

ORIGEM DA VIDA

Profª Ana Luisa Miranda-Vilela

DE ONDE VIEMOS?

- ☐ Questão que preocupa a humanidade desde a Antiguidade
- ☐ Em toda disciplina científica, as ideias predominantes e as questões formuladas são produtos do desenvolvimento histórico e do contexto sociocultural de cada época
 - essencial conhecer um pouco da história

Antigas Doutrinas

☐ Índia, Babilônia e Egito

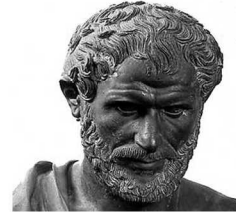
- rãs, cobras e crocodilos ➡ gerados pelo lodo dos rios

**Manifestações da vontade dos deuses
e gerados espontaneamente.**

Antigas doutrinas da Índia, da Babilônia e do Egito ensinavam que rãs, cobras e crocodilos eram gerados pelo lodo dos rios. Esses seres, que apareciam inexplicavelmente no lodo, eram encarados como manifestações dos deuses e gerados espontaneamente.

TEORIA DA ABIOGÊNESE

- ❑ Também denominada **Teoria da Geração espontânea**.
- ❑ **Aristóteles** (384 a 322 a.C.) ➡ acreditava que um princípio ativo ou vital teria a capacidade de transformar a matéria bruta em um ser vivo.



“Todos os seres vivos originam-se espontaneamente da matéria bruta.”

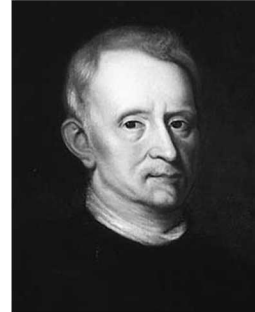
- A vida poderia aparecer da matéria não viva, desde que a matéria bruta entrasse em contato com um princípio ativo:
 - o calor, a umidade e o lodo poderiam constituir-se em elementos fundamentais para a “ativação” da matéria bruta, imprimindo-lhe a dinâmica da vida.

TEORIA DA ABIOTOGÊNESE

□ **Jan Baptiste van Helmont**
(1577-1644) ➡ receita para
produzir seres vivos:

- misturar uma roupa suada e
suja de mulher com germe de
trigo em um local protegido e
esperar vinte e um dias para se
obter ratos.

- O que se sabe hoje ➡ os ratos
aparecem por atração a essa
mistura e não a partir dela.



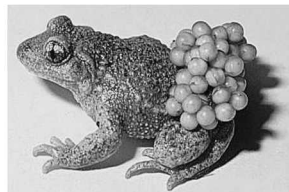
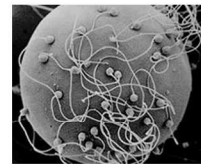
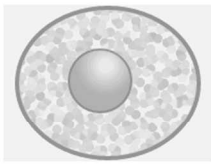
TEORIA DA BIOGÊNESE

❑ Por meio de experimentos, a teoria da abiogênese foi contestada por vários cientistas ➡ provaram que:

um ser vivo só se origina de outro ser vivo por reprodução

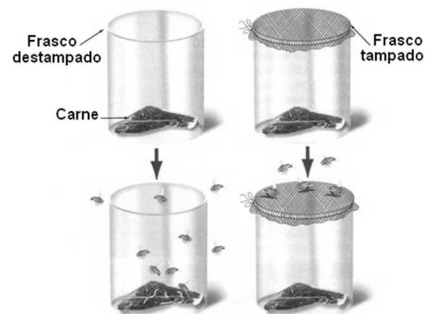


TEORIA DA BIOGÊNESE



FRENCESCO REDI (1626-1697)

- ❑ Questionou evidência a favor da abiogênese:
 - surgimento espontâneo de vermes na carne em decomposição.
- ❑ Hipótese formulada e testada por Redi ➡ vermes surgiam de ovos colocados por moscas atraídas pela carne podre:
 - vermes seriam larvas que surgem no ciclo de vida das moscas.



ANTON VAN LEEUWENHOEK (1632-1723)

❑ Utilizando microscópios construídos por ele, descreveu, entre 1673 e 1723, organismos que não podem ser vistos a olho nu (microscópicos):

- adeptos da abiogênese ficaram empolgados:
 - achavam que micróbios só poderiam surgir por geração espontânea.

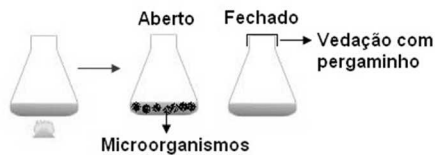


Microscópio de uma só lente

A invenção do microscópio e a revelação do universo dos microorganismos geraram calorosas discussões sobre a origem desses seres.

LOUIS JOBLOT (1645-1723)

- ❑ Em 1711 demonstrou experimentalmente que os microorganismos provêm de uma contaminação pelo ar.
- ❑ Experimento:
 - ferveu um caldo nutritivo à base de carne e despejou em duas séries de frascos cuidadosamente limpos:
 - abertos;
 - fechados.
 - Após alguns dias, observou o conteúdo dos frascos ao microscópio:
 - frascos abertos ➔ repletos de microorganismos;
 - frascos fechados ➔ ausência de microorganismos.
- ❑ Conclusão: os microorganismos surgiam de “*sementes*” provenientes do ar e não por geração espontânea.

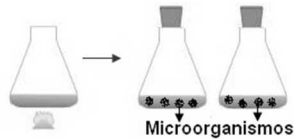


Microscópio composto de Joblot

JOHN TURBERVILLE NEEDHAM (1713-1781)



- ❑ Em 1745 realizou vários experimentos, submetendo à fervura frascos contendo um caldo nutritivo.
- ❑ Após fervura, fechava os frascos e deixava em repouso por alguns dias.
- ❑ Ao examinar posteriormente o caldo ao microscópio, observava a presença de microorganismos.
- ❑ **Conclusões:**
 - microorganismos surgiam por geração espontânea;
 - caldo nutritivo continha uma força vital responsável pelo surgimento das formas vivas:
 - ao ferver o caldo nutritivo, todas as formas vivas morreram;
 - a manutenção dos frascos fechados impediu a entrada de microorganismos presentes no meio;
 - os microorganismos que surgiram só poderiam ter aparecido por geração espontânea.



LAZZARO SPALLANZANI (1729-1799)



- ❑ Em 1770 repetiu os experimentos de Needham, com algumas modificações e obteve resultados diferentes:
 - colocou substâncias nutritivas em um balão hermeticamente fechado e os submeteu a fervura por cerca de uma hora;
 - ao abrir os frascos após alguns dias e observar o líquido ao microscópio, nenhum organismo estava presente.

NEEDHAM X SPALLAZANI

❑ Spallanzani:

- explicou que Needham não ferveu a solução nutritiva por tempo suficientemente longo para matar todos os microorganismos ali presentes.

❑ Needham:

- respondeu que Spallanzani, ao ferver por muito tempo as substâncias nutritivas em recipientes fechados, destruiu a força vital e tornou o ar desfavorável à vida.



NEEDHAM X SPALLAZANI

- ❑ Spallanzani realizou novos experimentos e mostrou que a vida aparecia quando os recipientes eram abertos e expostos ao ar:
 - força vital não havia sido destruída.
- ❑ Não conseguiu provar que o aquecimento em recipientes fechados não alterava a qualidade do ar.
 - Needham saiu favorecido:
 - reforço para a teoria da geração espontânea (abiogênese).

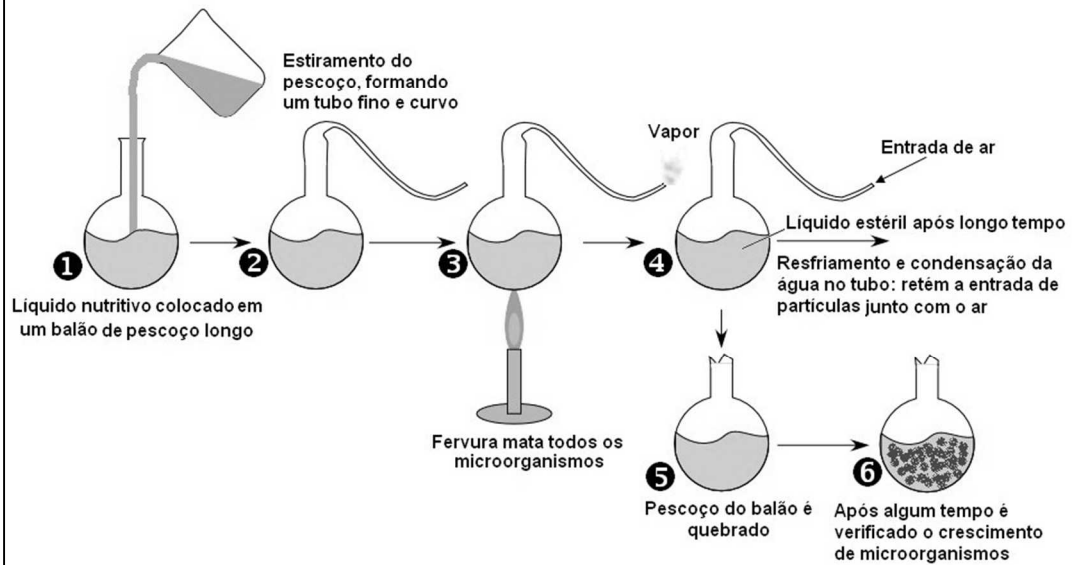


LOUIS PASTEUR (1822-1895)

- ❑ Por volta de 1860, conseguiu provar definitivamente que os seres vivos só se originam de outros pré-existentes.

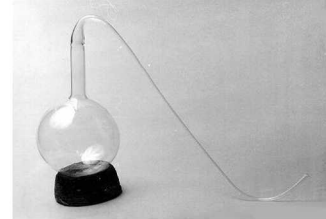


EXPERIMENTOS DE PASTEUR



CONCLUSÕES DE PASTEUR

- A ausência de microorganismos nos frascos do tipo “*pescoço de cisne*” mantidos intactos mostraram que o ar contém microorganismos e que estes, ao entrarem em contato com o líquido nutritivo, proliferam:



- no balão intacto, os microorganismos do ar não conseguiram chegar até o líquido nutritivo e estéril:
 - microorganismos ficaram retidos pelas gotículas de água condensada durante o resfriamento ➔ funcionou como um filtro;
- quando o pescoço dos frascos foi quebrado, os micróbios do ar conseguiram penetrar e entraram contato com o líquido nutritivo ➔ proliferação.



FIM DA TEORIA DA ABIOGÊNESE

- ❑ Esses experimentos de Pasteur mostraram que:
- um líquido, ao ser fervido, não perde a força vital, como defendiam os adeptos da abiogênese;
 - o líquido fervido não leva à formação de um ar viciado e nem impróprio para a vida:
 - o líquido fervido continuou em contato com o ar atmosférico através do pescoço do balão:
 - as gotículas de água condensadas funcionaram como um filtro, retendo os micróbios do ar.



A história da Terra e da vida

Cósmico	15.000/20.000-5.000
Solar	5.000-4.600
Archeano	3.900-2.500
Proterozoico Paleoproterozoico Mesoproterozoico Neoproterozoico	2.500-570 milhões de anos

Aparecimento de vida é resultado de evolução do Universo!

A HISTÓRIA DA TERRA E DA VIDA

Período	Duração (milhões de anos)	Comentário
Cósmico	15000/20000-5000	Big Bang, síntese nuclear, reciclagem estelar
Solar	5000-4600	Formação do sistema solar, formação de planetas bombardeados por planetóides, atmosfera original da Terra “golpeada” algumas vezes por ventos solares
Archeano	3900-2500 3800	Origem da vida Fósseis de cianobactérias fotossintetizantes
Proterozóico	2500-570	Oxigenação gradual da atmosfera
• Paleoproterozóico	2500-1600	Origem dos eucariotos e do sexo
• Mesoproterozóico	1600-1000	Radiação adaptativa de protistas
• Neoproterozóico	1000-570	Origem de multicelularidade Algas e esponjas, celenterados e vermes

TEORIA DO BIG-BANG

- ❑ Teoria mais aceita atualmente para a origem do universo:
 - também chamada Teoria da Grande Explosão.



TEORIA DO BIG-BANG

□ Proposta por

- Georges Lemaitre (1894-1966)
 - astrônomo
- George Gamow (1904-1968)
 - físico



Lemaitre

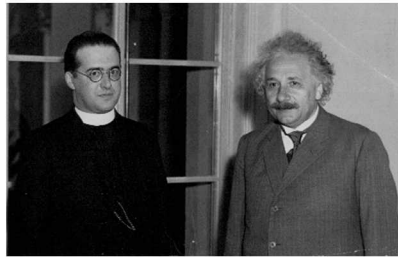


Gamow

TEORIA DO BIG-BANG

□ Baseou-se em:

- Albert Einstein (1879-1955) ➡ Teoria da Relatividade:
 - previu que universo está em expansão.
- Vesto Melvin Slipher (1875-1969) e Edwin Powell Hubble (1889-1953):
 - observaram que as galáxias estão se afastando umas das outras ➡ reforço da ideia do universo em expansão.



Lemaître e Einstein



Slipher

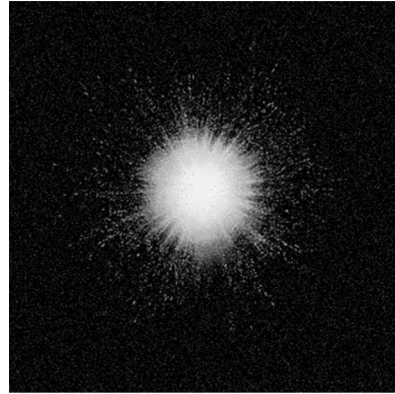


Hubble

TEORIA DO BIG-BANG

□ Postulado:

- Toda a matéria que compõe o Universo atual esteve comprimida em uma esfera pequena que há cerca de 10 a 20 bilhões de anos atrás teria explodido, expandido e formado de uma vez todo o Universo.



TEORIA DO BIG-BANG

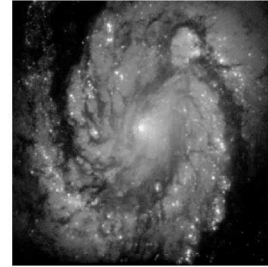
- ❑ Após a explosão inicial ➡ temperatura do universo muito alta:
 - impossibilitava a existência de elementos químicos.
- ❑ Após algumas centenas de milhares de anos ➡ temperatura diminuiu:
 - surgimento de átomos de hidrogênio (H).



Big-bang

TEORIA DO BIG-BANG

- ❑ Após pouco mais de um bilhão de anos ➔ surgimento das primeiras galáxias:
 - grandes aglomerações de matéria no interior das quais se formaram as primeiras estrelas:
 - os diversos tipos de átomos que formam a matéria do universo foram produzidos no interior de estrelas que explodiram;
 - ao serem lançados no espaço, passaram a fazer parte da poeira cósmica:
 - agregação em uma nova grande nuvem de matéria (nebulosa);
 - formação de novas estrelas, planetas e outros corpos celestes.



Nebulosa

Vestígios do Big-Bang

- ❑ Pesquisadores anunciam ter detectado pela primeira vez sinais do início da expansão do universo. Se confirmada, a descoberta prova a teoria cosmológica mais famosa e aceita no mundo.



Com o telescópio BICEP2, no polo Sul, cientistas obtiveram a primeira evidência concreta do Big Bang, ao detectar sinais de ondas gravitacionais que viajam no espaço desde que o universo começou a se expandir.

(Ciência Hoje On-line)

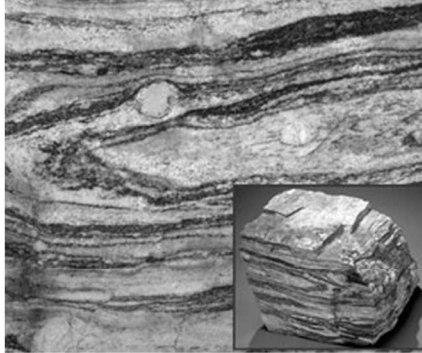
<http://cienciahoje.uol.com.br/noticias/2014/03/vestigios-do-big-bang>

TERRA PRIMITIVA

- ❑ Surgiu há aproximadamente 4,5 bilhões de anos atrás.
- ❑ Superfície era provavelmente composta por material fluido e quente:
 - rochas só começaram a se formar há cerca de 3,9 bilhões de anos.



Acasta: rocha mais antiga – 4,03 a 4,055 b.a.



http://www.regione.emilia-romagna.it/Geologia/divulgazione/pianeta_terra/09_paesaggio/img/app/c09_a01_01.jpg

b.a. = bilhões de anos

TERRA PRIMITIVA

- A Terra passava por mudanças intensas e profundas:
 - formação de rochas por resfriamento
➔ origem da crosta terrestre;
 - erupções vulcânicas muito frequentes ➔ liberação de gases e partículas na atmosfera:
 - retidos por ação da força da gravidade;
 - passaram a compor a atmosfera primitiva.



Atmosfera Primitiva Redutora



Evidências sugerem abundância de gás sulfídrico (H_2S) e compostos de ferro na Terra primitiva.

ORIGEM DA VIDA NA TERRA

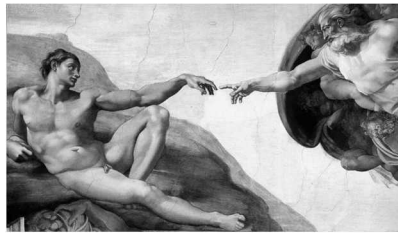
- ☐ Origem por criação divina:
 - criacionismo.
- ☐ Origem extraterrestre:
 - teoria cosmozónica ou panspermia.
- ☐ Origem por evolução química ou molecular:
 - Hipótese de Oparin e Haldane.
 - Experimento de Miller e Urey.
 - Experimento de Fox.
- ☐ Os primeiros seres vivos:
 - células procarióticas.
- ☐ Evolução do metabolismo:
 - hipótese heterotrófica;
 - hipótese autotrófica;
 - replicador primordial;
- ☐ Surgimento das células eucarióticas.
- ☐ Surgimentos dos seres pluricelulares.

Criacionismo

❑ É a hipótese mais antiga de todas e tem forte cunho religioso:

■ até hoje é aceita e defendida por fiéis de várias religiões.

A Terra surgiu há apenas alguns poucos milhares de anos e todos os seres vivos foram criados ao mesmo tempo por uma divindade, mantendo sua forma original até hoje.



Criacionismo

☐ Segundo esta hipótese, os seres vivos não mudam ao longo do tempo ➡ imutabilidade das espécies ou fixismo.

☐ Pontos contra:

- os dados científicos sugerem que a Terra se formou há muito mais tempo ➡ cerca de 4,5 bilhões de anos atrás
 - a igreja admitia a idade da Terra como sendo apenas de 6.000 anos
- registros científicos (ex.: fósseis, embriologia e anatomia comparadas) indicam que os seres vivos mudam ao longo do tempo ➡ evoluem.

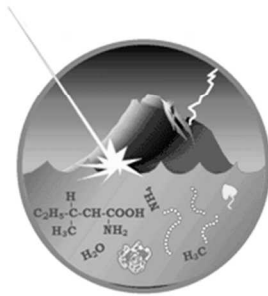
Teoria Cosmozóica ou Panspermia

- ❑ Segundo esta hipótese, os seres vivos não se originaram na Terra, mas em outros planetas:
 - foram trazidos para cá por meio de esporos ou outras formas de resistência aderidas a meteoritos que caíram no planeta (e ainda continuam caindo).
- ❑ Argumento a favor:
 - nos meteoritos que caem atualmente na superfície terrestre têm sido encontradas algumas moléculas orgânicas:
 - mais comum do que se imaginava;
 - indício de vida em outros planetas.
- ❑ Argumentos contra:
 - nenhum organismo pode viver no espaço, sujeito a baixíssimas temperaturas, aos raios cósmicos e às radiações ultravioleta;
 - meteoritos tornam-se incandescentes devido ao atrito com o ar e pulverizam-se.



Origem por Evolução Química

- ❑ Segundo essa hipótese, a primeira forma de vida deve ter surgido da matéria inanimada, a partir de associações entre moléculas, formando substâncias cada vez mais complexas, que acabaram se organizando de tal modo que formaram os primeiros seres vivos.



Origem por Evolução Química

❑ Formulada de forma independente na década de 1920 por

■ **Aleksander Ivanovich Oparin**
(1894-1980)

▪ bioquímico

■ **John Burdon Sanderson Haldane**
(1892-1964).

▪ biólogo



Aleksander Oparin



John Burdon Haldane

Hipótese de Oparin e Haldane

□ Atmosfera primitiva:

- não-oxidante ➡ ausência de oxigênio (O_2).
- Oparin ➡ propôs inicialmente que seria formada por:
 - vapor d'água (H_2O),
 - gás hidrogênio (H_2),
 - gás amônio (NH_3),
 - metano (CH_4);
- Haldane ➡ propôs que os componentes seriam:
 - vapor d'água,
 - gás amônio,
 - gás carbônico (CO_2).



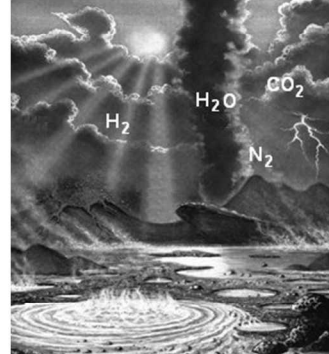
Embora a atmosfera atual da Terra seja muito diferente da primitiva, os cientistas são capazes de opinar sobre como deve ter sido sua composição pela análise dos gases eliminados nas atuais erupções vulcânicas.

ATMOSFERA PRIMITIVA

Sugestões mais recentes

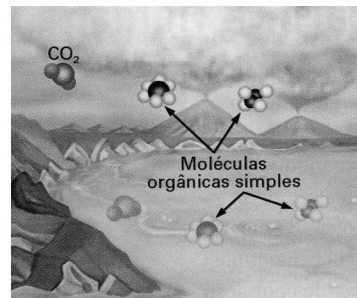
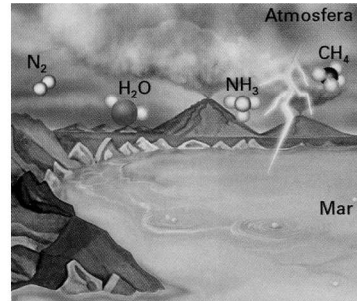
☐ Seria constituída principalmente por

- vapor d'água (H_2O)
- gás carbônico (CO_2)
- gás hidrogênio (H_2)
- gás nitrogênio (N_2)
 - amônia e metano não teriam condições de permanecer na atmosfera primitiva
 - seriam logo quebrados pela ação dos raios ultra-violeta do sol



Hipótese de Oparin e Haldane

- Condições da Terra primitiva:
 - altas temperaturas;
 - tempestades:
 - água no estado líquido ➔ formação dos mares primitivos:
 - quentes e rasos.
 - descargas elétricas provenientes dos relâmpagos.
 - alta incidência de radiação ultravioleta (sol).
- Descargas elétricas e radiação ultravioleta ➔ energia necessária para a quebra e união de moléculas:
 - formação de moléculas orgânicas simples.
- Fonte de carbono para a formação das moléculas orgânicas:
 - Oparin ➔ metano;
 - Haldane ➔ gás carbônico.



Hipótese de Oparin e Haldane

☐ Tempestades:

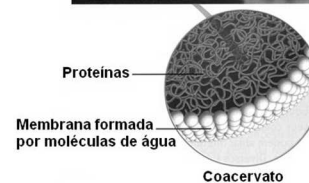
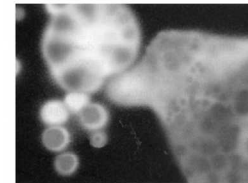
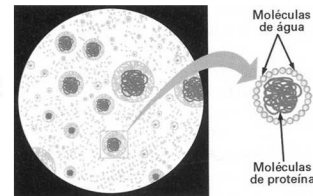
- moléculas orgânicas simples carregadas para os mares primitivos:
 - ricos em matéria orgânica ➔ caldo primordial.

☐ Temperatura elevada dos mares primitivos e forte radiação solar:

- formação de moléculas orgânicas complexas
➔ síntese prebiótica.

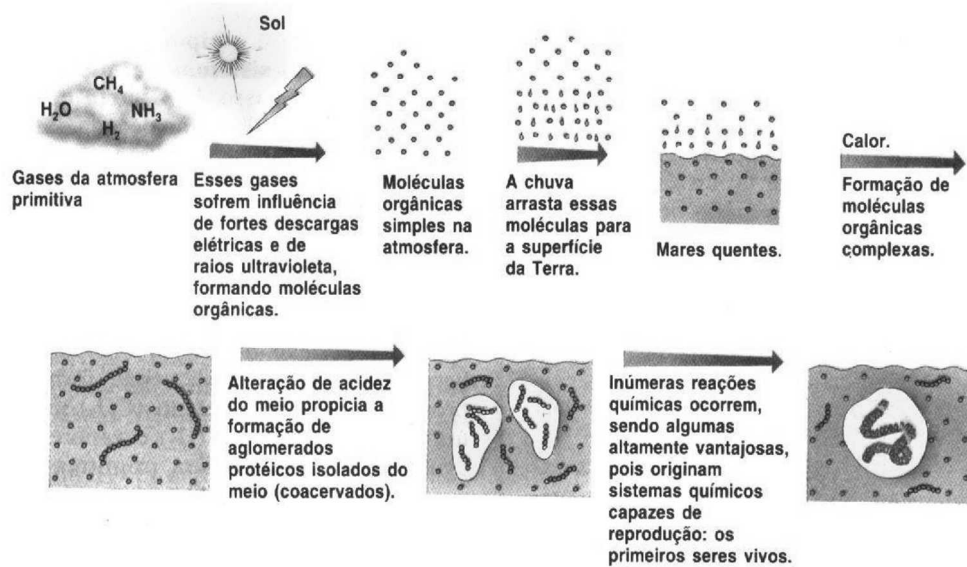
☐ Aumento da acidez e da salinidade nos mares primitivos:

- formação de coacervatos (protobionte) ➔ aglomerados proteicos isolados do ambiente externo por meio de uma película de água:
 - troca de substâncias com o meio externo;
 - possibilidade de ocorrência de reações químicas em seu interior.



Coacervatos são aglomerados de proteínas que se formam espontaneamente em soluções aquosas com certo grau de acidez e salinidade. No processo de formação de um coacervato, moléculas de proteína se agrupam em glóbulos microscópios, ao redor dos quais se organiza uma película de moléculas de água, que passa a separar o conteúdo do coacervato do ambiente ao redor. Recentemente, pesquisadores dissolveram em água material orgânico extraído de meteoritos e obtiveram coacervatos.

Hipótese de Oparin e Haldane



Substâncias relativamente complexas como proteínas e ácidos nucleicos, que nas condições terrestres atuais só se formam pela ação de células ou por síntese nos laboratórios, teriam aparecido espontaneamente, ao acaso. Esse tipo de síntese, realizada sem a participação de seres vivos, é denominada **prebiótica**, e já foi demonstrado experimentalmente que ela é possível.

Hipótese de Oparin e Haldane

	OPARIN	HALDANE
Composição da atmosfera primitiva	Sem oxigênio. Com metano, gás amônio, hidrogênio e vapor d'água.	Sem oxigênio. Com gás carbônico, gás amônio e vapor d'água.
Fonte de carbono para as moléculas orgânicas	Metano.	Gás carbônico.
Local de síntese prebiótica da matéria orgânica	Atmosfera e depois oceanos.	Atmosfera e depois oceanos.
Mecanismo	Aparecimento espontâneo de coacervatos seguido da evolução das células.	Síntese de substâncias orgânicas cada vez mais complexas na presença de radiação ultra-violeta.

Acúmulo Gradual de Compostos Orgânicos

□ Favorecido por:

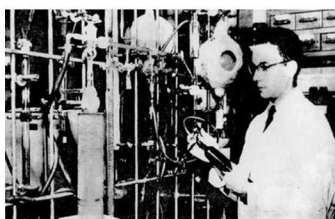
- enorme extensão da Terra, com grande variedade de nichos, onde provavelmente ocorreu a formação de moléculas que foram mantidas próximas umas das outras
 - diferentes daquelas existentes em outros locais
- longo tempo: ~2 bilhões de anos
 - período em que ocorreu a síntese prebiótica no caldo primordial
- ausência de oxigênio na atmosfera
 - moléculas formadas não foram logo destruídas pela oxidação

Na atmosfera atual da Terra, a síntese do tipo prebiótico é impossível.

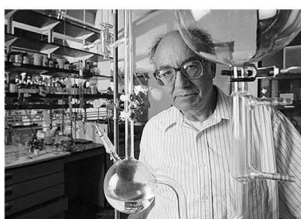
Miller-Urey

□ **1953:** Stanley Lloyd Miller (1930-2007) e Harold Clayton Urey (1893-1981)

- verificaram experimentalmente a possibilidade de formação de moléculas orgânicas nas condições da Terra primitiva



Miller - 1953



Miller - 1996



Urey - 1960

Miller construiu o simulador, mas como era aluno do eminente químico Urey, o experimento recebeu o nome dos dois cientistas.

Experimento de Miller-Urey

- ❑ Simulador constituído por tubos e balões de vidro interligados contendo uma mistura gasosa que simulava a atmosfera primitiva:

- metano (CH_4),
- amônia (NH_3),
- hidrogênio (H_2),
- vapor d'água (H_2O);

- ❑ Mistura gasosa submetida a fortes descargas elétricas durante alguns dias:

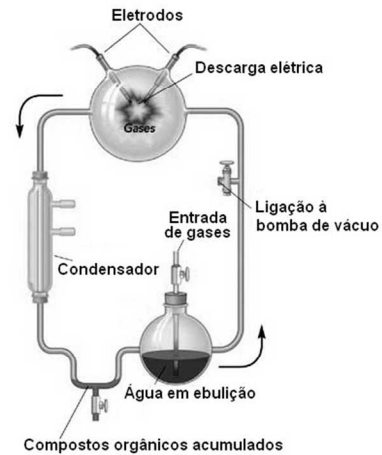
- simulação dos raios provenientes das tempestades.

- ❑ Condensador ➡ resfriamento da mistura de gases:

- simulação das chuvas e da formação dos mares primitivos.

- ❑ Aquecedor ➡ retorno da água ao estado de vapor:

- simulação da evaporação da água na superfície quente da Terra primitiva.



Testes químicos revelaram a presença de diversas substâncias ausentes no início do experimento; entre elas os aminoácidos alanina e glicina e outras substâncias orgânicas mais simples.

Miller construiu o simulador, mas como era aluno do eminente químico Urey, o experimento recebeu o nome dos dois cientistas.

Experimento de Fox

- ❑ Em 1958, **Sidney W. Fox** (1912-1998) aqueceu aminoácidos em uma superfície seca, e em seguida adicionou água levemente salgada:

- observou em microscópio a presença de pequenas esferas que podiam aumentar de tamanho e se partir em esferas menores ➡ microsferas:
 - bolsas delimitadas por membranas proteicas formadas pela união dos aminoácidos;
 - podem ter sido importantes no processo de formação dos primeiros seres vivos.

ABIOTIC PRODUCTION OF PRIMITIVE PROTEIN AND FORMED MICROPARTICLES*

Sidney W. Fox¹ and Shuhei Yuyama¹

¹Institute for Space Biosciences, The Florida State University, Tallahassee, Florida

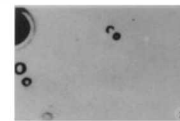
* The work reported in this paper was supported in part by Grant no. C-3971(04) of the National Institutes of Health, U.S. Public Health Service, and Grant no. NSG-173-62 of the National Aeronautics and Space Administration. Presented in part at the Symposium on Extraterrestrial Biochemistry and Biology, American Association for the Advancement of Science meeting, December 27, 1961, Denver, Colorado. Contribution no. 5 of the Institute for Space Biosciences.

Annals of the New York Academy of Sciences 108 (2) , 487-494 doi:10.1111/j.1749-6632.1963.tb13404.x

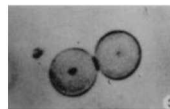
Formação e replicação das microsferas



Formação de brotos de microsferas



Liberção de brotos de microsferas



Crescimento a partir de um broto central (corado mais escuro)



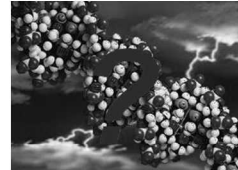
Segunda geração de microsfere madura com broto

Os Primeiros Seres Vivos

□ Provavelmente surgiram a partir de um sistema organizado como o dos coacervatos, com algumas diferenças

■ capacidade de reprodução ➡ replicador primordial:

- DNA?
- RNA?
- pré-RNA?
- rede de pequenas moléculas movidas por energia?



■ presença de uma membrana especial para separação do meio externo

■ capacidade de regular as reações químicas internas

É provável que no caldo primordial tenham surgido polímeros de aminoácidos e de nucleotídeos, formando-se assim as primeiras moléculas de proteínas e de ácidos nucleicos. Todavia, somente ácidos nucleicos são capazes de autoduplicação.

DNA como Replicador Primordial

- ❑ **Richard Dawkins (1976) – O gene egoísta:**
“A certa altura, uma molécula particularmente notável foi formada por acaso. Nós a chamaremos de replicadora. Ela pode não ter sido a maior ou mais complexa molécula existente, mas tinha a propriedade extraordinária de ser capaz de criar cópias de si mesma.”
- ❑ **Candidatos prováveis a replicador primordial:**
 - Inicialmente ➔ DNA como o mais provável.
 - Posteriormente ➔ outras moléculas candidatas.



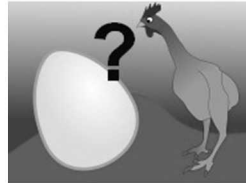
DNA como Replicador Primordial

❑ Argumentos contra:

- replicação do DNA não pode ocorrer sem a assistência de proteínas
- as proteínas usadas pelas células atuais são construídas segundo instruções codificadas no DNA



Quem surgiu primeiro: o ovo ou a galinha?



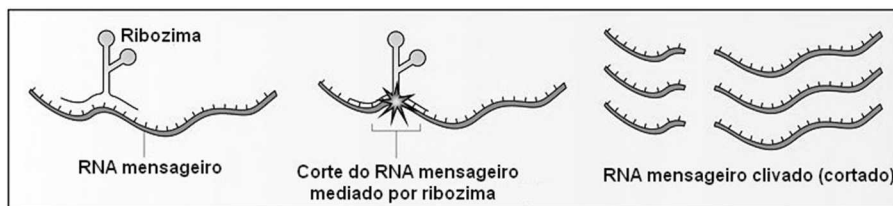
RNA como Replicador Primordial

☐ Surgiu como uma possível solução:

- classe versátil de molécula que exerce muitos papéis nas células;
- pode ser produzido em condições abióticas em laboratório;
- capacidade de replicação, originando moléculas semelhantes.

☐ Thomas R. Cech *et al.* (1980) ➡ ribozimas:

- moléculas de RNA que podem atuar diretamente no controle de reações químicas ➡ atividade catalítica.



O RNA catalítico (ribozimas) pode mediar o processamento do RNA mensageiro e catalisar a formação de ligações peptídicas. Evidências vigorosas sugerem que a tradução do RNAm pelos ribossomos não é catalisada por enzimas, mas pelo RNA do seu conteúdo.

RNA como Replicador Primordial

☐ Proposta ➔ Mundo do RNA:

- acredita-se que tenha surgido antes dos sistemas isolados por membranas (coacervatos ou microsferas).
- início da atuação da seleção natural:
 - ao se multiplicarem, moléculas de RNA produziram versões ligeiramente diferentes entre si (mutantes):
 - moléculas com maior capacidade de replicação ➔ transmissão à descendência.

☐ Walter Gilbert (Nature -1986):

“É possível contemplar um mundo de RNA, contendo apenas moléculas de RNA que servem para catalisar a síntese de si mesmas.(...) O primeiro passo da evolução então prossegue com as moléculas de RNA realizando as atividades catalíticas necessárias para montarem a si mesmas a partir de uma sopa de nucleotídeos.”



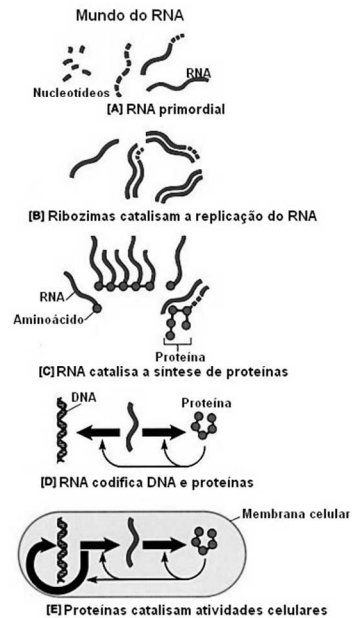
Walter Gilbert

- ☐ Primeiro RNA auto-replicador que surgiu na matéria não-viva executaria as funções atualmente executadas pelo RNA, DNA e proteínas.

RNA como Replicador Primordial

❑ Argumento a favor:

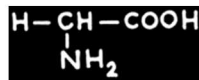
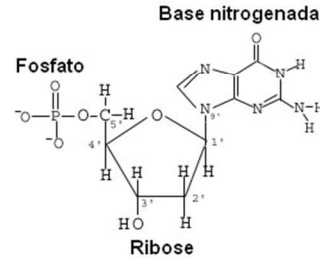
- algumas pistas indicam que o RNA surgiu antes das proteínas e do DNA na evolução da vida:
 - muitas moléculas pequenas (co-fatores) que exercem papel importante nas reações catalíticas frequentemente carregam um nucleotídeo de RNA sem função óbvia ➔ fósseis moleculares:
 - seriam relíquias herdadas da época em que apenas o RNA dominava o mundo bioquímico (sem DNA ou proteínas).



RNA como Replicador Primordial

❑ Argumentos contra:

- os blocos de construção do RNA – os nucleotídeos – são substâncias complexas:
 - formados por subunidades de açúcar (ribose) + fosfato + base nitrogenada:
 - cada nucleotídeo de RNA possui 9 ou 10 átomos de carbono, numerosos átomos de hidrogênio, nitrogênio e oxigênio e o grupo fosfato ➡ todos ligados em um padrão tridimensional preciso.
- nenhum nucleotídeo foi apontado como produto dos experimentos de Miller nem em estudos de meteoros:
 - aminoácidos são bem menos complexos do que nucleotídeos:
 - o aminoácido mais simples (glicina) contém apenas 2 átomos de carbono.



- nenhuma lei da física precisa ser violada para que ocorra a formação espontânea do RNA, mas as chances contra ela são imensas.

Aminoácidos são monômeros de proteínas e não de ácidos nucleicos. O período em que ocorreu período em que ocorreu a síntese prebiótica no caldo primordial foi longo (~2 bilhões de anos). Assim, é provável que no caldo primordial tenham surgido polímeros de aminoácidos e de nucleotídeos. Não sabemos se as esferas protenoides obtidas por Miller podem ter sido ancestrais das primeiras células ou se são criações interessantes de um laboratório de química. Sua formação requer condições que provavelmente ocorreram apenas em vulcões. Os polímeros orgânicos poderiam ter se condensado nos próprios vulcões ou sobre eles e depois, hidratados pela chuva ou umidade, reagido em solução para formar polipeptídeos ou polinucleotídeos.

Pré-RNA como Replicador Primordial

□ Alguns químicos sugeriram que uma molécula replicadora mais simples, semelhante ao RNA, surgiu primeiro e governou a vida ➡ Mundo pré-RNA:

■ também teria as capacidades catalisadoras do RNA.

□ **Argumento contra:**

■ nenhum traço desse replicador primário e catalisador hipotético foi reconhecido até o momento:

▪ o RNA deve ter assumido todas as suas funções em algum momento após seu surgimento.

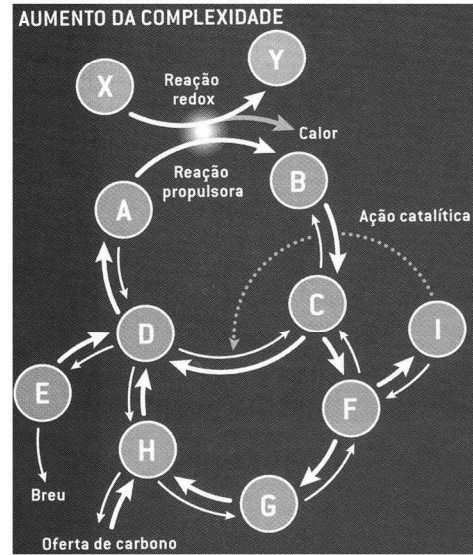
Vida com Pequenas Moléculas

- ❑ Redes de moléculas pequenas movidas por energia teriam melhores chances como iniciadoras da vida
 - proposta baseada nas ideias de **Aleksander Oparin**
- ❑ Teorias que podem dar suporte a esta hipótese existem há décadas:
 - usam definição termodinâmica em vez de genética ➡ **Sagan** (enciclopédia Britânica):
“Uma região localizada que aumenta em ordem (decrece em entropia) por meio de ciclos movidos por um fluxo de energia seria considerada viva.”

A segunda Lei da termodinâmica exige que o universo se mova em uma direção na qual a desordem (entropia) aumente.

Vida com Moléculas Pequenas

- ❑ Hipótese do metabolismo primordial
 - exige a formação de uma rede de reações químicas que aumentem em complexidade e se adaptem às mudanças ambientais



Vida com Pequenas Moléculas

☐ Argumento a favor:

- Günter Wächtershäuser (*Science* - 2000) → demonstrou parte de um ciclo envolvendo a combinação e separação de aminoácidos na presença de sulfetos metálicos catalisadores:

- energia fornecida pela oxidação do monóxido de carbono (CO) em dióxido de carbono (CO₂).



☐ Argumento contra:

- não foi demonstrada a operação de um ciclo completo ou sua capacidade de se auto-sustentar e passar por maior evolução:
 - necessários para validar o modelo da molécula pequena.

Replicador Primordial

Hipótese Mais Aceita

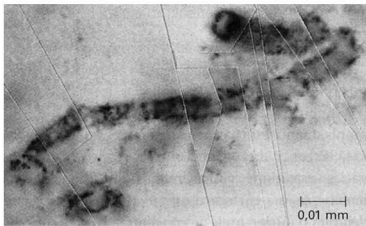
- ❑ RNAs como primeiras moléculas com capacidade de se multiplicarem e de evoluir
- ❑ Formação de moléculas de fosfolipídios ➡ primeiras bicamadas fosfolipídicas
 - envolvimento de conjuntos de moléculas de ácidos ribonucleicos, nucleotídeos, proteínas e outras moléculas
- ❑ Surgimento do DNA a partir de um molde (*template*) de RNA
 - ácidos nucleicos passaram a determinar os tipos de proteínas a serem sintetizadas
 - ação da seleção natural sobre os sistemas auto-replicantes primitivos ➡ evolução do código genético e síntese proteica completamente direcionada

A demonstração experimental mais recente de que, em laboratório, moléculas de RNA simples são capazes de evoluir para moléculas mais complexas, sem auxílio de proteínas enzimáticas, faz supor que a evolução começou com moléculas de RNA. O RNA pode ter atividade enzimática, propriedade que já se pensou ser exclusiva das proteínas. Aparecidas as primeiras moléculas de RNA com capacidade de se multiplicarem e de evoluir, estava iniciado o caminho para as primeiras células. Porém, era necessário que o sistema autocatalítico ficasse isolado, para que as moléculas não se dispersassem no líquido prebiótico. Provavelmente ao acaso, formaram-se moléculas de fosfolipídios que, espontaneamente, constituíram as primeiras bicamadas fosfolipídicas, e estas podem ter envolto conjuntos de moléculas de ácidos ribonucleicos, nucleotídeos, proteínas e outras moléculas. Estava, assim, constituída a primeira célula, com sua membrana fosfolipídica. Os fosfolipídios são moléculas alongadas, com uma cabeça hidrofílica e duas cadeias hidrofóbicas. Quando estão dissolvidas em água, as moléculas de fosfolipídios se prendem por interação hidrofóbica de suas cadeias e constituem bicamadas espontaneamente, sem necessidade de energia.

Os dados hoje disponíveis permitem supor que, em seguida ao ácido ribonucleico (RNA), deve ter surgido o ácido desoxirribonucleico (DNA), formado pela polimerização de nucleotídeos sobre um molde (*template*) de RNA, e os dois tipos de ácidos nucleicos passaram a determinar os tipos de proteínas a serem sintetizadas. Considerando a enorme variedade de proteínas celulares, formadas por 20 monômeros diferentes (os 20 aminoácidos), é pouco provável que todas as proteínas se tenham formado por acaso. A síntese das proteínas deve ter sido dirigida pelos ácidos nucleicos. Uma vez atingido este estágio de organização, a seleção natural teria agido sobre estes sistemas auto-replicantes primitivos. As primeiras protocélulas com RNA catalítico (ribozimas) e DNA (veículo de informação genética mais estável que o RNA) devem ter apresentado vantagem seletiva sobre as possuidoras só de RNA. Este ponto foi crucial. Antes deste estágio, a biogênese foi moldada por condições ambientais favoráveis na Terra e pela natureza dos próprios elementos reagentes. Quando sistemas auto-replicantes passaram a responder às forças da seleção natural, começaram a evoluir. Quanto mais sistemas bem-sucedidos e de rápida replicação eram favorecidos, sua reprodução tornava-se ainda mais rápida. Resumindo, as formas mais eficientes sobreviveram. Seguiram-se a evolução do código genético e a síntese proteica completamente direcionada. O sistema agora encontra as condições necessárias para ser o ancestral comum de todos os organismos.

Os Primeiros Seres Vivos

- ❑ Indícios de vida ➡ encontrados em rochas que datam de 3,8 bilhões de anos na Groenlândia:
 - baseiam-se em formas de carbono produzidas pelo aprisionamento, retenção e/ou precipitação de sedimentos resultantes do crescimento e da atividade metabólica de microorganismos, principalmente cianobactérias.



Fóssil mais antigo



Estromatólitos



Estromatólito cortado mostrando camadas de deposição de sedimento

Registros mais antigos de vida ➡ encontrados em rochas formadas há 3,8 bilhões de anos (período Archeano): formas semelhantes às atuais cianobactérias.

Os Primeiros Seres Vivos

- ❑ Fósseis mais antigos ➡ parecem ser de procariontes fotossintetizantes:
 - sugere que a vida pode ter surgido antes ➡ há 4 bilhões de anos:
 - supõe-se que seres fotossintetizantes não tenham sido as primeiras formas de vida em nosso planeta
 - autótrofos são mais complexos do que heterótrofos
 - não havia oxigênio na atmosfera primitiva



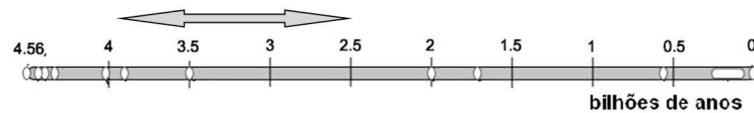
Estromatólitos do
Lago Thetis, na
Austrália Ocidental.

Arqueano (3900-2500)- A origem da vida 3.800



Reconstrução do ambiente do Arqueano.

(extraído de: <http://www.fisica.uson.mx/carlos/Tierra/>) (retirado da aula de paleontologia –IG).



Evolução do Metabolismo

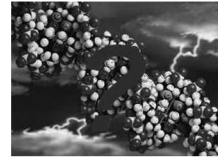
☐ Primeiros seres vivos:

- procariontes unicelulares e com capacidade de reprodução:
- necessidade de alimento ➔ fonte de matéria-prima e de energia para a síntese das substâncias orgânicas:
 - crescimento,
 - reposição de perdas do organismo,
 - reprodução.



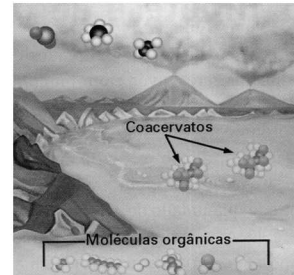
☐ Perguntas

- Como os primeiros seres vivos conseguiam obter e degradar o alimento para sua sobrevivência?
 - Hipótese heterotrófica
 - Hipótese autotrófica
- Qual teria sido a molécula replicadora primordial?



Hipótese Heterotrófica

- ❑ Primeiros organismos ➡ estruturalmente muito simples:
 - reações químicas internas também deveriam ser simples.
- ❑ Habitat:
 - ambiente aquático, rico em substâncias nutritivas;
 - ausência de oxigênio (O_2).
- ❑ Possivelmente heterótrofos:
 - utilizavam o alimento disponível no ambiente como fonte de energia e de matéria orgânica.
- ❑ Metabolismo energético ➡ possivelmente fermentação:
 - via metabólica mais simples;
 - não utiliza oxigênio.



Sopa nutritiva nos mares primitivos: alimento para os primeiros seres vivos.

Hipótese Heterotrófica

❑ Mudança nas climáticas ao longo do tempo ➡
redução da síntese prebiótica da matéria
orgânica:

- escassez de alimento dissolvido no meio;
- competição e morte de muitos organismos heterótrofos;
- surgimento dos primeiros seres vivos fotossintetizantes:
 - fundamentais para a modificação da composição da atmosfera ➡ introduziram o oxigênio no ar;
 - possibilitaram o surgimento dos primeiros seres aeróbios ➡ realizavam respiração.



Células (protocélulas) capazes de converter precursores inorgânicos em um nutriente necessário ao seu metabolismo teriam tido uma vantagem seletiva imensa sobre os heterótrofos primários, em áreas do ambiente onde os nutrientes sofreram depleção.

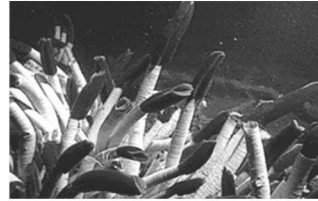
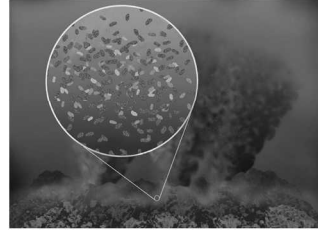
Hipótese Autotrófica

- ❑ Primeiros seres vivos não teriam surgido nos mares rasos e quentes como proposto por Oparin e Haldane:
 - ambiente muito instável;
 - queda frequente de meteoritos e cometas:
 - primeiros seres vivos não poderiam ter sobrevivido a esse bombardeamento.



Hipótese Autotrófica

- ❑ Vida teria surgido em locais mais protegidos ➔ fontes termais no assoalho dos mares primitivos.
- ❑ Possivelmente seriam autótrofos quimiossintetizantes:
 - obtinham energia para a síntese de seus compostos orgânicos a partir da oxidação de substâncias inorgânicas.
- ❑ Argumentos a favor:
 - atualmente muitas bactérias quimiossintetizantes são encontradas em fontes termais submarinas e em outros ambientes muito quentes e sulfurosos;
 - evidências sugerem abundância de gás sulfídrico (H_2S) e compostos de ferro na Terra primitiva:
 - primeiras bactérias devem ter obtido energia para a síntese de matéria orgânica a partir de reações químicas que envolvessem esses compostos.



Vermes tubícolas atualmente encontrados em fontes termais: sobrevivência depende de bactérias quimiossintetizantes (base da cadeia alimentar).

Evolução do Metabolismo

Hipótese Mais Aceita

- ❑ Primeiras células: estruturalmente simples ➡
procariontes heterotróficas anaeróbias
 - precedidas por agregados de RNA, DNA e proteínas,
envoltos por bicamada de fosfolipídios
- ❑ Manutenção da vida na Terra: aparecimento das
primeiras células autotróficas
 - surgimento de um sistema capaz de utilizar a energia do
Sol e armazená-la em ligações químicas ➡ síntese de
alimentos e liberação de oxigênio molecular (O_2)
 - grandes alterações na atmosfera ➡ formação da camada de
ozônio (O_3)

É razoável supor que a primeira célula que surgiu era estruturalmente simples, certamente uma procarionte heterotrófica, e, também, que essa célula foi precedida por agregados de RNA, DNA e proteínas, envoltos por bicamada de fosfolipídios. Esses agregados continuaram o processo evolutivo iniciado pelas moléculas de RNA, e deram origem às primeiras células, que devem ter sido procariontes estruturalmente simples. Como essas primeiras células procariontes eram heterotróficas e, portanto, incapazes de sintetizar compostos ricos em energia, o processo evolutivo teria sido interrompido pelo esgotamento dos compostos de carbono formados pelo processo prebiótico, nos nichos onde surgiram as células primordiais. Essas primeiras células, além de procariontes e heterotróficas, eram também anaeróbias, pois não existia oxigênio na atmosfera. Teria sido difícil sustentar o processo evolutivo das células primitivas, se elas tivessem permanecido dependentes, para sua nutrição, das moléculas energéticas formadas por síntese prebiótica no caldo primordial. A manutenção da vida na Terra dependeu, então, do aparecimento das primeiras células autotróficas, ou seja, capazes de sintetizar moléculas complexas a partir de substâncias muito simples e da energia solar. Admite-se que tenha surgido, em células procariontes, um sistema capaz de utilizar a energia do Sol e armazená-la em ligações químicas, sintetizando assim alimentos e liberando oxigênio. Esse novo tipo celular seria provavelmente muito semelhante às "algas azuis" ou cianofíceas, que são bactérias ainda hoje existentes. Iniciou-se, assim, a fotossíntese, que ocorreu graças ao aparecimento, nas células, de certos pigmentos, como a clorofila (pigmento de cor verde), que capta as radiações azul e vermelha da luz do Sol, utilizando sua energia para ativar processos sintéticos.

O oxigênio liberado pela fotossíntese realizada pelas bactérias autotróficas foi-se acumulando na atmosfera. Isso veio a produzir grandes alterações na atmosfera, pois as moléculas de oxigênio (O_2) se difundiram para as alturas mais elevadas da atmosfera, onde se romperam sob ação da radiação ultravioleta, originando átomos de oxigênio (O), muitos dos quais se recombinaram para formar ozônio (O_3), que tem grande capacidade de absorver o ultravioleta. Desse modo, formou-se, pouco a pouco, uma camada de ozônio que protege a superfície da Terra contra a radiação ultravioleta, mas que é transparente aos comprimentos de onda visíveis.

O início da fotossíntese e as modificações da atmosfera foram de grande importância para a evolução das células e das formas de vida hoje existentes na Terra. Graças à fotossíntese, surgiu o oxigênio na atmosfera, e isso permitiu o aparecimento de células aeróbias, ao mesmo tempo que criou uma cobertura protetora de ozônio nas camadas superiores da atmosfera. As bactérias anaeróbias ficaram restritas a nichos especiais, onde não

existe oxigênio.

Os primeiros organismos similares a bactérias proliferaram, gerando uma grande variedade de formas, algumas capazes de realizar fotossíntese. Destas evoluíram as cianobactérias produtoras de oxigênio, há aproximadamente 3 bilhões de anos.

Aparecimento das primeiras células autotróficas



Colônias de cianobactérias, Austrália

Shark Bay,
costa oeste Austrália



<http://www.ucmp.berkeley.edu/bacteria/stromats.jpg>

Estromatólitos



http://www.unb.br/ig/glossario/fig/Conophyton_Museu.htm

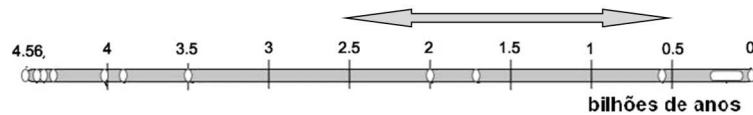
Aparecimento das primeiras células autotróficas



http://www.space.gc.ca/asc/eng/sciences/ozone_layer.asp

Oxigenação gradual da atmosfera.

Proterozoico (2.500-570)



SURGIMENTO DAS CÉLULAS EUCARIONTES

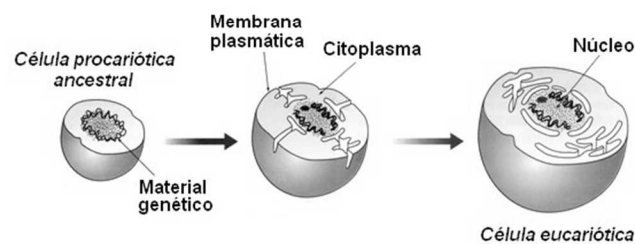
- ❑ Registro fóssil ➡ 1,7 bilhão de anos atrás
 - supõe-se que tenham surgido um pouco antes



Supõe-se que o passo seguinte no processo evolutivo, depois das células procariontes autotróficas, foi o aparecimento das células eucariontes.

SURGIMENTO DAS CÉLULAS EUCARIONTES

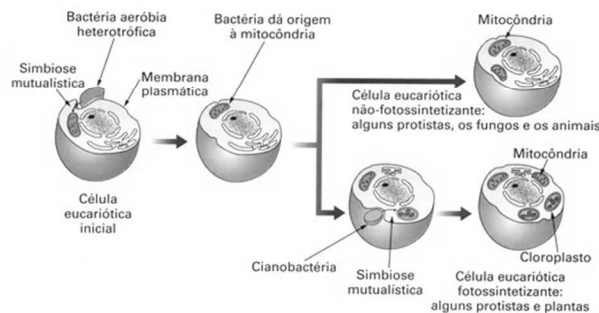
- ❑ Primeiras células eucariontes ➔ teriam surgido de células procarióticas que passaram a desenvolver evaginações e invaginações da membrana plasmática:
 - tornaram-se maiores e mais complexas.
- ❑ Dobramentos da membrana ➔ origem de estruturas membranosas:
 - organelas citoplasmáticas delimitadas por membrana;
 - carioteca (membrana ou envelope nuclear):
 - delimita o núcleo, onde se concentra o material genético da célula.



Supõe-se que o passo seguinte no processo evolutivo, depois das células procariontes autotróficas, foi o aparecimento das células eucariontes.

SURGIMENTO DAS CÉLULAS EUCARIÓTICAS

- **Lynn Margulis (1966): hipótese da endossimbiose** ➔ proposta para a origem de mitocôndrias e cloroplastos:
- mitocôndrias ➔ teriam surgido por mutualismo entre células eucariontes iniciais (anaeróbias) e células procariontes aeróbias;
 - cloroplastos ➔ teriam surgido posteriormente por mutualismo entre células eucariontes aeróbias e cianobactérias.



Há evidências sugestivas de que as organelas envolvidas nas transformações energéticas, mitocôndrias e cloroplastos, derivam de bactérias que foram fagocitadas, escaparam dos mecanismos de digestão intracelular e se estabeleceram como simbiotes (mutualistas) nas células eucariontes hospedeiras, criando um relacionamento benéfico e que se tornou irreversível com o passar dos anos, devido a mutações ocorridas no simbiote. As principais evidências a favor dessa hipótese são: (1) mitocôndrias e cloroplastos possuem um genoma circular, como o das bactérias; (2) essas organelas têm duas membranas, sendo a membrana interna semelhante em composição às membranas bacterianas, e a membrana externa, que seria a parede do vacúolo fagocitário, assemelha-se à membrana das células eucariontes hospedeiras.

SURGIMENTO DAS CÉLULAS EUCARIÓTICAS

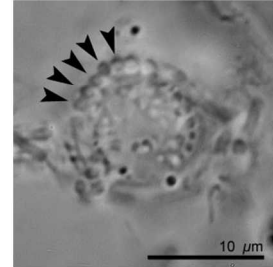
□ Argumentos a favor da hipótese da endossimbiose

- mitocôndrias e cloroplastos são as únicas estruturas citoplasmáticas que possuem seu próprio material genético
 - capazes de se dividir independentemente da divisão da célula
- DNA de mitocôndrias e cloroplastos é circular, como nos procariontes
- presença de dupla membrana em mitocôndrias e cloroplastos
 - membrana externa seria uma evidência de que as bactérias e as cianobactérias que deram origem às organelas atuais foram englobadas por células eucarióticas primitivas

SURGIMENTO DAS CÉLULAS EUCARIONTES

❑ Argumentos a favor da hipótese da endossimbiose

- existência de organismos eucariontes desprovidos de mitocôndrias que apresentam simbiose mutualística permanente com bactérias aeróbias ➡ *Pelomyxa palustris*, espécie de ameba de água doce
- existência de organismos atuais que apresentam simbiose mutualística permanente com cianobactérias (canelas) ➡ *Cyanophora paradoxa*, alga protista

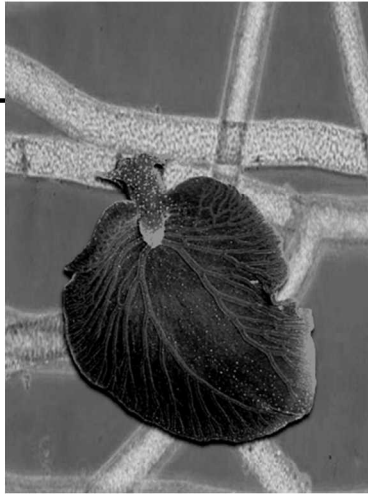


Núcleo rodeado por bactérias simbióticas.



Cyanophora paradoxa

Canelas são cloroplastos que retêm características típicas das cianobactérias que estão ausentes nos plastos do resto das algas e plantas (por exemplo, possuem uma parede celular residual de peptidoglicano).

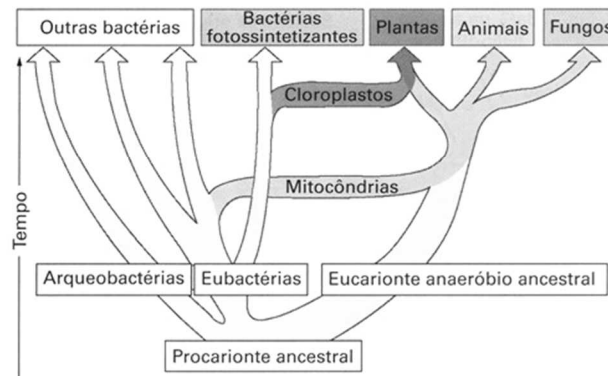


<http://www.plantphysiol.org/content/vol123/issue1/images/medium/pp1231cvr001.gif>

Molusco com alga endossimbionte
Vírus passaram genes da alga para o Molusca de forma a permitir
sua sobrevivência

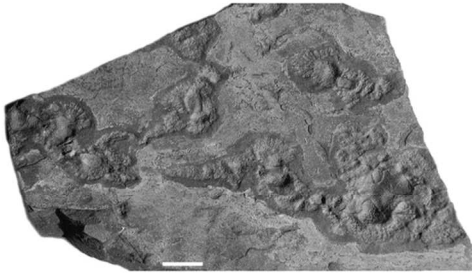
SURGIMENTO DOS SERES MULTICELULARES

- ❑ Suposição ➡ células resultantes da divisão celular não se separaram e passaram a apresentar divisão de trabalho e cooperação
 - não puderam mais viver de forma independente



SURGIMENTO DOS SERES MULTICELULARES

- ❑ Fósseis de Gabon (África): 2,1 b.a.
 - representam sinais antigos de vida multicelular



Fóssil de Gabon, África:
Nature **466**: 100-104, 2010



The colonial macrofossils
found in Gabon.
El Albani



Microtomography reconstruction of
the outer (left) and inner (right)
morphology of one of the
macrofossils.
El Albani - Masurier

Nature 2010.
doi:10.1038/news.2010.323

Fósseis do tamanho de um polegar descobertos em Gabão, na África Ocidental, foram verdadeiros gigantes há 2,1 bilhões anos atrás.

b.a. = bilhões de anos

Os fósseis de organismos multicelulares encontrados na Índia eram quase meio bilhão de anos mais jovens que o fóssil de Gabon.

BIBLIOGRAFIA PRINCIPAL

- ❑ AMABIS, José Mariano; MARTHO, Gilberto Rodrigues. Biologia das Células 1. 2ª ed. São Paulo, Ed. Moderna Ltda, 2004.
- ❑ HICKMAN Jr., C.P.; ROBERTS, L.S. LARSON, A. Princípios Interados de Zoologia. 11ª Ed. Rio de Janeiro, Ed. Guanabara Koogan, 2004.
- ❑ JUNQUEIRA, L.C.; CARNEIRO, J. Biologia Celular e Molecular. 7ª ed. Rio de Janeiro, Ed. Guanabara Koogan, 2000.
- ❑ LOPES, Sônia. Bio 1. São Paulo, Ed. Saraiva, 2006.
- ❑ MAXMEN, A. Nature, 2010. doi:10.1038/news.2010.323.
- ❑ SHAPIRO, Robert. Uma origem mais simples da vida. Scientific American Brasil, ano 6 (62): 36-43, 2007.