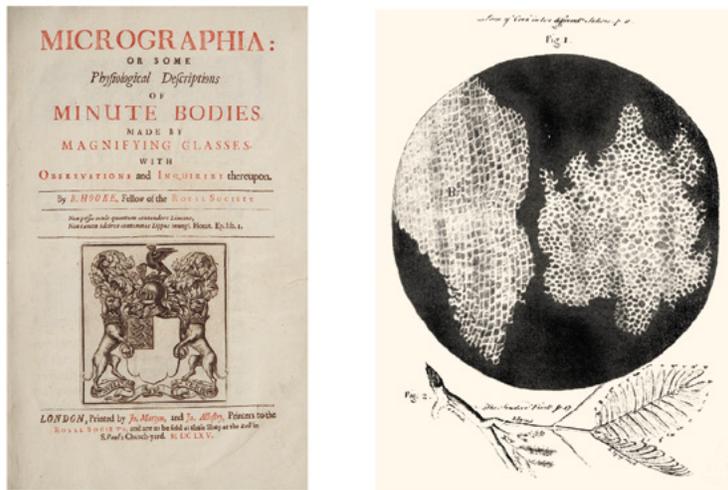
---

\*\* “[...] it is often said that all the conditions for the first production of a living being are now present, which could ever have been present. But if (and oh what a big if) we could conceive in some warm little pond with all sort of ammonia and phosphoric salts, – light, heat, electricity present, that a protein compound was chemically formed, ready to undergo still more complex changes, at the present such matter would be instantly devoured, or absorbed, which would not have been the case before living creatures were formed.”

lugar no mundo. Praticamente todas as civilizações humanas possuem mitos de cosmogonia, os quais tentam explicar a origem do Universo e dos seres vivos.

No Ocidente, a mitologia grega é repleta de histórias de criação, baseadas em seu panteão de deuses. Essas histórias foram compiladas por volta do ano 700 a.C. por Hesíodo e descreviam o nascimento dos deuses e, posteriormente, da humanidade, a partir do caos primordial. Posteriormente, Aristóteles (384-322 a.C.) foi um dos primeiros pensadores a formular uma teoria natural sobre a origem da vida, na qual organismos vivos complexos poderiam surgir a partir de matéria inanimada – pulgões a partir do orvalho de plantas, moscas de matéria em estado de putrefação, ratos de feno, crocodilos de toras podres etc. Essas ideias, uma forma primitiva da teoria de abiogênese, foram popularizadas e cristalizadas no pensamento ocidental, permanecendo, com os mitos criacionistas religiosos, como o modelo padrão para a origem da vida.

No entanto, os avanços técnicos no século XVII e o desenvolvimento da ciência experimental aumentaram o conhecimento sobre os mecanismos de funcionamento da vida e iniciaram uma série de críticas ao senso comum e ao mito popular em torno da abiogênese. A descoberta do mundo microscópico, incluindo suas formas de vida, impulsionou esse conhecimento e foi possível graças ao desenvolvimento do microscópio ótico por Robert Hooke. Seu trabalho resultou na publicação dos primeiros desenhos de objetos de escala microscópica, em 1665, em especial, a primeira identificação de que os organismos vivos são compostos de células, termo cunhado pelo próprio Hooke (Figura 6.1). Anton van Leeuwenhoek continuou seu trabalho e fez os primeiros desenhos de micro-organismos, mostrando que a vida estava presente mesmo nessas escalas. No entanto, a observação de micro-organismos ainda deixava espaço para a interpretação abiogênica, uma vez que não se compreendia corretamente a reprodução desses seres, que pareciam surgir da matéria inanimada, enquanto estavam realizando reprodução assexuada.



**Figura 6.1.** Livro contendo as primeiras imagens microscópicas publicadas, feitas com o microscópio desenvolvido por Hooke. À direita está representado seu desenho da cortiça, com a primeira descrição das células biológicas. Fonte: <http://catalogue.wellcomelibrary.org/>

A primeira evidência sólida contra a geração espontânea viria alguns anos depois, em 1668, com os famosos experimentos feitos por Francesco Redi, os quais demonstraram que as larvas que cresciam na carne não surgiam espontaneamente, como se acreditava, mas eram resultado de moscas terem depositado ovos no alimento desprotegido. A conclusão, tida como geral na época, é que toda a vida precedia de vida, ou seja, a teoria da biogênese.

Lazzaro Spallanzani, na Itália, em 1768, mostrou que micro-organismos estavam presentes no ar e que podiam ser eliminados com a fervura da água, abrindo caminho para o trabalho de Louis Pasteur. Na França do século XIX, Pasteur conduziu uma série de experimentos que demonstraram que os micro-organismos responsáveis pela fermentação e degradação de alimentos, como leite e cerveja, provinham de contaminação do ambiente. Uma vez que essa contaminação era evitada, o alimento mantinha-se intacto, e essa foi tida como uma das mais fortes demonstrações de que o processo de geração espontânea, ou abiogênese, não ocorria.

Juntamente com o alemão Robert Koch, Pasteur foi considerado o pai da microbiologia, fornecendo os subsídios para diversos processos de esterilização e assepsia, o que impulsionou ramos da preservação de alimentos e da medicina. Desse momento em diante, a microbiologia desenvolveu-se rapidamente para desvendar a riqueza de uma biodiversidade antes desconhecida de nosso planeta, baseando-se no princípio de que a vida precede de vida. A teoria da origem abiótica parecia descartada.

No entanto, uma vez que sabemos que nosso planeta não é eterno, tendo se formado há cerca de 4,6 bilhões de anos (Patterson, 1956), não podemos estender o conceito da biogênese indefinidamente ao passado – em algum momento, deve ter ocorrido um evento singular, no qual o primeiro ser vivo se formou, e do qual todos os outros seres seriam descendentes. Uma alternativa a essa lógica é a teoria da panspermia (Melosh, 1988), que coloca como possibilidade a vida em nosso planeta ter tido origem extraterrestre, podendo assim ser mais antiga que a própria Terra, mas não eliminando a necessidade de ter surgido em algum ponto do Universo, uma vez que também passou por um processo evolutivo, não tendo sido sempre capaz de abrigar seres vivos. Essa teoria foi adotada por diversos cientistas ao longo da história, incluindo Hermann von Helmholtz (pela sua teoria de “cosmozoa” – micróbios vindo do espaço), Lord Kelvin, um grande opositor da teoria evolucionista, e, mais recentemente, Fred Hoyle e Chandra Wickramasinghe (1999). Até o momento, não há nenhuma evidência comprovada de que esse fenômeno de fato ocorre, apesar de vários experimentos mostrarem que micro-organismos seriam capazes de sobreviver a uma viagem espacial (Abrevaya, 2011).

Com a limitação da teoria da biogênese, requerendo ao menos um ponto singular no tempo e espaço (a própria origem da vida), seja na Terra ou fora dela, a teoria abiótica voltou a ser considerada pela ciência moderna. A visão transformista, na qual a matéria não viva tem chances de se tornar viva, pode ser ligada a Erasmus Darwin, Georges Louis Leclerc conde de Buffon e, especialmente,

Jean-Baptiste de Lamarck, o qual, em 1809, já propunha um processo de geração espontânea físico-químico, usando os nutrientes e fontes de energia disponíveis na Terra primitiva (Lazcano, 2010). Darwin se baseou nas ideias de seus predecessores, culminando com o conceito de “sopa primordial” descrito em sua carta a Hooker. No entanto, a ausência de maiores tentativas de explicar a origem da vida por Darwin espantou muitos de seus amigos e seguidores, como Haeckel, que apontou essa como uma das maiores falhas em *A origem das espécies* (Haeckel, 1862). Apesar disso, o conceito exposto por Darwin de uma origem química e gradual da vida formou a base para os estudos posteriores.

O desenvolvimento paralelo da área da química orgânica, no início do século XIX, forneceu os subsídios para o estudo da química prebiótica. No entanto, Berzelius, um de seus fundadores, afirmou em 1827 que não seria possível combinar matéria inorgânica de maneira a criar a matéria viva. Apesar disso, um ano após essa afirmação, seu amigo e antigo aluno Friedrich Wöhler mostrou que a ureia (componente da urina) poderia se formar pelo simples aquecimento de cianeto de amônia, em um processo totalmente abiótico, “sem a presença de um rim animal” (Leicester, 1974). Uma nova área de pesquisa havia nascido. Em 1850, Adolph Strecker sintetizou alanina, um aminoácido, a base das proteínas, e, posteriormente, Alexander M. Butlerov sintetizou açúcares, a base dos carboidratos e principal fonte de energia dos seres vivos.

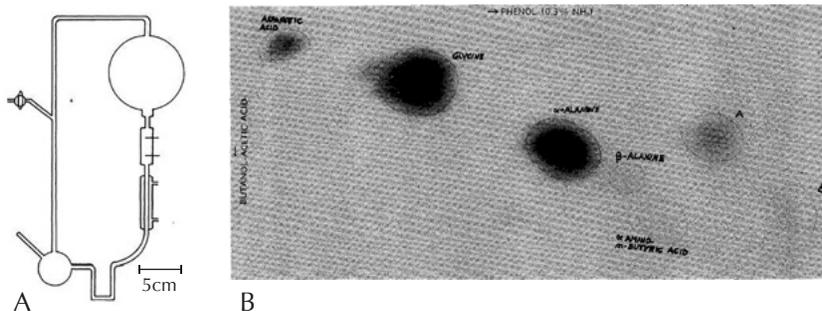
Moléculas orgânicas ainda mais complexas foram sintetizadas com o tempo. Em 1877, Mendeleev foi capaz de formar hidrocarbonetos a partir de precursores simples, mostrando a origem de lipídios. Ao final do século XIX, muitos experimentos já mostravam a possibilidade de síntese de ácidos graxos e açúcares por meio de descargas elétricas em misturas gasosas. No início do século XX, Walther Löb, Oskar Baudisch e outros descreveram a síntese de aminoácidos a partir de formamida e água sob luz ultravioleta e descargas elétricas (Bada; Lazcano, 2003). Esses experimentos, no entanto, não eram realizados com o intuito de simular as

condições descritas por Darwin, de Terra primitiva, mas eram um esforço puro para a compreensão da química dessas reações.

Em novembro de 1923, a teoria da síntese química da vida, em um cenário realista, é revisitada pelo russo Aleksandr Ivanovich Oparin, com a publicação do livro *A origem da vida*. Para o biólogo e químico russo, a geração espontânea combatida por Pasteur e seus predecessores de fato não poderia acontecer nas condições atuais no planeta, mas deve ter sido possível ao menos uma vez no passado, quando as características físico-químicas eram tais que a sopa primordial proposta por Darwin poderia ter se formado. A proposta era que seria necessário uma atmosfera sem oxigênio – na verdade, essa hipótese só é incluída na segunda edição de seu livro (Oparin, 1938) – combinada à ação da luz solar, o que provocaria reações que não apenas gerariam moléculas orgânicas, mas induziriam sua complexificação até que se formassem coacervados, ou seja, aglomerados proteicos que seriam capazes de se reproduzir de maneira primitiva por fissão, tendo assim um metabolismo primitivo que garantiria sua continuidade e diversificação. Em 1929, antes da tradução do trabalho de Oparin para o inglês, John Burdon Sanderson Haldane publicou uma teoria análoga, na qual os oceanos primitivos funcionaram como uma sopa quente e diluída, onde a matéria viva evoluiu a partir de moléculas autorreplicantes.

Alguns anos depois, em 1953, Stanley Miller, aluno de Harvey Urey na Universidade de Chicago, realizou um experimento baseado nas ideias de Oparin e Haldane, simulando uma atmosfera redutora como se acreditava ser a da Terra primitiva, tendo como fonte de energia descargas elétricas – experimento que ficou conhecido como o de Miller-Urey (Figura 6.2A). Depois de uma semana em funcionamento, o grupo reportou a produção de aminoácidos de forma completamente abiótica (Miller, 1953) (Figura 6.2B), e, em uma reanálise das amostras feitas em 2007, com técnicas modernas, após a morte de Miller, mostrou-se que mais de 20 tipos dessas moléculas básicas da vida haviam sido produzidas (Johnson, 2008). Pela primeira vez, um experimento havia

vido desenhado explicitamente para tentar simular as condições de Terra primitiva, e obtido, com sucesso, moléculas tidas como biológicas. Foi um marco importante para a química prebiótica, a qual iniciou uma nova fase experimental.



**Figura 6.2.** (A) Modelo do reator de descargas elétricas usado no experimento de Miller-Urey e (B) resultados originais de cromatografia em papel separando alguns dos aminoácidos produzidos após uma semana de simulação (Miller, 1953)

No entanto, o experimento de Miller usou uma atmosfera que hoje sabemos não ser a melhor análoga à atmosfera primitiva global terrestre, que deve ter tido uma composição menos redutora (Kasting, 1993). Em condições mais realistas, o experimento não produz as moléculas prebióticas. No entanto, vários cenários alternativos foram propostos na Terra primitiva, quando a presença de gases redutores poderiam promover as reações químicas necessárias para a produção dos aminoácidos, como os gases expelidos em erupções vulcânicas, as chamadas “plumas vulcânicas” (Parker et al., 2011). Dessa maneira, é possível que, em alguns pontos do planeta, verdadeiros reatores estivessem em funcionamento, produzindo moléculas que, mais tarde, se complexificariam até o ponto de formar sistemas vivos.

Sabemos que a vida como a conhecemos é composta de macromoléculas, ou seja, grandes moléculas formadas por subunidades menores. Alguns exemplos são os ácidos nucleicos, formados por nucleotídeos; as proteínas, formadas por aminoácidos e os carboidratos, formados por açúcares. A passagem de monômeros para

polímeros é essencial para a função dessas diferentes macromoléculas, pois a sequência dos monômeros define a conformação tridimensional (que define a atividade catalítica das enzimas, por exemplo) e a informação que ali está armazenada (no caso dos ácidos nucleicos). Sidney Fox mostrou que essa passagem é possível em diferentes condições, realizando, nos anos 1950 e 1960, uma série de experimentos na qual revelou que aminoácidos, quando secos a partir de uma solução ou aquecidos, poderiam se combinar em estruturas maiores, às vezes lineares, às vezes globulares, que ele chamou de “proteínoides”, os quais acreditava serem os precursores das células atuais (Fox, 1960; Fox; Dose, 1979).

O cenário científico até o momento caminhava para um consenso de que as moléculas básicas para a vida poderiam se formar por reações químicas simples, em um cenário análogo ao existente na Terra primitiva. Uma alternativa é que essas mesmas moléculas poderiam se formar no ambiente espacial e serem trazidas para a Terra por cometas e meteoros. Cálculos mostram que a quantidade de material orgânico produzido na Terra e trazido de fora dela podem ter sido equivalentes (Chyba; Sagan, 1992), e, provavelmente, ambos os processos aconteceram simultaneamente e de maneira complementar. Essas moléculas, em um ambiente propício no planeta, poderiam formar estruturas mais complexas, mas a partir de que ponto podemos dizer que um sistema químico se torna vivo?

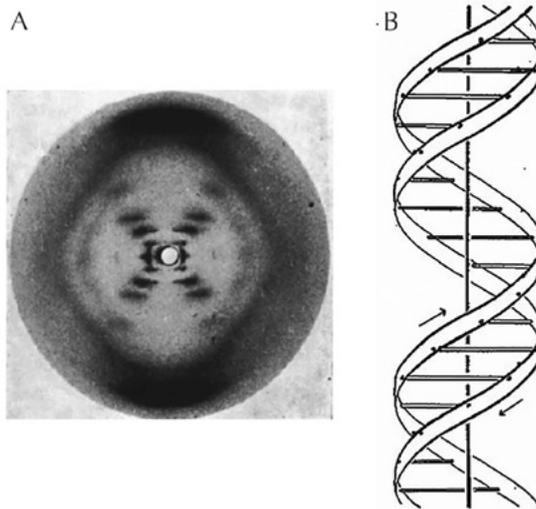
Se queremos compreender o processo de origem da vida, precisamos definir corretamente o problema. Queremos saber a origem do *Homo sapiens*? A ciência já conseguiu desvendar a rota de nossos ancestrais saindo da África e colonizando o planeta (Underhill, 2001). A origem dos animais? Os fósseis mostram uma explosão de vida há cerca de 550 milhões de anos, conhecida como Explosão do Cambriano (Bowring et al., 1993). Quando pensamos na origem da vida, estamos falando da origem de todo sistema que pode ser dito como vivo, o que é uma definição circular que deve ser mais esclarecida. Na verdade, há diferentes definições de vida disponíveis, feitas por cientistas e filósofos (Luisi, 1998; Gayon, 2010). No entanto, não há um consenso ou uma

definição perfeita, cada uma tem suas falhas ou limitações, funcionando bem em alguns casos e falhando em outros (Lazcano, 2010; Tirard; Morange; Lazcano, 2010).

Historicamente, podemos referenciar uma das primeiras tentativas modernas de definição de vida à publicação do livro *O que é vida?* de Erwin Rudolf Josef Alexander Schrödinger, em 1944. O livro foi escrito após uma série de palestras públicas de Schrödinger em 1943 na Trinity College, Dublin, que tinham o principal objetivo de relacionar o evento de origem da vida com as condições físicas e químicas existentes naquele momento, propondo que a origem tenha sido uma decorrência do estado do planeta. O livro introduz ainda a ideia de um cristal aperiódico que continha a informação genética armazenada pelas diferentes configurações de ligações químicas, o que estimulou a busca para desvendar a estrutura química do DNA (ácido desoxirribonucleico, macromolécula biológica), sendo por isso considerado a base para o desenvolvimento dos fundamentos moleculares da vida, ou, simplesmente, biologia molecular.

Apesar de a existência do DNA ser conhecida desde o século XIX – isolado inicialmente, associado a proteínas e chamado de “nucleína” por Friedrich Miescher em 1869 (Dahm, 2008) –, seu papel na reprodução e sua estrutura helicoidal ainda não estavam definidos quando Schrödinger propôs essas ideias. Gregor Mendel já havia estabelecido os princípios da hereditariedade genética em 1865 (Mendel, 1865), que foi demonstrada estar associada aos cromossomos em 1915, no que ficou conhecido como a teoria dos cromossomos de Boveri-Sutton (Morgan, 1915; Sutton, 1903). A composição química dessas entidades foi sendo desvendada gradativamente ao longo dos anos, porém, sua estrutura tridimensional, que era a chave para o processo de codificação da informação genética, ainda era desconhecida e dependeria do avanço das técnicas de imageamento em nível molecular. Em 1953, James Dewey Watson e Francis Crick publicam um artigo na revista *Nature* com a proposta da estrutura tridimensional do DNA (Watson; Crick, 1953), construída baseada na imagem feita pela

técnica de difração de raios X por Rosalind Franklin um ano antes (Franklin; Gosling, 1953) (Figura 6.3).



**Figura 6.3.** (A) Imagem de difração de raio X de um cristal de DNA, conhecida como “Foto 51”, feita por Rosalind Franklin em 1952, que baseou a determinação da estrutura da molécula (B) por Watson e Crick (1953). Fonte: Special Collections & Archives Research Center, Oregon State University Libraries

A descrição da estrutura do DNA permitiu que o mecanismo de codificação genético fosse compreendido, resultando em um período de grande desenvolvimento na biologia molecular (que perdura até hoje), o que proporcionou o estudo dos mecanismos mais fundamentais de funcionamento dos organismos vivos. Definir uma separação clara entre vida e não vida deixou de ser uma prioridade, uma vez que muitos cientistas da época acreditavam que os fundamentos da vida pareciam repousar no DNA, e que seria possível compreender a vida conhecendo os princípios físico-químicos da natureza.

No entanto, a definição de vida continua voltando ao cenário científico e provocando intensos debates em questões atuais, como a origem das estruturas microscópicas no meteorito

marciano Allan Hills 84001 (McKay et al., 1996), a questão se vírus são vivos ou não, e os recentes desenvolvimentos da biologia sintética, em especial a síntese completa de um genoma bacteriano e sua incorporação na estrutura de uma microbactéria (bactéria do gênero *Mycoplasma*, com cerca de 0.3 mm, menor que a maioria das bactérias), em pesquisa desenvolvida no Instituto J. Craig Venter (Gibson et al., 2010; Bedau et al., 2010), em um estudo em andamento que almeja não apenas a compreensão das funções mínimas necessárias à vida, mas o desenvolvimento de técnicas que permitam o *design* de organismos vivos completos (micro-organismos) com as características que desejamos. Esses estudos, por exemplo, podem possibilitar a criação de organismos sintéticos capazes de produzir medicamentos, insumos ou combater outros micro-organismos patogênicos, promovendo alguns dos maiores avanços médicos e tecnológicos dos próximos anos ou décadas.

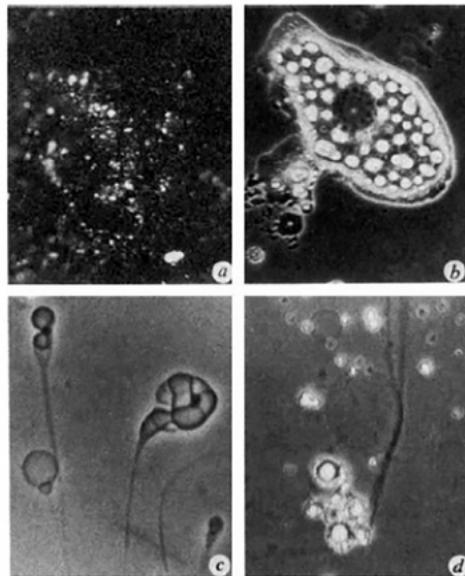
Apesar dos esforços e avanços científicos, ainda não somos capazes de elaborar uma definição única e completa de vida. Entre o século XVIII e a primeira metade do século XX, grande parte dos naturalistas e biólogos mais influentes do mundo discutiram a origem e evolução da vida sem uma definição precisa, baseando-se em concepções de senso comum, incluindo descrições fenomenológicas e conceitos intuitivos (Tirard, 2010). Talvez seja mesmo impossível formular uma definição totalmente precisa de vida – Kant já afirmava que definições precisas são possíveis na filosofia e matemática, mas conceitos empíricos só podem ser explicitados através de descrições, as quais dependem do momento histórico (Fry, 2000). Nietzsche também compartilhava da opinião que há alguns conceitos que podem ser definidos, enquanto outros apenas têm uma história (Lazcano, 2008). Ainda não sabemos ao certo em qual categoria se enquadra a definição de vida, mas os esforços nessa busca aumentam nosso conhecimento de mundo. Além disso, a definição de vida tem implicações que vão além da discussão científica e filosófica, estendendo-se, por exemplo, na área jurídica, social e política, com implicações para qualificar aborto, eutanásia, organismos transgênicos e uso de células-tronco embrionárias.

Uma das definições mais usadas, porém não necessariamente a definitiva – vida é um sistema químico autossustentado, capaz de sofrer evolução darwiniana – é usada como definição oficial de vida da Nasa, porém, muitas vezes é genérica demais. Podemos simplificar a vida como a conhecemos no planeta em três características básicas:

1. **Compartimentalização:** todo organismo vivo possui uma maneira de se separar do meio que o circunda. As células usam membranas lipídicas; os vírus, capsídeos proteicos. Essa membrana tem diversos papéis, mas o mais básico de todos é o de concentrar, em seu interior, as moléculas necessárias para seu funcionamento;
2. **Informação:** o organismo vivo deve possuir, em si, toda a informação necessária para sua manutenção e continuidade, portanto, para se perpetuar e reproduzir;
3. **Metabolismo:** o organismo vivo deve ser capaz de realizar as reações químicas necessárias para garantir sua sobrevivência e reprodução. Essa característica não está completamente presente nos vírus, que usam outros organismos como hospedeiros para realizar essas funções (motivo da controvérsia se vírus estão ou não vivos), o que indica que vírus e células provavelmente coevoluiram durante a história da Terra.

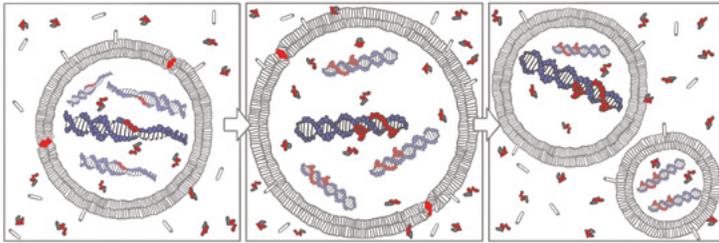
Essas características são todas encontradas nas células atuais, porém há discussões sobre a ordem de seu aparecimento na história do planeta, sem um consenso. É possível mesmo que elas tenham evoluído de maneira simultânea e paralela, até que tenha ocorrido um momento de integração. As primeiras tentativas de explicar o processo de compartimentalização usaram a formação de coacervados, aglomerados proteicos que podem ocorrer de maneira simples a partir de uma mistura de aminoácidos. Posteriormente, os estudos nessa área concentraram-se em outros tipos de moléculas, em especial as com características anfífilas – uma de suas extremidades é hidrofílica (tendo forte interação com água e outros

solventes polares) e a outra é hidrofóbica (apolar, repelindo água). Um exemplo desse tipo de molécula são os fosfolipídios, como os que constituem as membranas da maioria das células. Quando essas moléculas são colocadas em água, ou outro solvente polar, sua parte hidrofóbica procura evitar o contato com as moléculas de água, e elas se auto-organizam, de maneira que as partes hidrofílicas ficam expostas ao solvente e as partes hidrofóbicas ficam empacotadas – formam-se assim micelas, bicamadas e vesículas ou lipossomos (esferas ocas formadas pelo dobramento de bicamadas). Essa característica de auto-organização e autocompartimentalização dos fosfolipídios pode ter sido fundamental no processo de formação das primeiras protocélulas do planeta. Na verdade, esse processo é tão simples e robusto que já foi demonstrado que moléculas anfifílicas presentes no meteorito de Murchinson (formadas junto com o Sistema Solar, ou mesmo antes dele, na nuvem que lhe deu origem, há mais de 4,6 bilhões de anos), quando extraídas da rocha e colocadas em água, prontamente formavam vesículas (Deamer, 1985), como mostrado na Figura 6.4.



**Figura 6.4.** Formação de membranas, micelas e vesículas a partir de moléculas extraídas do meteorito de Murchinson (Deamer, 1985)

Nesse processo de autocompartimentalização, moléculas presentes na solução são normalmente arrastadas para o interior da micela ou vesícula, que poderão então sofrer reações diferentes das que sofreriam fora, em um ambiente mais diluído. Essa pode ter sido a maneira com que as primeiras moléculas informacionais se associaram às vesículas (Figura 6.5).



**Figura 6.5.** Modelo de protocélula capaz de compartimentalizar e reproduzir material genético, além de si própria, talvez um análogo ao primeiro ser vivo do planeta. Fonte: Adaptado de Mansy et al. (2008) | Ilustração: Vitor Teixeira

Atualmente, as moléculas usadas por todos os seres vivos conhecidos, de vírus aos maiores mamíferos, para armazenar, processar e transmitir informação genética são os ácidos nucleicos, DNA e RNA. A existência de um sistema único, utilizando um mesmo código químico, faz que a maioria dos cientistas acreditem que todos os seres vivos atuais descendam de um ancestral comum, o LUCA (*Last Universal Common Ancestral*) (Koonin, 2003). O LUCA está, em termos genéticos, na raiz da árvore filogenética mostrada na Figura 6.6 (construída comparando-se a sequência de RNA ribossomal de diferentes espécies) e Figura 6.7. No entanto, é importante notar que a árvore mostrada na figura é baseada em dados genéticos de organismos modernos; portanto, apenas nos mostra uma indicação de parentesco entre eles, dizendo pouco sobre as características reais do LUCA. De fato, suas características genéticas e fenotípicas (características físicas decorrentes da expressão da informação genética) podem ter sido muito diferentes dos seres

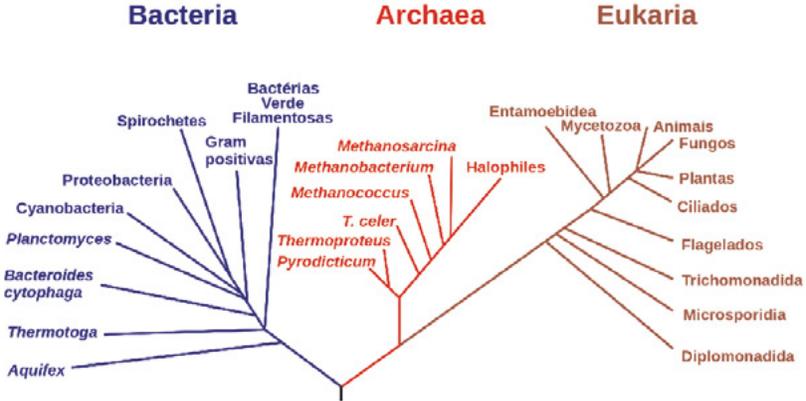
atuais, sendo uma das áreas extremamente ativas das pesquisas sobre a origem da vida e a tentativa de desvendá-la.

Mesmo que cheguemos a conhecer melhor o LUCA, isso não quer dizer que tenhamos compreendido a origem da vida, pois ele não é, necessariamente, o primeiro ser vivo do planeta, apenas aquele do qual divergiram as outras espécies. Pode ter ocorrido um longo processo de evolução anterior ao LUCA, desde nosso primeiro ancestral.

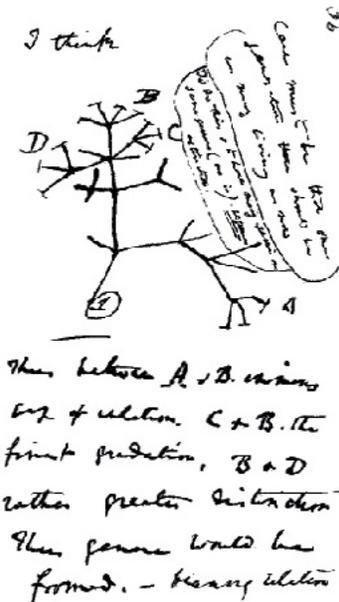
A demonstração de que moléculas de RNA poderiam ter atividade catalítica, ou seja, poderiam promover reações químicas (Cech; Bass, 1986) e, em especial, poderiam catalisar reações de cópia de si mesma (autocatálise) (Johnston et al., 2001), fortaleceu a hipótese mais aceita atualmente na literatura para o cenário molecular de origem da vida, conhecida como o Mundo de RNA (Orgel, 2004). Nessa teoria de simplicidade elegante, o primeiro sistema autorreplicante que irá iniciar um processo de evolução darwiniana foi uma molécula de RNA, que pode ter se associado a uma vesícula preexistente e se diversificado em todas as formas de vida como as conhecemos.

Atualmente talvez estejamos chegando próximos de compreender o momento de origem da vida em laboratório, seja partindo dos elementos mais simples e reconstruindo quimicamente um sistema até que ele tenha as propriedades da vida (Szostak; Bartel; Luisi, 2001), abordagem conhecida como *bottom-up*, seja partindo de uma célula completa e pequena, eliminando os genes aparentemente desnecessários até se encontrar o sistema mais simples possível (Gibson et al., 2010), conhecido como abordagem *top-down*. No entanto, devemos ser cautelosos ao fazer afirmações imperativas, pois diversas outras vezes na história da ciência acreditamos estar muito próximos da resposta definitiva para a origem da vida, para apenas descobriremos que a direção correta era outra. Esse tem sido um processo cíclico que tem nos ensinado muito sobre como a vida de nosso planeta surgiu e evoluiu, estimulando-nos a pensar na possibilidade de que tal evento poder ter acontecido em

outros pontos do Universo, onde as condições físico-químicas fossem favoráveis.



**Figura 6.6.** Árvore filogenética da biodiversidade terrestre, mostrando os três grandes reinos (*Bacteria*, *Archae* e *Eukarya*), todos ligados a uma raiz comum (Pace, 1997) (Creative Commons)



**Figura 6.7.** Rascunho da primeira árvore evolutiva feita por Darwin em seu caderno de anotações, em 1837

## Referências

- ABREVAYA, X. C. et al. Comparative survival analysis of *Deinococcus radiodurans* and the *Haloarchaea Natrionalba magadii* and *Haloferax volcanii* exposed to vacuum ultraviolet irradiation. *Astrobiology*, v. 11, n. 10, 2011.
- BADA, J. L.; LAZCANO, A. Prebiotic soup – revisiting the Miller experiment. *Science*, v. 300, n. 5620, p. 745-746, 2003.
- BEDAU, M. et al. Life after the synthetic cell. *Nature*, v. 465, n. 7297, p. 422-424, 2010.
- BOWRING, S. A. et al. Calibrating rates of early Cambrian evolution. *Science*, v. 261, n. 5126, p. 1293-1298, 1993.
- BROCK, T. D. *Robert Koch, a life in medicine and bacteriology*. Nova York: Scientific Tech. Publisher, 1988.
- CECH, T. R.; BASS, B. L. Biological catalysis by RNA. *Annual Review of Biochemistry*, v. 55, p. 599-629, 1986.
- CHYBA, C.; SAGAN, C. Endogenous production, exogenous delivery and impact-shock synthesis of organic-molecules – an inventory for the origins of life. *Nature*, v. 355, n. 6356, p. 125-132, 1992.
- DAHM, R. Discovering DNA: Friedrich Miescher and the early years of nucleic acid research. *Human Genetics*, v. 122, n. 6, p. 565-581, 2008.
- DARWIN, C. R. *On the origin of species by means of natural selection, or the preservation of favoured races in the struggle for life*. Londres: John Murray, 1859. Disponível em: [http://darwin-online.org.uk/converted/published/1859\\_Origin\\_F373/1859\\_Origin\\_F373.html](http://darwin-online.org.uk/converted/published/1859_Origin_F373/1859_Origin_F373.html). Acesso em: 5 nov. 2015.
- DARWIN CORRESPONDENCE PROJECT. Disponível em: <http://www.darwinproject.ac.uk>. Acesso em: 5 nov. 2015.
- FOX, S. W. How did life begin? *Science*, v. 132, n. 3421, p. 200-208, 1960.

- FOX, S. W.; DOSE, K. Molecular evolution and the origin of life. *Journal of Basic Microbiology*, v. 19, n. 6, p. 444, 1979.
- FRANKLIN, R. E.; GOSLING, R. G. Molecular configuration in sodium thymonucleate. *Nature*, v. 171, n. 4356, p. 740-741, 1953.
- FRY, I. *The emergence of life on Earth: a historical and scientific overview*. New Brunswick, N.J.: Rutgers University Press, 2000.
- GAYON, J. Defining life: synthesis and conclusions. *Origins of Life and Evolution of the Biosphere*, v. 40, n. 2, p. 231-244, 2010.
- GIBSON, D. G. et al. Creation of a bacterial cell controlled by a chemically synthesized genome. *Science*, v. 329, n. 5987, p. 52-56, 2010.
- HAECKEL, E. *Die Radiolarien (Rhizopoda Radiaria); eine Monographie*. Berlin: Druck und Verlag von Georg Reimer, 1862. Disponível em: [http://digi.ub.uni-heidelberg.de/diglit/haeckel1862bd1\\_1/0149](http://digi.ub.uni-heidelberg.de/diglit/haeckel1862bd1_1/0149). Acesso em: 5 nov. 2015.
- HALDANE, J. B. S. The origin of life. *Rationalist Annual*, v. 148, p. 3-10, 1929.
- HESÍODO. *Teogonia: a origem dos deuses*. Trad. Jaa Torrano. São Paulo: Iluminuras, 2006.
- HOOKE, R. *Micrographia or some physiological descriptions of minute bodies made by magnifying glasses: with observations and inquiries thereupon*. Londres: J. Martyn and J. Allestry, 1665. Disponível em: <http://www.biodiversitylibrary.org/item/15485#page/1/mode/1up>. Acesso em: 5 nov. 2015.
- HOYLE, F.; WICKRAMASINGHE, N. C. Comets – a vehicle for panspermia. *Astrophysics and Space Science*, v. 268, n. 1, p. 333-341, 1999.
- JOHNSTON, W. K. et al. RNA-catalyzed RNA polymerization: accurate and general RNA-templated primer extension. *Science*, v. 292, n. 5520, p. 1319-1325, 2001.

- JOHNSON, A. P. et al. The Miller volcanic spark discharge experiment. *Science*, v. 322, n. 5900, p. 404, 2008.
- KASTING, J. F. Earth's early atmosphere. *Science*, v. 259, n. 5097, p. 920-926, 1993.
- KOONIN, E. V. Comparative genomics, minimal gene-sets and the last universal common ancestor. *Nature Reviews Microbiology*, v. 1, n. 2, p. 127-136, 2003.
- KRUIF, P. *Microbe hunters*. San Diego: Harcourt Brace, 1996.
- LAZCANO, A. What is life? *Chemistry & Biodiversity*, v. 5, n. 1, p. 1-15, 2008.
- LAZCANO, A. Historical development of origins research. *Cold Spring Harbor Perspectives in Biology*, v. 2, n. 11, 2010.
- LEICESTER, H. M. *Development of biochemical concepts from ancient to modern times*. Massachusetts e Londres: Harvard University Press, 1974.
- LENNOX, J. G. *Aristotl's philosophy of Biology: studies in the origins of life science*. Cambridge: Cambridge University Press, 2001.
- LUISE, P. L. About various definitions of life. *Origins of Life and Evolution of the Biosphere*, v. 28, n. 4-6, p. 613-622, 1998.
- MANSY, S. S. et al. Template-directed synthesis of a genetic polymer in a model protocell. *Nature*, v. 454, n. 7200, p. 122-125, 2008.
- McKAY, D. S. et al. Search for past life on Mars: possible relic biogenic activity in Martian meteorite ALH84001. *Science*, v. 273, n. 5277, p. 924-930, 1996.
- MELOSH, H. J. The rocky road to panspermia. *Nature*, v. 332, n. 6166, p. 687-688, 1988.
- MENDEL, G. *Experiments in Plant Hybridization* (1865). Disponível em: <http://www.mendelweb.org/Mendel.html>. Acesso em: 15 out. 2011.
- MILEIKOWSKY, C. et al. Natural transfer of viable microbes in space. *Icarus*, v. 145, n. 2, p. 391-427, 2000.

- MILLER, S. L. A production of amino acids under possible primitive Earth conditions. *Science*, v. 117, n. 3046, p. 528-529, 1953.
- MORGAN, T. H. The role of the environment in the realization of a sex-linked Mendelian character in *Drosophila*. *The American Naturalist*, v. 49, 1915.
- NICHOLSON, W. L. et al. Resistance of *Bacillus* endospores to extreme terrestrial and extraterrestrial environments. *Microbiology and Molecular Biology Reviews*, v. 64, n. 3, p. 548-572, 2000.
- OPARIN, A. I. *The origin of life*. Trad. S. Margolis. Nova York: Macmillan, 1938.
- ORGEL, L. E. Prebiotic chemistry and the origin of the RNA world. *Critical Reviews in Biochemistry and Molecular Biology*, v. 39, n. 2, p. 99-123, 2004.
- PACE, N. R. A molecular view of microbial diversity and the biosphere. *Science*, v. 276, n. 5313, p. 734-740, 1997.
- PARKER, E. T. et al. Primordial synthesis of amines and amino acids in a 1958 Miller H<sub>2</sub>S-rich spark discharge experiment. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, v. 108, n. 14, p. 5526-5531, 2011.
- PATTERSON, C. Age of meteorites and the Earth. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, v. 10, n. 4, p. 230-237, 1956.
- PAULINO-LIMA, I. G. et al. Laboratory simulation of interplanetary ultraviolet radiation (broad spectrum) and its effects on *Deinococcus radiodurans*. *Planetary and Space Science*, v. 58, n. 10, p. 1180-1187, 2010.
- REDI, F.; BIGELOW, R. P. *Experiments on the generation of insects*. Chicago: The Open court publishing company, 1909.
- SCHRÖDINGER, E. *What is life?* The physical aspect of the living cell. Nova York: The University Press, 1945.
- SHASTRI, J. L. et al. *Ancient Indian tradition & mythology*: [Puranas in translation]. Delhi: Motilal Banarsidass, 1970.

- SUTTON, W. S. The chromosomes in heredity. *Biological Bulletin*, v. 4, n. 5, p. 231-251, 1903.
- SZOSTAK, J. W.; BARTEL, D. P.; LUISI, P. L. Synthesizing life. *Nature*, v. 409, n. 6818, p. 387-390, 2001.
- TIRARD, S. Origin of life and definition of life, from Buffon to Oparin. *Origins of Life and Evolution of Biospheres*, v. 40, n. 2, p. 215-220, 2010.
- TIRARD, S.; MORANGE, M.; LAZCANO, A. The definition of life: a brief history of an elusive scientific endeavor. *Astrobiology*, v. 10, n. 10, p. 1003-1009, 2010.
- UNDERHILL, P. A. et al. The phylogeography of Y chromosome binary haplotypes and the origins of modern human populations. *Annals of Human Genetics*, n. 65, p. 43-62, 2001.
- WATSON, J. D.; CRICK, F. H. C. Molecular structure of nucleic acids – a structure for deoxyribose nucleic acid. *Nature*, v. 171, n. 4356, p. 737-738, 1953.