

Con formato: Português (Portugal)

Con formato: Português (Portugal)

Con formato: Português (Portugal)

Astrobiologia: origem e evolução da vida

Vassilissa Vinogradoff¹, Beatriz García², Rosa M. Ros³

1. CNRS, Aix-Marseille Université, PIIM laboratory, Marseille, France.
2. ITeDA and National Technological University, Argentina
3. Technical University of Catalonia, Spain

Con formato: Francés (Francia)

Con formato: Inglés (Estados Unidos)

Con formato: Inglés (Estados Unidos)

Abstrato

Con formato: Inglés (Estados Unidos)

A Astrobiologia não é uma disciplina, mas um agrupamento-esforço coletivo interdisciplinar em torno da questão da origem e evolução da vida na Terra e da sua possível presença em outras partes/noutros locais do Universo. A astrobiologia abrange todos os campos interessados nesta questão, da astronomia à biologia, incluindo a geologia e a química, mas também a história e a filosofia da ciência. Os seus objetivos são múltiplos e incluem nomeadamente/particularmente: definir a Vida, determinar a sua origem, procurar os seus vestígios mais antigos, compreender os seus mecanismos de evolução na Terra/Terra, mas também procurar vida no universo. Assim, a Astrobiologia tenta determinar se poder~~á~~ia existir vida noutros locais do universo e, em caso afirmativo, de-com que forma, para tentar responder a uma questão existencial: estamos sozinhos no universo? Durante várias décadas, ficou claro que compreender o aparecimento da vida na Terra é crucial para determinar se se trata de uma coincidência ou de um fenómeno replicável em condições e ambientes específicos. Esta compreensão é necessária para tirar quaisquer conclusões esse poder concluir sobre a possibilidade de vida em outras/noutras partes do universo. Apesar dos esforços ativos/ativos, tais conclusões ainda não foram alcançadas. Estas questões surgiram com o desenvolvimento da química orgânica a partir do século XIX, a exploração espacial no século XX (a partir de 1969 com as missões Apollo) e a busca humana/a procura humana para encontrar/por vida noutros lugares (exemplo das missões marcianas). A Nessa altura, a astrobiologia referia-se então à pesquisa-investigação e ao estudo da vida fora do nosso planeta. Agora-Contudo, hoje em dia e depois de grandes avanços no tema, desde a década de 1990, este termo reúne tudo o que se relaciona com a questão da origem e evolução da Vida na Terra ou noutros locais do Universo.

Breve definição de Astrobiologia

Con formato: Português (Portugal)

A Astrobiologia diz respeito à busca-procura das origens e evolução da vida na Terra e da sua possível presença em outras/noutras partes do Universo. Este vasto campo reúne pesquisas interdisciplinares sobre, por exemplo, os vestígios de vida antiga na Terra a partir da análise das rochas mais antigas; as condições físico-químicas em que a Terra primitiva se encontrava há 4,5-4 mil milhões de anos, quando a vida apareceu; a diversidade de matéria orgânica disponível nesses ambientes, o que teria levado ao desenvolvimento da química

Con formato: Português (Portugal)

Con formato: Português (Portugal)

Con formato: Português (Portugal)

~~prebiótica~~pré-biótica; a transição do abiótico para o biótico com o surgimento de sistemas químicos selecionados para formar um sistema vivo; a evolução das primeiras entidades na Terra até ao nosso último ancestral comum universal ~~(LUCA)~~, incluindo o estudo de organismos extremófilos como *Archaeobacteria*; a procura de vida noutros locais através de missões espaciais no ~~s~~Sistema ~~S~~solar, em exoplanetas e no Universo em geral; e, finalmente, sobre a definição da própria vida e suas implicações filosóficas.

Con formato: Fuente: Cursiva

Uma interação profunda e interdisciplinar entre as diferentes disciplinas da física, química, biologia, geologia, bioquímica, planetologia, ciência da computação, filosofia e epistemologia é, portanto, necessária para o desenvolvimento e avanço da Astrobiologia. Embora cada ~~pesquisador~~investigador se especialize ~~numa dada~~em uma disciplina ~~específica~~, é fundamental hoje estar atento a outras disciplinas e aos avanços alcançados ~~em~~outros~~noutros~~ campos de ~~pesquisa~~investigação quando se trata de compreender a questão das Origens da vida e falar sobre Astrobiologia.

História da questão das origens da vida

Surpreendentemente, a questão da origem da vida não é uma questão que o homem tem feito desde o início dos tempos. Na verdade, até ao início do século XIX, a teoria da geração espontânea, que descrevia que a vida ~~podia~~surte surgir espontaneamente em qualquer meio, era comumente aceite. Essa teoria, adotada por muitos grandes cientistas da época, foi inclusive validada por ~~experimentos~~experiências como o de Jean-Baptiste Van Helmont descrito em diversas obras de 1648. ~~Os experimentos~~As experiências mostraram que era possível ver a "aparência" de um camundongo ~~em~~num pote cheio de farinha de trigo, selado por uma camisa de mulher (suja), colocado no fundo de um porão no escuro (as variantes falam de cobertores e outros lençóis sujos). Estas experiências e a teoria da geração espontânea permaneceram em vigor até o início do século XIX.

Foi necessário esperar o desenvolvimento da química orgânica e ~~das~~das primeiras sínteses de moléculas para demonstrar que os compostos orgânicos seguem as mesmas leis dos compostos inorgânicos e, portanto, não estavam necessariamente ligados a organismos vivos. Uma das primeiras sínteses memoráveis foi realizada por Friedrich Wöhler em 1828, que sintetizou com sucesso a ~~uréia~~ureia, molécula identificada no fígado de animais e considerada apenas de origem biológica por químicos como Jöns Jacob Berzelius. Ao mesmo tempo, Charles Darwin (1809-1882), naturalista e paleontólogo inglês, conduziu durante vários anos observações e trabalhos sobre espécies que revolucionariam a nossa visão da evolução dos seres vivos. Em 1859 publicou a primeira edição de seu livro "Origens das espécies". Embora não se trate da origem da vida ~~em~~na sua obra, a teoria da evolução ~~faz a noção de~~postula que todas as espécies vivas derivam e provêm de um ancestral comum. ~~Cai~~o postulado: estamos todos ligados a um ancestral comum, cuja forma de vida é muito mais simples que a nossa vida atual.

Comentado [IC1]: Mesmo em inglês tenho dúvidas sobre esta frase. O que está escrito a seguir "cai", ou o que cai era a ideia anterior a Darwin?

A origem da vida é, portanto, adiada para um passado distante, mas a teoria da geração espontânea permanece para estes primeiros seres vivos. Alguns anos depois (1861), foi Louis Pasteur, fervoroso oponente da teoria da geração espontânea e obcecado por

Con formato: Português (Portugal)

Con formato: Português (Portugal)

Con formato: Português (Portugal)

microrganismos, quem deu o golpe final. Ele demonstra ~~com seu experimento~~ com a sua experiência "pescoço de cisne" que quando o ar e o ambiente são adequadamente esterilizados, não se observa produção de micróbios. A partir desse momento, a teoria da geração espontânea é ~~gradativamente~~ gradualmente abandonada.

No final do século XIX a ciência encontrava-se então num impasse, por um lado Charles Darwin propunha que todas as espécies tivessem uma origem comum, e por outro lado, Louis Pasteur demonstrava que não existe geração espontânea. Alguns grandes cientistas da época, como Berzelius ou Lord Kelvin~~s~~, propuseram então que a vida existia em todo o universo e que veio de outro lugar. Poderia ter sido trazido para a Terra por esporos contidos em meteoritos ou cometas. Esta é a teoria da panspermia. ~~Observe~~ É de realçar que atualmente nenhum vestígio de vida, bactérias ou outros esporos ~~foram~~ encontrados nesses objetos extraterrestres, apenas moléculas orgânicas. No entanto, esta teoria (ainda hoje apoiada e modelada por alguns cientistas) persiste e foi considerada a única explicação plausível durante quase um século. Em 1924, novas hipóteses sobre a origem da vida foram apresentadas ~~em no~~ em no livro de Alexander Oparin.

Seguindo o trabalho dos químicos do século XIX, que refutaram cada vez mais o limite entre o inorgânico (o mineral) e o orgânico, sintetizando moléculas como açúcares ou aminoácidos em laboratório, Alexander Oparin propôs uma continuidade entre os dois. Ele descreveu ~~em no~~ em no seu livro que a matéria poderia ter evoluído ~~em nos~~ em nos nossos oceanos, seguindo as leis da física e da química, transformando compostos simples em moléculas mais complexas que, na "sopa primitiva" formar~~am~~ am então agregados de matéria e por complexificação levar~~am~~ am ~~à~~ à produção de células. Este conceito também é proposto por um geneticista britânico, JBS Haldane, ao mesmo tempo e de forma independente. Embora atraente, esta hipótese sobre a origem da vida ainda não foi confirmada.

Etimologia: Exobiologia e Astrobiologia

Con formato: Português (Portugal)

A partir do início da década de 1960 ~~foi lançado o concurso espacial~~ iniciou-se a corrida espacial, e com ~~ela~~ ela as primeiras missões de exploração lunar e marciana. O risco de contaminação biológica aparece na linguagem tanto no sentido de transportar micróbios terrestres para outras estrelas, como de trazer vida extraterrestre de volta à Terra. Joshua Lederberg, microbiologista e geneticista (Prémio Nobel da Medicina 1958) acompanhou então de perto a questão da contaminação o que permitiu a implementação de protocolos rigorosos para a descontaminação ~~da~~ de naves espaciais. A NASA pediu a Joshua Lederberg que desenvolvesse protocolos de análise bioquímica para amostras lunares e marcianas, levando em consideração a nossa própria contaminação. Deve-se notar que na década de 1960, os cientistas presumiam que era improvável que os micróbios resistissem às condições do espaço. Sabemos hoje que este não é o caso e, por exemplo, os ~~1~~ 1 Fardígrados, uma espécie surpreendente que vive na Terra, são capazes de resistir a condições extremas, incluindo as do espaço. O caso dos ~~1~~ 1 Fardígrados não é isolado e outras ~~espécies~~ espécies ~~seres~~ seres ~~vivas~~, como as bactérias, também podem ser resistentes a um ambiente extremo.

Con formato: Português (Portugal)

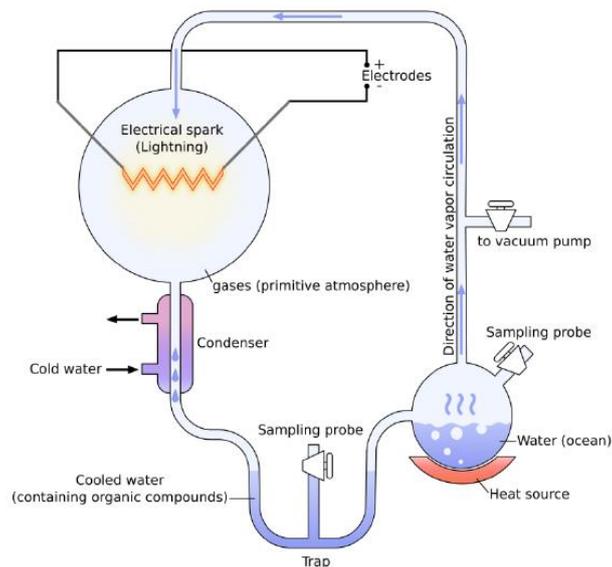
Con formato: Português (Portugal)

Con formato: Português (Portugal)

Joshua Lederberg, adepto da teoria da panspermia, criou então o termo Exobiologia em 1960, durante uma apresentação científica ao COSPAR (Comitê de Pesquisas Espaciais). Ele lançou as bases desta nova ciência, definida como a busca de vida em outros lugares. A crescente aliança da exploração espacial daquela época, desde o livro de Alexander Ivanovich Oparin sobre a questão da origem da vida e a experiência pioneira de Miller-Urea no campo da química prebiótica, fazem da Exobiologia a nova disciplina chave para a busca das origens da vida através da exploração espacial. Com o astrônomo Carl Sagan e o físico Elliott Levinthal, Joshua Lederberg está interessado no potencial de contaminação marciana. Todos farão parte das equipes científicas das missões Viking, que pousaram e estudaram Marte a partir de 1976. Convencidas da presença de vida em Marte, essas missões deveriam confirmar a sua presença. Estas experiências de exobiologia a bordo contribuíram para os primeiros desenvolvimentos de experiências *in situ* em objetos do Sistema Solar.

Con formato: Fuente: Cursiva

Ao mesmo tempo, cria-se uma comunidade de investigadores em torno da questão da origem da vida, com cientistas que, a partir da década de 1950, iniciaram estudos químicos para a síntese das primeiras moléculas prebióticas (ver experiência de Miller-Urey, Figura 1). Em 1973, foi fundada uma sociedade internacional que reúne diferentes disciplinas sobre estas questões da origem da vida, a ISSOL (Sociedade Internacional para o Estudo da Origem da Vida: <https://issol.org/>).



Con formato: Português (Portugal)

Con formato: Português (Portugal)

Con formato: Português (Portugal)

Con formato: Português (Portugal)

Figura 1 Ilustração ~~do experimento da experiência de~~ Miller-Urey para simular o ambiente primitivo da Terra e a formação de moléculas orgânicas complexas nos oceanos (Crédito: La Barre, Stéphane. (2014). Biodiversidade marinha e quimioidiversidade - os tesouros do futuro.)

Em 1982 a União Astronômica Internacional (IAU) criou a comissão “Bioastronomia: Busca por Vida Extraterrestre”, renomeada simplesmente Bioastronomia em 2006, depois “Astrobiologia” em 2015. ~~A~~ ISSOL e a comissão IAU-Astrobiologia ainda estão ativas e organizam regularmente conferências internacionais ~~trazendo~~ ~~reúnem~~ ~~reunindo~~ investigadores que trabalham na questão das origens e evolução da vida, bem como da sua presença noutras partes do Universo. Muitas sociedades nacionais de exobiologia ou astrobiologia foram criadas em diferentes países (França, Alemanha, Inglaterra).

A diferença entre os termos Exobiologia, Bioastronomia e Astrobiologia é hoje histórica e deveria ser utilizada para a mesma definição: a busca pela origem, evolução e distribuição da vida no universo (incluindo na Terra).

Definir Vida

Con formato: Português (Portugal)

Definir a vida, ou pelo menos ~~es~~-seres vivos, é um dos desafios mais complicados da Astrobiologia. Com o passar dos anos e das descobertas, ~~descobrimos~~ ~~verificamos~~ que ~~o vivera~~ vida é tão complexa, que fica muito difícil dar uma definição ~~mais~~ completa. Esta questão invoca argumentos científicos, mas é também um ~~questionamento~~ ~~empreendimento~~ filosófico que torna qualquer definição relativamente não objetiva e orientada de acordo com o campo científico do autor.

Comentado [IC2]: Mesmo em inglês tenho dúvidas sobre esta frase. O que querem dizer?

Com o tempo, diferentes personalidades e cientistas propuseram definições de vida. Uma das mais antigas remonta a Aristóteles (~300 a.C.) e era bastante básica: “Por vida entendemos alimentar, crescer e definhar por si só”. Como a origem da vida não teve interesse durante séculos, a sua definição permaneceu muito factual.

O advento da ciência e as grandes descobertas da química orgânica e da biologia a partir do século XVII trouxeram novos elementos e surgiu a questão da definição da vida. Uma das definições mais utilizadas hoje é fruto do grupo de trabalho do programa Exobiologia da NASA em 1995, do qual Gerald Joyce era membro e a quem esta definição é frequentemente atribuída devido ao seu próprio trabalho científico sobre sistemas ~~auto-replicantes~~ ~~autorreplicantes~~: “~~O~~ ~~a~~ vida é um sistema químico autossustentável capaz de sofrer a evolução darwiniana”.

Durante os estudos sobre a definição de organismos vivos, percebemos que cada definição é o ponto de vista do cientista em relação ao seu próprio conhecimento e campo científico e que eventualmente seria necessário combinar todas essas definições para melhor nos aproximarmos de uma definição.

Con formato: Português (Portugal)

Con formato: Português (Portugal)

Con formato: Português (Portugal)

Diversidade de seres vivos e busca pelos vestígios mais antigos de vida na Terra

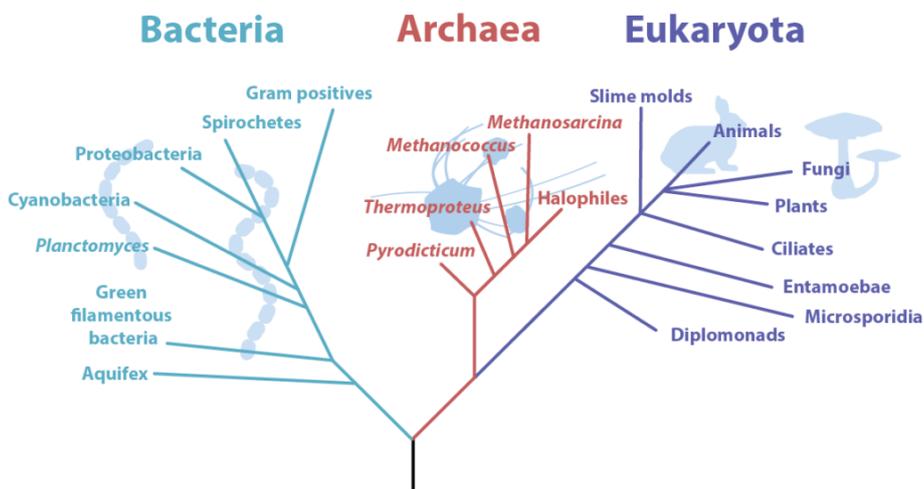
Como a vida terrestre é, até agora, o único exemplo de vida local com vida conhecido, a Astrobiologia concentra grande parte dos seus esforços no estudo da vida terrestre em todos os ambientes, particularmente os mais extremos, como as fontes hidrotermais subaquáticas, lagos salgados ou locais gelados. Este tipo de ambiente pode ser um bom análogo para locais extraterrestres. Para compreender melhor os limites dos organismos vivos e os mecanismos que funcionam em ambientes extremos, os cientistas procuram determinar a diversidade filogenética e metabólica dos organismos vivos.

Um dos ramos da árvore da vida filogenética (Figura 2) que é de particular interesse são as arqueobactérias (ou *Archaea*), distintas das bactérias procarióticas pela sua sequência de ARN ribossómico e particularmente adaptadas a ambientes extremos (em termos de pressão, temperatura, salinidade, nutrientes, etc.). A especificidade das arqueobactérias foi revelada tardiamente, em 1977, quando bactérias foram descobertas em fontes hidrotermais, graças a técnicas analíticas avançadas (sequenciação de RNA/ARN). As *Archaea* formam assim um terceiro grupo de seres vivos na Terra, cujo estudo fornece informações essenciais para a compreensão dos limites da vida na Terra e a busca pelas nossas origens. Os avanços na metagenômica/metagenómica permitiram, por exemplo, isolar em 2015 um novo grupo de *Archaea*, denominado *Asgard archaea*, que são propostos como potenciais ancestrais diretos dos eucariótiotos. Este tipo de organismo é o principal alvo para estudar possíveis formas de vida em outros lugares, em ambientes como Vênus, Marte ou mesmo nos satélites gelados ao redor de Júpiter e Saturno (que têm um oceano sob a sua superfície).

Con formato: Fuente: Cursiva

Con formato: Fuente: Cursiva

Con formato: Fuente: Cursiva



Con formato: Português (Portugal)

Con formato: Português (Portugal)

Con formato: Português (Portugal)

Con formato: Português (Portugal)

Fig. 2 Árvore filogenética simplificada de organismos vivos, representando os três grupos de organismos vivos: os ~~eucariotes eucarióticos~~, dos quais fazemos parte, as bactérias que são procariontes uni ou multicelulares e as ~~o~~Archaea que são microrganismos unicelulares separados das bactérias (Crédito : <https://open.oregonstate.education/generalmicrobiology/chapter/archaea/>)

No entanto, os procariontes da Terra tiveram milhares de milhões de anos para evoluir, adaptar-se ao seu ambiente e criar sistemas bioquímicos capazes de resistir, por exemplo, a pressões ou temperaturas extremas. Deve-se notar também que, na Terra, foram necessários cerca de 1,5 ~~bilhão~~-mil milhões de anos para que microrganismos como bactérias ou ~~A~~arqueas colonizassem os oceanos e produzissem oxigénio suficiente, que então evaporou ~~na~~-para a atmosfera e permitiu o desenvolvimento de organismos que utilizavam o oxigénio como fonte de energia. A menos que haja a mesma evolução noutra planeta, sob as mesmas condições e com as mesmas contingências terrestres (por exemplo em termos de meteorologia, placas tectónicas, etc.), é quase improvável encontrar estas mesmas entidades fora da Terra. Mas o estudo dos extremófilos abre o campo de possibilidades de vida em ambientes ~~à~~-priori inadequados.

Con formato: Fuente: Cursiva

A busca pelos vestígios mais antigos de vida na Terra, é um dos eixos da pesquisa em Astrobiologia, que poderia permitir ~~a todos~~-preencher lacunas sobre nossos ancestrais. Esses estudos ~~encontram~~-enfrentam muitas dificuldades devido à difícil preservação dos fósseis ao longo do tempo geológico.

Con formato: Fuente: Cursiva

A primeira dificuldade é que a Terra é um planeta “vivo” (tectónica, erosão), e por isso evoluiu muito desde a sua formação, há 4,5 mil milhões de anos. ~~Qualquer~~-De ~~qualquer~~ rocha datada da primeira era geológica, ~~o~~a Hadeana, ~~ainda~~-apenas é encontrada na Terra, ~~apenas~~-o mineral chamado zircão. A procura de fósseis centra-se, portanto, no período posterior a 4 mil milhões de anos, na época da era arqueana (4-2,5 mil milhões), a partir da qual ainda existem rochas sedimentares na Terra, mas que, no entanto, evoluíram. Um fóssil pode assumir diferentes formas, ou é possível encontrar detritos ou marcas de plantas ou animais (conchas, vestígios), ou caso a estrutura do fóssil já não exista, é possível identificar assinaturas físicas (estruturais) ou químicas (-em particular as razões isotópicas do carbono). Em qualquer caso, está agora estabelecido, com base na genealogia das espécies, que os primeiros organismos vivos devem ter sido seres unicelulares semelhantes a bactérias.

Assim, a segunda dificuldade na busca por vestígios de vida antiga é que esses organismos tinham ~~quede~~ ser microscópicos. Os mais antigos vestígios comprovados de vida na Terra datam de 3,48 ~~bilhões~~-mil milhões de anos, descobertos na Austrália. São estromatólitos (concreção calcária formada por filamentos bacterianos), cujo formato indica que existiam bactérias, ~~sem que estas tenham sido encontradas~~. Embora muitas propostas de vestígios de vida sejam estudadas e publicadas regularmente por cientistas, nenhuma até à data foi totalmente confirmada pela comunidade, e atualmente todos os vestígios com mais de 3,5 mil milhões de anos são controversos, mesmo que o limite de 3,8 mil milhões de anos pareça provável.

A terceira dificuldade reside na interpretação e comparação com sistemas abióticos, que poderiam ter formado vestígios semelhantes a assinaturas biológicas ou morfologias. Avanços

Con formato: Português (Portugal)

Con formato: Português (Portugal)

Con formato: Português (Portugal)

nas técnicas analíticas, desde a década de 1990, como microscopia eletrônica e análises isotópicas, muitas vezes ajudam a resolver a controvérsia, além de ~~experimentos-experiências~~ com sistemas abióticos. A procura de vestígios fósseis situa-se, portanto, na interface entre a biologia, a química e a geologia, e requer estudos extremamente rigorosos, com vários métodos de investigação para aumentar a probabilidade de uma origem biológica e não apenas abiótica.

Química ~~Prebiótica~~Pré-biótica e a transição do não-vivo para o vivo

Hoje, em todas as espécies vivas da Terra, entre toda a diversidade existente, existem tijolos elementares feitos de C, H, N e O que todos possuímos. Esses tijolos são proteínas, base da replicação, ~~DNA-ADN~~ (ácido ~~desoxirribonucleico~~desoxirribonucleico) que carrega informações genéticas e anfífilos, constituindo paredes celulares para ~~compartimentalização~~compartimentação. Esses tijolos são, na verdade, sequências de moléculas “simples”, como aminoácidos, para proteínas, conjuntos de açúcares e bases nitrogenadas com fósforo, para ~~ADNDNA~~ e lípidios, para ~~as~~ membranas. O fósforo é um elemento crucial na nossa química viva, apesar de não ser um dos átomos abundantes no universo. Muitos estudos procuram, portanto, determinar porque é que o fósforo foi “escolhido” como elemento-chave do ADN e do ARN (ácido ribonucleico) e qual a sua origem (inorgânica ou orgânica). Os tijolos elementares que todas as espécies vivas na Terra possuem são, portanto, cinco tipos de moléculas (que às vezes são chamadas de tijolos da vida), aminoácidos, bases nitrogenadas, açúcares, fósforo, lípidios (ou ácidos ~~graxos~~gordos). Estes elementos são essenciais à vida terrestre e o estudo da sua origem permite-nos dar mais ~~constrangimentos-informações sobre a~~ origem da própria vida. Abioticamente, essas moléculas poderiam ter sido formadas na atmosfera terrestre, mas também em fontes hidrotermais. Em 1953, Stanley Miller e o seu aluno de doutoramento Harold Urey, realizaram ~~a-uma~~ experiência pioneira, ~~em que~~ demonstran~~ram~~ que a atmosfera da Terra poderia ter sido o local para a química ~~prebiótica~~pré-biótica. Desde 1953, as experiências de química ~~prebiótica~~pré-biótica multiplicaram-se e contribuem cada dia um pouco mais para a compreensão de como é possível formar as moléculas básicas dos organismos vivos, nomeadamente proteínas, ADN (ou ARN-ácido ribonucleico) e lípidos em condições terrestres.

Comentado [IC3]: Mesmo em inglês tenho dúvidas sobre esta frase. O que querem dizer?

Outra hipótese propõe que essas moléculas poderiam ter sido trazidas por objetos celestes (meteoritos). Estes últimos, provenientes de ~~asteróides~~asteroides e cometas, são de grande interesse para os cientistas, porque os meteoritos provaram ser de grande riqueza orgânica (4-5 por cento em massa). Ao cair na Terra, estas pedras vindas do espaço poderiam ter trazido para a Terra parte da água e dos elementos siderófilos, encontrados na sua superfície após a diferenciação há 4,5 mil milhões de anos. Ainda não foram encontradas formas de vida nestes objetos, mas eles contêm muitas moléculas, milhares de moléculas para meteoritos carbonáceos, tão diversas e variadas quanto a síntese abiótica é capaz. Um grande número de aminoácidos é observado, por exemplo, em meteoritos, bem como açúcares e muitos precursores orgânicos para a formação de outros blocos de construção da vida definidos acima.

Con formato: Português (Portugal)

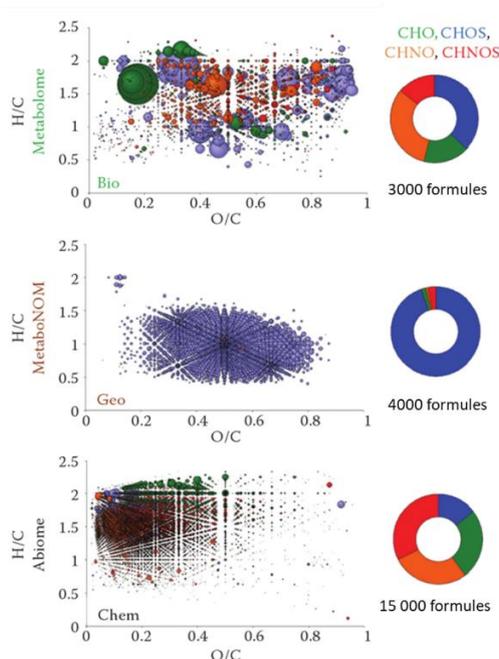
Con formato: Português (Portugal)

Con formato: Português (Portugal)

Estas descobertas, que datam do século XXI, levantam questões sobre a possibilidade de vida noutros lugares, uma vez que os blocos de construção básicos podem ser sintetizados no espaço. Mas estes objetos também nos informam sobre a génese do Sistema Ssolar, a sua origem e a sua complexidade que, em comparação com os sistemas exoplanetários, pode ser bastante única. A compreensão ~~actua~~atual dos fenómenos que potencialmente levaram à vida, tenderia a dizer que a Terra tinha condições particularmente favoráveis para o aparecimento da vida, intimamente ligada à formação do Sistema Ssolar, à própria Terra e a todas as contingências adjacentes (mesmo a presença da Lua revelou-se essencial).

A questão, que talvez seja a mais importante na Astrobiologia, é a compreensão da transição do não-vivo para o vivo, como poderia ter sido feita na Terra primitiva há cerca de 4 mil milhões de anos. Trata-se, portanto, de determinar a passagem entre uma química do não-vivo, ou seja, o abiótico, representado por toda a matéria orgânica e mineral presente na superfície da Terra primitiva no momento apropriado, para uma química do vivo, sendo o biótico, representado pelas primeiras espécies vivas. A principal diferença entre os dois, entre a química dos vivos e dos não-vivos, é a seletividade. Os sistemas biológicos selecionaram moléculas orgânicas pelo seu funcionamento e propriedades específicas (como a quiralidade), enquanto a química abiótica contém tudo o que é possível formar na química orgânica. Esta observação é verificada pela análise de meteoritos, que contêm milhares de moléculas muito diversas, distribuídas aleatoriamente e em todos os lugares nos diagramas H/C vs O/C, por exemplo (Figura 3). Com o mesmo método analítico, as análises de química biótica mostram, ao contrário, concentrações de moléculas em áreas bem definidas, com famílias químicas selecionadas, e uma diversidade muito menor (Figura 3).

Con formato: Fuente: Cursiva



3. Análise detalhada, por espectrometria de massa de alta resolução, de moléculas orgânicas presentes em três tipos de matéria, representadas em um diagrama de Van Krevelen de razões atômicas H/C vs O/C: no topo a composição molecular de um metaboloma biológico (biológico amostra), no meio a composição da água superficial do rio (amostra geológica) e no fundo a composição da matéria orgânica abiótica de um meteorito. Notamos que as composições de cada material são muito diferentes, seja em termos de número de fórmulas ou famílias de moléculas (CHO vs CHOS vs CHNO vs CHNOS). A matéria biológica selecionou uma diversidade mais limitada de moléculas do que a matéria abiótica. (Kolb, 2014)

Para alcançar a química ~~prebiótica~~ pré-biótica, estão ~~atualmente~~ atualmente a ser estudadas duas abordagens principais: a abordagem “de cima para baixo” envolve o estudo de sistemas vivos e a tentativa de sintetizá-los, enquanto a abordagem “de baixo para cima” centra-se na química abiótica e na sua evolução potencial para a química biológica num ambiente controlado.

Os seres vivos utilizam três entidades químicas principais: proteínas que constituem o metabolismo e permitem a replicação e a atividade catalítica, o ~~DNA-ADN~~ que transporta a informação genética e permite a codificação da informação, as membranas lipídicas que formam um compartimento protetor e a troca de informações, permitindo assim a replicação. Como estas entidades são atualmente inseparáveis do nosso conhecimento dos organismos vivos, a abordagem ~~top-down~~ “de cima para baixo” consiste em determinar quais apareceram primeiro, porquê e como. Sistemas de reações químicas altamente direcionadas e catalisadas

Con formato: Português (Portugal)

Con formato: Português (Portugal)

Con formato: Português (Portugal)

por minerais estão sendo a ser estudados para determinar se, em laboratório, seria possível formar DNA/ADN, proteínas e lípidios semelhantes à vida na mesma sopa.

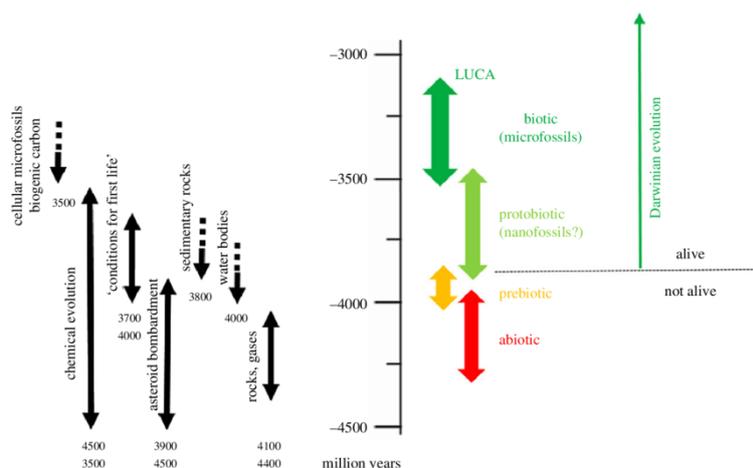


Fig. 4 Origem da vida como fenômeno planetário. Os dados de tempo geológico, à esquerda. A progressão abiótica para biótica é retratada com demarcações temporais especulativas e em tanto arbitrarias, com algumas justificativas detalhadas no texto. A demarcação não-vivo/vivo, mas que deve ser um continuum, é entre entidades prebióticaspré-bióticas e protobióticasproto bióticas, definida pela emergência da replicação e da evolução. Crédito: Lancet, Doron & Zidovetzki, Raphael & Markovitch, Omer. (2018).

Con formato: Português (Portugal)

A abordagem acima, questiona as entidades possíveis para a vida hoje e, em vez disso, visa compreender como um sistema químico de evolução poderia reunir os elementos sob condições desenvolvidas que existiam na Terra primitiva, de um solvente, o mais óbvio e o mais abundante no universo, sendo a água. O segundo elemento essencial é a matéria orgânica, matéria diversa e mais ou menos complexa, como a prova nos comprovado pelos meteoritos. Como terceiro elemento, mencionamos frequentemente a necessidade de uma fonte de energia capaz de organizar a matéria em moléculas mais complexas e sobretudo permitir a irreversibilidade das reações químicas. Esta propriedade deverá permitir uma auto-organização da matéria, talvez com o estabelecimento de sistemas autocatalíticos. Esta energia pode vir de fótons do Sol, da temperatura e pressão geradas internamente de um corpo planetário, ou de processos de oxidação-redução com minerais (em fontes hidrotermais, por exemplo). Propõe-se que sistemas químicos, que estão fora de equilíbrio e continuamente abastecidos com matéria e energia, podem exibir seletividade química, autocatálise e propriedades de replicação química. Uma vez praticada tal sistema, a química prebióticaspré-biótica pode eventualmente levar à formação de sistemas vivos.

Comentado [IC4]: Tenho dúvidas sobre esta frase.

Não haveria, portanto, uma separação estrita entre um sistema abiótico e o biótico, mas sim uma continuidade, passando por tal química prebióticaspré-biótica (Fig. 4). Como e onde surgiu a vida na Terra continua a ser a questão exobiológica mais complexa e as vias químicas possíveis são tão numerosas que não é óbvio que um dia a resposta será encontrada.

Procure vida **em-outro-noutro** lugar

Para procurar vida **em-outre-noutro** lugar é preciso saber o que procurar, e uma das bases da Astrobiologia, mas também o seu ponto fraco, é a busca por vida biologicamente semelhante à nossa. A distribuição química dos átomos no Universo direcionou inegavelmente o uso de carbono, nitrogênio e oxigênio para a Vida na Terra (Figura 5). Seria lógico que esses átomos fossem iguais para outras formas de vida no universo, mas com uma estrutura de moléculas orgânicas possivelmente diferente da vida na Terra.

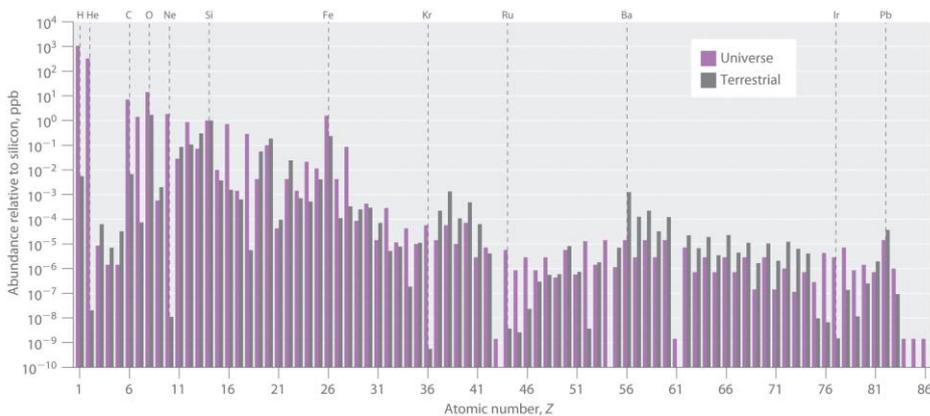


Fig. 5 Abundância de elementos químicos na Terra e no Universo (escala logarítmica). Os elementos mais abundantes depois do hidrogênio e do hélio são o oxigênio, o carbono e o nitrogênio, além do gás inerte, o néon, seguido de perto pelo ferro e pelo níquel.

Apesar da investigação **ativaativa** desde as primeiras missões Apollo, da exploração de muitos planetas e do regresso de algumas amostras (lunares de 1969, cometas em 2006 e **asteróidesasteroides** em 2010, 2023) ainda não foi encontrado nenhum vestígio de vida no nosso sistema solar. A comunidade **astrobiológica-de astrobiólogos** repensou e uniu os seus conhecimentos para determinar em que ambientes específicos seria possível encontrar sinais de vida microscópica. A pesquisa em química **prebiótica-pré-biótica** definida acima traz, por exemplo, restrições, baseadas na vida terrestre. Um novo termo foi definido para conceituar este **aspectoaspecto** de ambiente favorável: é a noção de habitabilidade. Foi proposto pela primeira vez que um corpo planetário é habitável desde que contenha água líquida. Em cada sistema planetário será então possível definir uma zona habitável onde a água líquida poderá estar presente na superfície dos corpos, dependendo do tamanho da estrela, da distância do corpo planetário à estrela e da estabilidade **com-que-da** sua órbita- permanece- na zona habitável (Fig. 6). Nos últimos anos, a definição da zona habitável foi revista e bastante ampliada, com a descoberta de grandes oceanos de água líquida, abaixo da superfície gelada das luas de Júpiter e Saturno (Enceladus, Europa, Ganimedes, Titã, Calisto) (Figura 6). A noção de habitabilidade hoje **se-refere-se** a um corpo habitável, que, além da água líquida, conteria

matéria orgânica (C, H, N, O, etc.), energia (atividades solares ou termogeológicas) e uma certa estabilidade ao longo do tempo. ~~Tempe~~, para permitir o desenvolvimento da vida. A procura de vida noutros locais começa, portanto, por procurar primeiro estes ambientes habitáveis. A noção de habitabilidade é um termo debatido dentro da comunidade Astrobiológica Astrobiólogos, porque a sua definição está ligada às condições que permitiram o surgimento aparecimento e evolução da única vida (terrestre) que conhecemos e nada nos diz que visamos os objetos habitáveis certos, considerando apenas essas condições. A extensão da zona habitável para ambientes subterrâneos (conforme mostrado na Figura 6), é um exemplo de nossa pesquisa-investigação sobre a possibilidade de vida nesses ambientes no Sistema Solar. Além disso, os estudos em filogenia e biologia terrestre também impuseram restrições à investigação, quando se trata de formas de vida não macroscópicas, tais como bactérias microscópicas, vestígios químicos ou fósseis de possível existência atual ou passada.

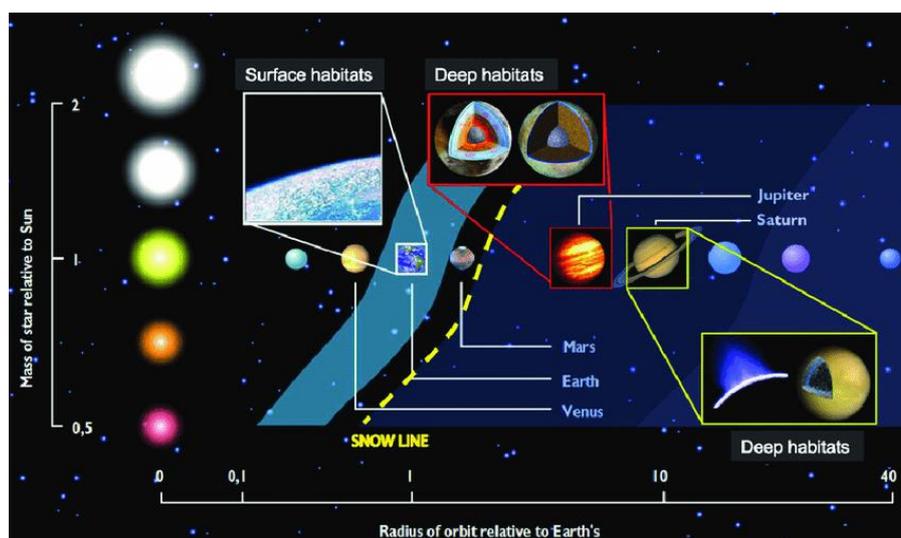


Fig. 6 Representação esquemática das zonas habitáveis do Sistema Solar. A zona habitável é definida onde existe água líquida: esta zona depende da massa da estrela e da distância do corpo à estrela para que a água fique estável na superfície ou abaixo dela. Com esta definição e no nosso Sistema Solar, a Terra estaria apenas no meio da zona habitável enquanto Marte estaria no limite. Os satélites gelados de Júpiter e Saturno também seriam corpos habitáveis devido à presença de água líquida sob a sua camada de gelo (Créditos: Neal Powell, Imperial College, Londres).

Um breve passeio pelos corpos planetários do nosso Sistema Solar e seu interesse astrobiológico

Mercúrio, o planeta mais próximo do Sol, é demasiado quente e com pouca atmosfera para ter criado as condições necessárias ao desenvolvimento da vida. Vêênus, o nosso “planeta irmão”, ao contrário, possui uma química orgânica relativamente complexa, com moléculas

de enxofre e fósforo ~~nuem~~ uma atmosfera extremamente densa composta por mais de 96% de CO₂. Porém, não está na zona habitável do ~~S~~sistema ~~S~~solar porque lhe falta um componente essencial: a água. Tendo beneficiado de inputs exógenos como a Terra após a sua formação, propõe-se que Vénus possa ter tido água líquida na sua superfície e uma atmosfera rica em água há 4,5 mil milhões de anos e por um curto período de tempo. Mas ~~actualmente~~atualmente a superfície de Vénus é apenas vulcanismo ~~active~~ativo com temperaturas em torno de 460°C. Se a vida se desenvolveu em Vénus no momento mais favorável, propõe-se que tenha sobrevivido sob a forma de microrganismos nas nuvens da sua atmosfera, muito mais branda em termos de temperatura (~75°C). Várias missões espaciais estudaram Vénus desde a década de 1960 e apesar das propostas para a existência de microrganismos extremófilos nas nuvens de Vénus, nenhuma evidência foi formalmente observada até agora.

Marte, o quarto planeta do ~~S~~sistema ~~S~~solar, tem sido frequentemente proposto como o melhor local no ~~S~~sistema ~~S~~solar para ter tido, ou ainda ter, a possibilidade de vida. Marte desencadeou a mania da procura de vestígios de vida muito cedo na história da exploração do ~~S~~sistema ~~S~~solar porque astrónomos britânicos e italianos (William Rutter Dawes e Giovanni Schiaparelli) relataram ter visto gigantescos canais de irrigação, observando a superfície de Marte em 1860-1870. Esses canais, interpretados como ligando áreas habitadas, teriam permitido o transporte de alimentos entre elas. Apesar do desenvolvimento dos telescópios e da proliferação de observações, nomeadamente de Percival Lowell (1855-1916), só na década de 1940 é que estas observações foram confirmadas devido a novos dados de observação menos turvos que definiram melhor os contornos das crateras e vales de Marte. Os sobrevoos das sondas American Mariner nas décadas de 1960 e 1970 demonstram definitivamente a inexistência de canais na superfície de Marte. No entanto, o interesse astrobiológico pelo planeta Marte persiste, porque Marte apresenta características relevantes, que legitimam a possibilidade de uma vida marciana. A existência de vida microbiana foi considerada na década de 1970, durante a preparação da missão Viking. As duas sondas foram então equipadas com instrumentos capazes de realizar três experiências destinadas a destacar a vida marciana, por exemplo, ~~detectando~~detetando atividade fotossintética biológica ou fornecendo nutrientes às bactérias marcianas. Todos ~~os-as~~ três ~~experimentos~~experiências deram respostas negativas, todas interpretáveis por processos abióticos, como a oxidação da superfície que leva à decomposição da matéria e à liberação de O₂. A missão Viking, porém, confirmou a presença de água líquida no passado de Marte, ao observar leitos de rios, rios secos ou mesmo vales dendríticos, confirmando que o planeta era, pelo menos no passado, habitável. Mais tarde, rochas hidratadas que só ~~se~~ podem ~~se~~ formar em meio aquoso, como argilas ou sulfatos, foram observadas por sondas orbitais e veículos na superfície (como a sonda orbital Mars Express).

Com a observação de vestígios como fluxos, deltas ou mesmo sinais de tsunamis próximos à costa, descobriu-se que Marte já teve rios, oceanos e lagos ~~em-na~~ sua superfície. De acordo com modelos geofísicos, Marte poderia ter tido água líquida durante pelo menos mil milhões de anos na sua superfície. Esta água, ainda presente nos minerais que atualmente cobrem a superfície de Marte, foi identificada por sondas em órbita e ~~fovers~~na superfície.

~~Atualmente~~Atualmente, a água gelada está presente nos ~~pólos~~polos das calotas polares e há fortes suspeitas de que a água esteja presente em maiores quantidades na crosta marciana (provavelmente na forma de gelo misturado com minerais). A pressão na superfície de Marte é atualmente excessivamente baixa para manter a água líquida (6 mbar). No passado, porém, e devido à presença de um campo magnético agora extinto, Marte pode ter tido uma atmosfera muito mais densa. A grande desvantagem de Marte é ser um planeta pequeno, que não possuía energia interna suficiente para manter a atividade geológica gerando o campo magnético, essencial para manter a sua atmosfera, contra os ventos solares. Marte é considerado um planeta morto há muito tempo, mas no qual a vida poderia ter-se desenvolvido ao mesmo tempo que na Terra e talvez persistir no subsolo. Encontrar vida em Marte forneceria muitas respostas sobre o surgimento da vida na Terra. Além disso, se existisse vida em Marte, mesmo sob a forma de microrganismos, e dado que o planeta já não é geologicamente ~~ativo~~ativo, deveria ser possível descobri-la sob a forma de vestígios fósseis na superfície ou mesmo esperar que ~~fosse~~sobrevivesse no subsolo.

A atmosfera de Marte é fina e rica em CO₂, permitindo a penetração dos raios solares e cósmicos ao longo de milhares de milhões de anos, resultando numa superfície altamente oxidante e completamente seca. O módulo ~~de pouso~~da missão Phoenix (2008) identificou oxidantes como perclorato e peróxidos. Atualmente foi demonstrado que eles são os grandes responsáveis pela degradação da matéria orgânica na superfície e são contaminantes para análises realizadas por ~~rovers~~sondas. Tivemos ~~que~~esperar pela missão “Laboratório de Ciências de Marte” (MSL) com ~~o rover~~a sonda “Curiosity”, que pousou em solo marciano em 2012, para finalmente podermos determinar se Marte era composto de matéria carbonácea. Esta missão NASA/JPL transporta a bordo um instrumento capaz de ~~detectar~~detetar e identificar moléculas orgânicas (análise de amostras no Mars-SAM). É um espectrómetro de massa com um cromatógrafo gasoso a montante com um pirolisador para vaporizar as moléculas e separá-las, ou um laser pulsado para ~~desolver~~dissolver as moléculas da superfície da amostra. Foi em 2015 que foram descobertas as primeiras moléculas orgânicas (anéis aromáticos clorados e alcanos). Desde então, outras moléculas orgânicas foram analisadas no solo marciano de acordo com a composição mineralógica. Em 2022, nenhuma molécula do tipo “blocos de construção da vida” foi identificada até o momento, mas os estudos continuam ~~em~~noutros locais do planeta e novas missões estão ~~planejadas~~planeadas. Em particular, as esperanças repousam na exploração do subsolo de Marte, protegido da oxidação e irradiação da superfície. ~~Rovers~~Sondas anteriores já revelaram que sob os primeiros centímetros da superfície era possível haver gelo, mas não se sabe o que acontece além desses primeiros centímetros. A principal futura missão astrobiológica a Marte é a missão Exomars da ESA, que deverá escavar até 2 m de profundidade para recuperar amostras não alteradas pela superfície e que poderão, portanto, conter muito mais material preservado. A missão Exomars também inclui o instrumento descrito acima (GC-MS) e irá analisar moléculas orgânicas. A missão foi adiada para o final da década de 2020 devido aos conflitos mundiais. Marte não disse a sua última palavra e continua a ser um alvo de eleição para pesquisas de vestígios de vida e conhecimento em planetologia.

Outros corpos habitáveis de interesse astrobiológico foram descobertos nas últimas décadas para além da cinturabarrera de asteróidesasteroides, estes são os satélites de planetas gasosos gigantes. Essesus planetas gigantes relacionados são de interesse limitado para a astrobiologia porque não têm superfícies rochosas e, portanto, não têm rochas. Por outro lado, são de considerável importância para a compreensão da formação e origem do Ssistema Ssolar. São os seus satélites que interessam, em particular Ganimedes, Calisto e Europa, em torno de Júpiter, Encélado e Titã, em torno de Saturno. Revelados graças à sonda Cassini-Huygens (1997-2017) que visitou estes mundos durante 15 anos, estes satélites gelados surpreenderam pela sua diversidade e pela abundância de água líquida que contêm. Europa, por exemplo, conteria um oceano 10 vezes maior que o da Terra, enquanto o satélite seria três vezes menor que a Terra. Esta água líquida é mantida pelos efeitos das marés gerados pela atração gravitacional das luas com Júpiter. Do lado de Saturno, está Encélado, que é de particular interesse para a astrobiologia com a descoberta, em 2014, de gêiseresgeiseres de água em-na sua superfície, que se estendem até 100 km acima dea sua superfície. Tal observação revelou, sem qualquer dúvida, a presença de um oceano sob o manto de gelo. Os estudos em astrobiologia interessam-se então pelo possível surgimento-aparecimento de vida nesses ambientes, que foram definidos como habitáveis (Figura 6). O maior satélite de Saturno, Titã, também é de grande interesse devido à grande quantidade de matéria orgânica formada naem sua atmosfera. Em 1980 e 1981, as sondas Voyager-1 e Voyager-2 passaram sobre Titã e revelaram um mundo com uma atmosfera extremamente densa composta principalmente de nitrogênio e metano. A atmosfera é tão densa que obscurece a superfície do satélite. A química na atmosfera de Titã provou ser extremamente complexa, resultando nomeadamente na formação de aerossóis orgânicos que sedimentam na superfície. A missão Cassini-Huygens, da qual Huygens foi um módulo de pouso-superfície que cruzou a atmosfera de Titã para pousar em sua superfície, confirmou esta química orgânica complexa na atmosfera. Foram obtidas imagens impressionantes da superfície coberta por grãos orgânicos, dunas e lagos de hidrocarbonetos. Modelos astrofísicos propuseram que Titã pode abrigar um oceano de água líquida abaixo da sua superfície. Titã apresenta então todos os ingredientes previamente definidos para o surgimento de uma rica química prebióticapré-biótica e de uma possível forma de vida. Modelos geoquímicos evolutivos sugerem que desde o primeiro milhão de anos após a formação de Titã, este oceano subterrâneo esteve em contato com a atmosfera, onde teriam surgido as primeiras moléculas complexas. Por analogia com a Terra, prevê-se a presença de fontes hidrotermais – que constituem uma fonte de energia para moléculas orgânicas e um ambiente potencial para sistemas prebióticospré-bióticos – neste oceano de Titã. A possibilidade de vida no oceano de Titã não pode, portanto, ser excluída e poderia ter persistido durante vários milhares de milhões de anos. A ambiciosa nova missão da NASA (Dragonfly), que tem como alvo Titã, deveria ser essencial deste ponto de vista. Seleccionada em junho de 2019 no âmbito dos programas Novas Fronteiras da NASA, a missão deverá partir em 2027 e chegar a Titã em 2034. A novidade desta missão reside na exploração da densa atmosfera de Titã (1,5 vezes a da Terra) e na sua baixa gravidade para pilotar, à superfície um aeróptero, denominado aerobot, com massa de 450 kg em-sua-superfície. Os objetivos científicos são múltiplos, como afirmar a presença de um oceano na subsuperfície de Titã, analisar materiais da superfície para identificar moléculas de interesse astrobiológico, caracterizar a meteorologia de Titã, ou mesmo medir a atividade sísmica para determinar a

Con formato: Português (Portugal)

Con formato: Português (Portugal)

Con formato: Português (Portugal)

atividade interna de Titã. Para isso, o aerobot terá a bordo quatro grupos de instrumentos, incluindo um espectrómetro de massa acoplado à cromatografia gasosa (DraMS-GC), que é uma contribuição francesa do CNES e um legado das missões marcianas.

Beyond the Solar System

Con formato: Português (Portugal)

Con formato: Português (Portugal)

Com o estado atual do conhecimento e os avanços no campo da Astrobiologia, é muito difícil formular a hipótese de um planeta habitado e da presença comprovada de vida na nossa galáxia ou fora dela. Parece haver cada vez mais locais potenciais para o desenvolvimento da vida, mas e quanto ao desenvolvimento real da vida? Para além do nosso Sistema Solar, dependendo do número de estrelas no universo, é provável que existam milhares de milhões de outros sistemas planetários, com zonas habitáveis, matéria orgânica e a energia necessária à vida. Foi em 1995 que Didier Queloz e Michel Mayor observaram um exoplaneta pela primeira vez. Desde então, e com o avanço das técnicas de observação, hoje (2023) mais de 5500 exoplanetas foram localizados, observados e listados na nossa galáxia. A descoberta destes planetas extrasolares levou a grandes descobertas, como o questionamento da formação do nosso próprio Sistema Solar. As primeiras ~~detecções~~ detecções de exoplanetas revelaram sobretudo a presença de planetas gigantes gasosos, do tipo Júpiter, orbitando muito perto da sua estrela em sistemas com 1, 2 ou 3 corpos planetários. Este paradigma, comparado com o nosso Sistema Solar contando com 8 planetas, causou uma reconsideração completa da hipótese da formação do nosso Sistema Solar. Novos modelos de formação do Sistema Solar foram estudados. O mais notável foi proposto em 2011 por Kevin Walsh, Alessandro Morbidelli e Sean Raymond e forneceu respostas a uma série de enigmas sobre a composição e posição dos diferentes corpos do nosso Sistema Solar. O modelo afirma que Júpiter teria perturbado os planetas embrionários ao migrar em direção ao Sol e depois teria retornado à sua posição atual, graças em parte à presença de Saturno (Figura 7). A aproximação de Júpiter até ~1,5 UA truncou gradualmente o disco protoplanetário e o material disponível a jusante de Júpiter foi reduzido. Este modelo permite, por exemplo, explicar o pequeno tamanho do planeta Marte e o seu destino desastroso, enquanto num modelo de formação estática, Marte deveria ser maior que a Terra.

Outra grande descoberta diz respeito à observação da maioria das estrelas da classe das anãs vermelhas na nossa galáxia. São estrelas pequenas, muito ativas e com tempos de vida da ordem de cem bilhões de anos. Em comparação, o nosso Sol viverá apenas cerca de dez mil milhões de anos e, portanto, se a vida se desenvolvesse (ou se desenvolvesse) num planeta em torno de uma anã vermelha, teria tempo para se desenvolver e tornar-se mais complexa, pelo menos tanto como na Terra. No entanto, devido à baixa massa das anãs vermelhas (<0,4 massa solar), os exoplanetas precisam estar relativamente próximos da estrela para estarem na zona habitável. Isto resulta numa velocidade de rotação semelhante à sua rotação em torno da sua estrela e, portanto, apresentarão sempre a mesma face de dia ou de noite. Este parâmetro é extremamente importante porque afetará os climas e as estações do exoplaneta e, portanto, afetará diretamente as formas potenciais de vida.

Con formato: Português (Portugal)

Con formato: Português (Portugal)

Con formato: Português (Portugal)

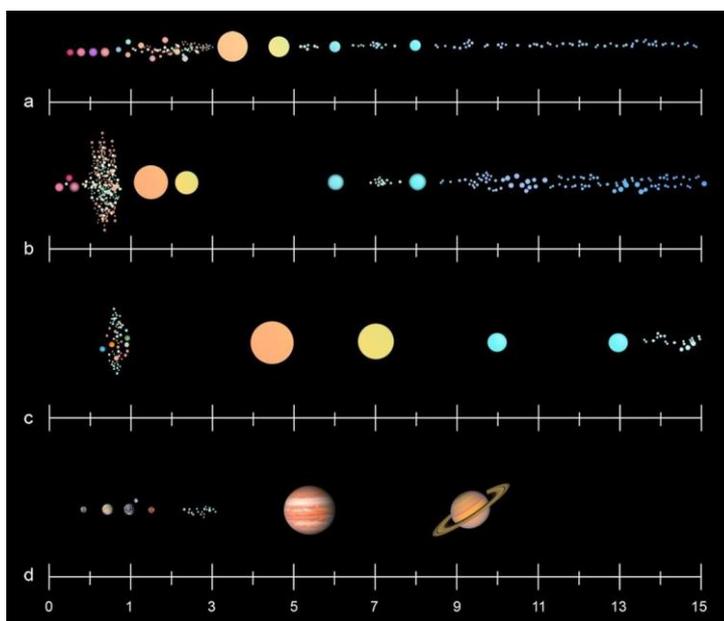


Fig. 7 Representação esquemática da hipótese "grand tack" para explicar a formação do nosso Sistema Solar e dos seus planetas; a) início do modelo com a formação dos planetas gigantes em andamento, depois b) primeira migração de Júpiter em direção ao Sol com Saturno, c) segunda migração de Júpiter em direção ao Sistema Solar exterior carregando Saturno e empurrando asteroides e cometas além de 13 UA, d) posição dos planetas atualmente com o cinturão de asteroides entre 2 e 3 UA. @ Black Alley

Con formato: Português (Portugal)

Propõe-se também que a presença de atmosfera em exoplanetas localizados em zonas habitáveis seja uma condição importante de habitabilidade. Recentemente, foram observados exoplanetas com atmosferas ricas em água. No entanto, atualmente não conhecemos todos os cenários que favorecem ou alteram a manutenção de uma atmosfera nestes exoplanetas que orbitam estrelas de tipos diferentes do nosso Sol.

Os diversos exoplanetas observados até hoje, com velocidades de rotação, obliquidades e densidades extremamente variadas, tornam a noção de habitabilidade ainda mais difícil de definir. O impacto no aparecimento ou manutenção da vida nestes ambientes ainda é desconhecido e constitui uma área significativa de pesquisa em Astrobiologia.

Conclusões

Os estudos em astrobiologia aqui descritos refletem a dificuldade e a complexidade de responder a questões sobre a origem e evolução da vida e a presença de vida em outros mundos.

Con formato: Português (Portugal)

Con formato: Português (Portugal)

Con formato: Português (Portugal)

lugares. A interdisciplinaridade é crucial na astrobiologia e é a chave para grandes avanços ~~no~~ campo-nesta área

Em resumo, a astrobiologia tenta determinar se poderia existir vida noutra local do universo, estudando a nossa própria origem e, em caso afirmativo, de que forma, para tentar responder a uma questão existencial: estamos sozinhos no universo?

Bibliografia

Bibring, J.-P. (2022) *Seuls dans l'Univers*, Odile Jacob.

Fiore, M. (dir.) (2022) *Prebiotic Chemistry and Life's Origin*, Royal Society of Chemistry,

Forterre, P., Brocher, C., Philippe, H. (2002) Evolution of the Archaea , in *Theoretical Population Biology*, vol. 61, n° 4, pp. 409-420.

Gargaud, M., Claeys, P., Martin, H. (Eds.) (2005). *Des atomes aux planètes habitables* (Vol. 3). Presses Univ de Bordeaux.

Con formato: Inglés (Estados Unidos)

Con formato: Francés (Francia)

Gargaud, M., Martin, H., Lopez-García, P. et al. (2009) *Le Soleil, la Terre... la vie. La quête des origines*, Belin.

Kolb, V. M (dir) (2014) *Astrobiology. An Evolutionary Approach*, CRC Press, Chapter 4.

Con formato: Francés (Francia)

Lancet, D., Zidovetzki, R., Markovitch, O.. (2018) *Systems protobiology: Origin of life in lipid catalytic networks*. Journal of The Royal Society Interface. 15. 20180159. 10.1098/rsif.2018.0159.

Con formato: Inglés (Estados Unidos)

Lederberg, J. (1960) *Exobiology : Approaches to life beyond the Earth*, in *Science*, vol. 132, n° 3424, pp. 393-400.

Oparin, A., (1957) *The origin of life on the Earth*, Academic Press Inc., New York, 3^e éd.

Vídeos em [Astrobioeducation.org](https://astrobioeducation.org) <https://astrobioeducation.org/fr/>