

FUNDAMENTOS DE ASTROBIOLOGIA

AST-416-3

Aula 1 - Introdução

C.A.Wuensche

INPE - Divisão de Astrofísica

<http://www.das.inpe.br/~alex>



- ☑ Astrobiologia: conceituação e histórico
- ☑ O que é vida?
- ☑ Leitura:
 - ✓ Cap. 2 do livro "Astrobiology" (Cockell)
 - ✓ Artigo "The Astrobiology Primer 2.0", caps. 1 e 2 (Domagal-Goldman & Wright, Eds., 2016)



Um Universo Biofílico

Um Universo favorável à vida – que podemos chamar de **biofílico** – tem que ser especial em diversos aspectos. Os pré-requisitos para qualquer forma de vida (estrelas com vida longa, uma tabela periódica, desvio do equilíbrio termodinâmico, química complexa, etc.) são extremamente sensíveis às leis físicas e não poderia ter aparecido, a partir de um “Big Bang”, cuja receita fosse minimamente diferente da que conhecemos.

Sir Martin Rees



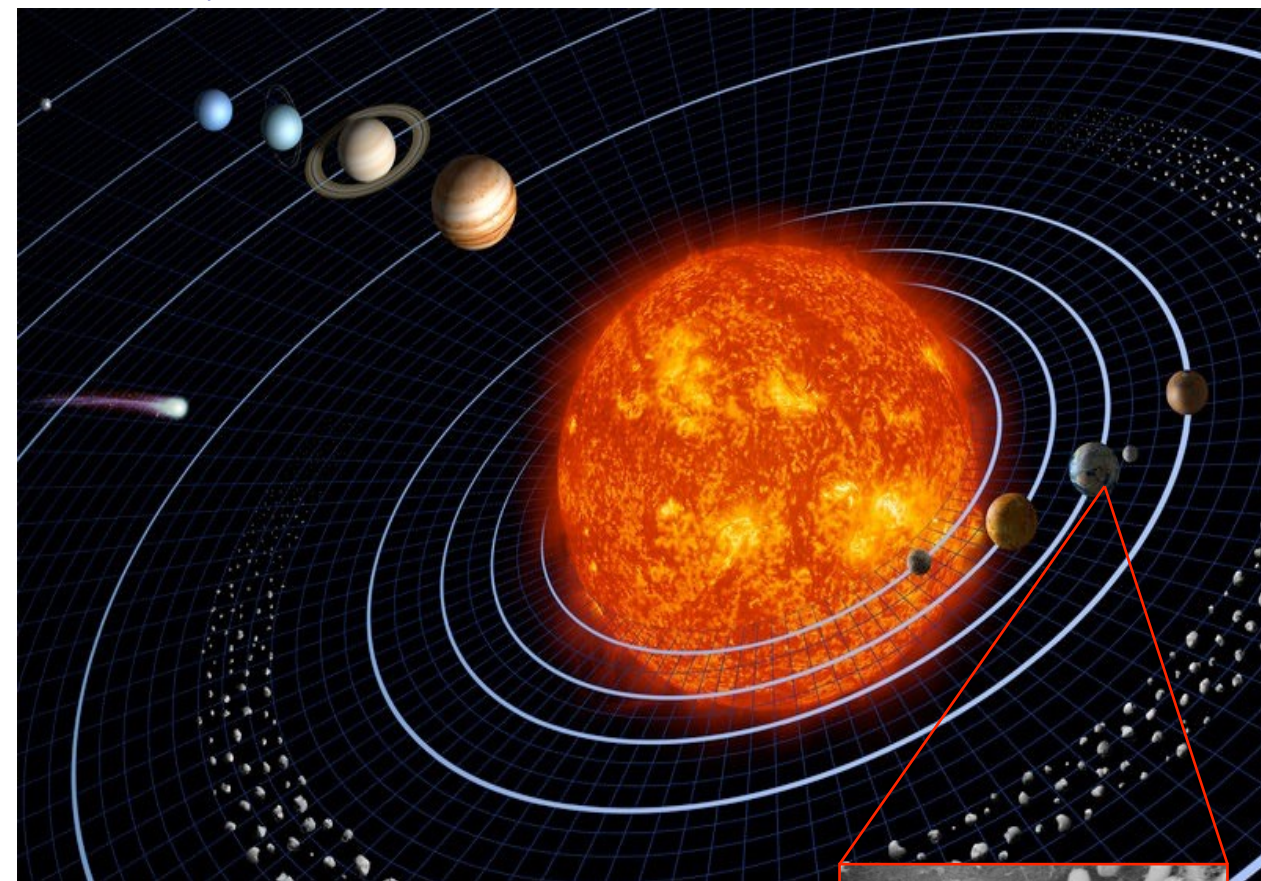
O que é Astrobiologia?

- ☑ O estudo **multidisciplinar** da origem, evolução, distribuição e destino da vida no Universo
- ☑ Atualmente, **a astrobiologia inclui o estudo da vida em condições adversas na Terra**
- ☑ Identificação de formas de vida **“COMO NÃO A CONHECEMOS”!!!!**



Astrobiologia: ciências de base e eixos de pesquisa

- ✓ Astronomia/Astrofísica
- ✓ Bioquímica/Química
- ✓ Ciências Planetárias
- ✓ Geologia/Geofísica
- ✓ Meteorologia/Oceanografia
- ✓ Engenharias
- ✓ Física/Teoria da informação
- ✓ Nanociências
- ✓ Microbiologia/Biologia Molecular
- ✓ Ecologia/Sistemas Complexos





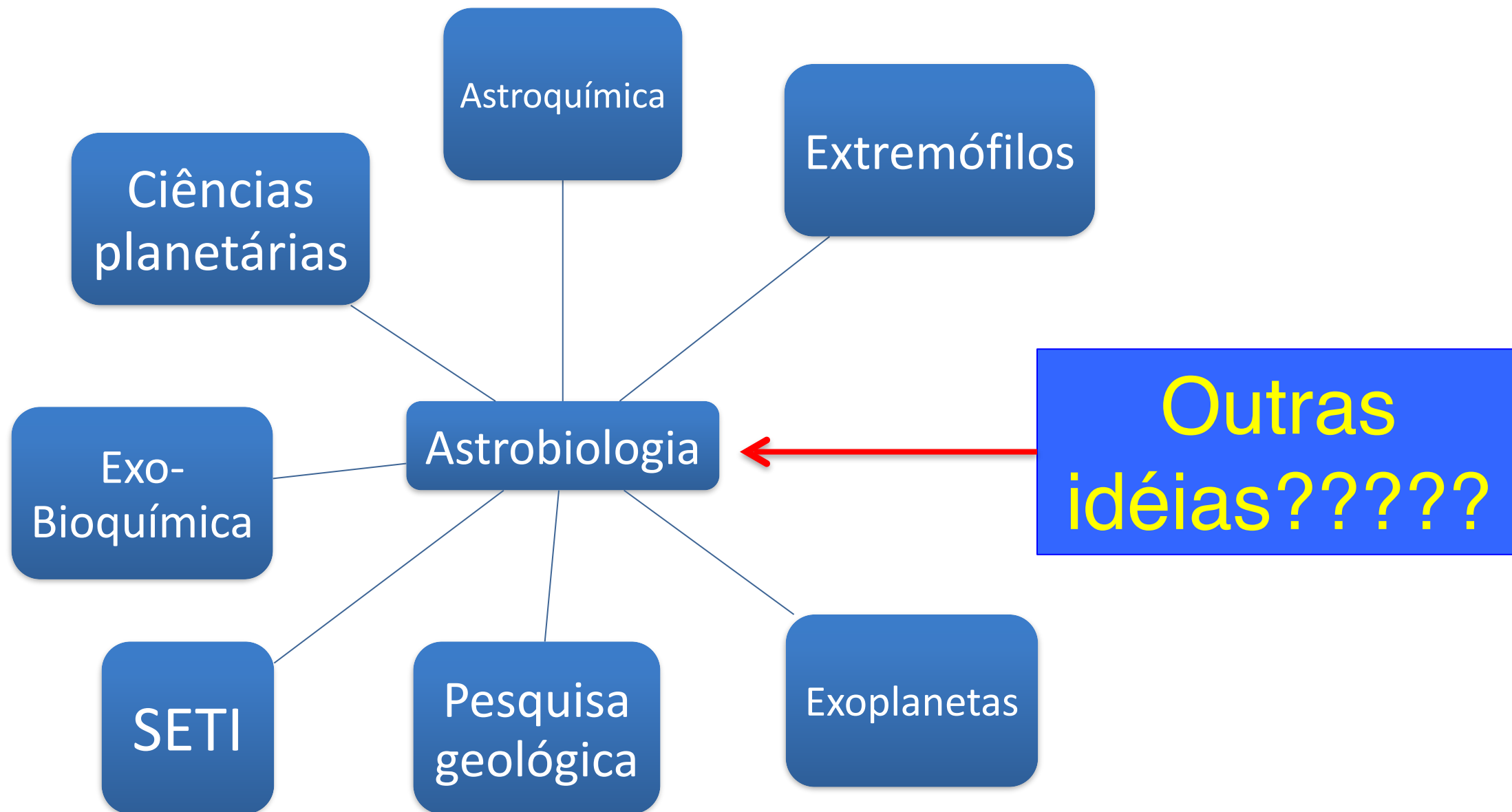
Astrobiologia: ciências de base e eixos de pesquisa

- ✓ Astronomia/Astrofísica
- ✓ Bioquímica/Química
- ✓ Ciências Planetárias
- ✓ Geologia/Geofísica
- ✓ Meteorologia/Oceanografia
- ✓ Engenharias
- ✓ Física/Teoria da informação
- ✓ Nanociências
- ✓ Microbiologia/Biologia Molecular
- ✓ Ecologia/Sistemas Complexos

- 
- História da complexidade cósmica
 - Universo molecular
 - Habitabilidade
 - Sistema Solar
 - Exoplanetas
 - Extremófilos
 - Origens da vida
 - Bioassinaturas
 - Evolução das biosferas
 - Ação humana na Terra e além











Questões fundamentais (NASA Astrobiology Program)

- ☑ Como a vida se originou e evoluiu na Terra? Ela é um “imperativo cósmico” ou simplesmente um evento ao acaso?
- ☑ Como a vida co-evolui com um planeta?
- ☑ Existe vida em outras partes do Universo? Ou ela é formada e se desenvolve a partir de processos físico-químicos locais?
- ☑ Qual será o futuro da vida na Terra e sua capacidade de se mover além da Terra? Existem condições realistas, no Sistema Solar e fora dele, para a origem e evolução da vida da forma como a conhecemos?

As grandes questões
filosóficas

- Quem somos?
- De onde viemos?
- Estamos sós?
- Para onde vamos?



Alguns pontos derivados

- ☑ Entender como a vida originou-se na Terra
- ☑ Determinar os princípios gerais que governam a organização da matéria em sistemas vivos
- ☑ Explorar como a vida evolui nos níveis molecular, organísmico e ecossistêmico
- ☑ Determinar como a biosfera terrestre co-evoluiu com a Terra
- ☑ Estabelecer limites para a vida em ambientes que fornecem condições semelhantes às existentes (possivelmente) em outros mundos



Alguns pontos derivados

- ☑ Determinar o que torna um planeta habitável e quão comuns são estes planetas no Universo
- ☑ Determinar como reconhecer assinaturas de formas de vida em outros planetas além do Sistema Solar
- ☑ Determinar se há (ou houve) vida em outros pontos do Sistema Solar, particularmente em Marte, Europa e Titã
- ☑ Determinar como ecossistemas respondem à mudanças ambientais em escalas de tempo relevantes à vida humana na Terra



Alguns pontos derivados

- ☑ O que é a vida?
 - ✓ uma questão além da biologia comum
 - ✓ subjetividade e definibilidade
- ☑ Como seria a vida fora da Terra?
 - ✓ a vida como nós **não** conhecemos?
- ☑ Como detectar a vida fora da Terra?
 - ✓ Explorações in situ
 - ✓ Criptoecossistemas
 - ✓ Exomicropaleontologia
 - ✓ Bioassinaturas
 - ✓ Ecocatástrofes
 - ✓ Síndrome de Gaia



A relevância científica

- ☑ ASTROBIOLOGIA É UMA OPÇÃO EXCELENTE PARA MOTIVAR O ENSINO DE CIÊNCIA:
 - ✓ Abordagem naturalmente interdisciplinar, interessante e diferente, capaz de atrair jovens para a área científica
 - ✓ Forma alternativa de engajar professores de áreas biológicas e humanidades em projetos de ciências exatas (e.g., bio, geo e história em projetos de física e química)
 - ✓ Atualmente baseada em forte motivação científica e com várias linhas de ação diferentes



Disseminação de conhecimento: algumas estratégias básicas...

- ☑ A partir da experiência de um cosmólogo experimental:
 - ✓ Palestras para o ensino médio, com propostas de workshops e atividades (ligadas ao projeto SETI, à sustentabilidade, leitura de livros específicos...)
 - ✓ Abordagem “neuronal”: estabelecer conexões lógicas, mas pouco exploradas, entre disciplinas diferentes (ciências atmosféricas e exoplanetas, biologia molecular e física atômica, cosmologia e bioquímica, astronomia estelar e geologia...)
 - ✓ Curso de pós-graduação: Fundamentos de Astrobiologia (INPE 2016 a 2022), aceitando estudantes com diversas formações.



Disseminação de conhecimento: algumas estratégias básicas...

- ☑ A partir da experiência de um cosmólogo experimental:
 - ✓ Supervisão de teses e dissertações em áreas correlatas, para formar quadros: da cosmologia para a astroquímica, através da radio astronomia (“Busca de água na vizinhança solar, Dissertação de Mestrado, T. Monfredini (2010))
 - ✓ Material didático em português: uma enorme lacuna! É necessário gerar conteúdos além do que é escrito na Scientific American e Ciência Hoje, para que os conceitos que sustentam a Astrobiologia sejam discutidos “fora da academia”.



PARA PENSAR UM POUCO...

- ☑ Técnicas em astronomia e astrofísica vêm ampliando o espaço de busca para biotraçadores no Sistema Solar e “para o Infinito e além” – excelente para “fisgar” alunos do Ensino Médio
- ☑ Radioastronomia ainda é uma ferramenta subutilizada para astrobioquímica. Há avenidas a serem exploradas (alunos de graduação e pós-graduação na área)
- ☑ Extremófilos ainda são, de longe, nossa melhor aposta para ETs (no momento, é o que permite a todos os cientistas ligados à biologia prestar atenção e tentar entrar no assunto)
- ☑ Embora seja desafiador (e a boa ciência TEM QUE SER), podemos fazer o exercício de imaginar outras formas de vida baseada em processos bio-físico-químicos diferentes do que conhecemos, para expandir as ideias para formas de vida “COMO NÃO CONHECEMOS” (exigindo, novamente, estudantes com bom treinamento interdisciplinar – que deveria vir da exposição no Ensino Médio)



De onde vem esse interesse?

- ☑ Geologia/Biologia
 - ✓ Micróbios em ambientes extremos
 - ✓ Evolução na determinação do código genético e registros geológicos
- ☑ Astronomia recente
 - ✓ Milhares de planetas extrassolares descobertos
 - ✓ Busca de "outras Terras" (p.ex. missões de exploração na trilha dos satélites CoRoT Kepler)
- ☑ Ciências planetárias
 - ✓ Água em Marte, oceanos em Europa, compostos orgânicos em Titã



O que é vida?

- ☑ Erwin Schroedinger (1944) colocou o problema em bases físicas e químicas, em seu livro “O que é vida: o aspecto físico da célula viva”, resultado das Conferências Trinity.
- ☑ Alguns pontos chave:
 - ✓ A matéria viva **evita** o equilíbrio termodinâmico
 - ✓ A matéria viva **depende** de entropia negativa (ou energia livre)
 - ✓ A matéria viva **mantém seu estado organizado**, aumentando a entropia da vizinhança



O que é vida?

- ☑ Erwin Schroedinger (1944) colocou o problema em bases físicas e químicas, em seu livro “O que é vida: o aspecto físico da célula viva”, resultado das Conferências Trinity.
- ☑ Alguns pontos chave:
 - ✓ A matéria viva **evita** o equilíbrio termodinâmico
 - ✓ A matéria viva **depende** de entropia negativa (ou energia livre)
 - ✓ A matéria viva **mantém seu estado organizado**, aumentando a entropia da vizinhança

Sistema de Sistemas que transforma desordem em ordem!



Adendos à definição de Schroedinger

- ☑ Paul Davies e Freeman Dyson incluíram os seguintes requisitos (anos 70 e 80)
 - ✓ Metabolismo (do grego – mudança)
 - ✓ Complexidade e organização (essenciais)
 - ✓ Reprodução (incluindo a cópia do sistema replicador)
 - ✓ Desenvolvimento e evolução (chave para adaptabilidade)
 - ✓ Autonomia (“auto-determinação”)



Como podemos definir vida?

- ✓ Conceito bastante subjetivo, mas podemos listar algumas características comuns (Schneider, astro-ph/9604131, 1996; Szostak et al., Nature, 2001; Bains, Astrobiology, 2005; Lunine 2004; Ward, 2005)
 - Interação complexa e diversificada com o meio ambiente
 - Sistema fora do equilíbrio termodinâmico
 - Memória + mecanismo de leitura
 - Evolução
 - **Auto-replicação**
 - **Grande quantidade de informação**



Busca prática, hipóteses restritivas...

- ☑ Que tipo de sistemas complexos?
 - ✓ Cristais líquidos, plasmas...
- ☑ Hipótese conservadora: sistemas químicos.
 - ✓ C, Si?
- ☑ Presença de líquidos?
 - ✓ H₂O: excelente solvente e abundante na natureza...
- ☑ Existência de uma interface sólido/líquido?
 - ✓ Favorecimento da interação molecular...



Como definir vida?

Sistemas de GRANDE complexidade!!!

Como definir vida?

GRANDE complexidade!!!



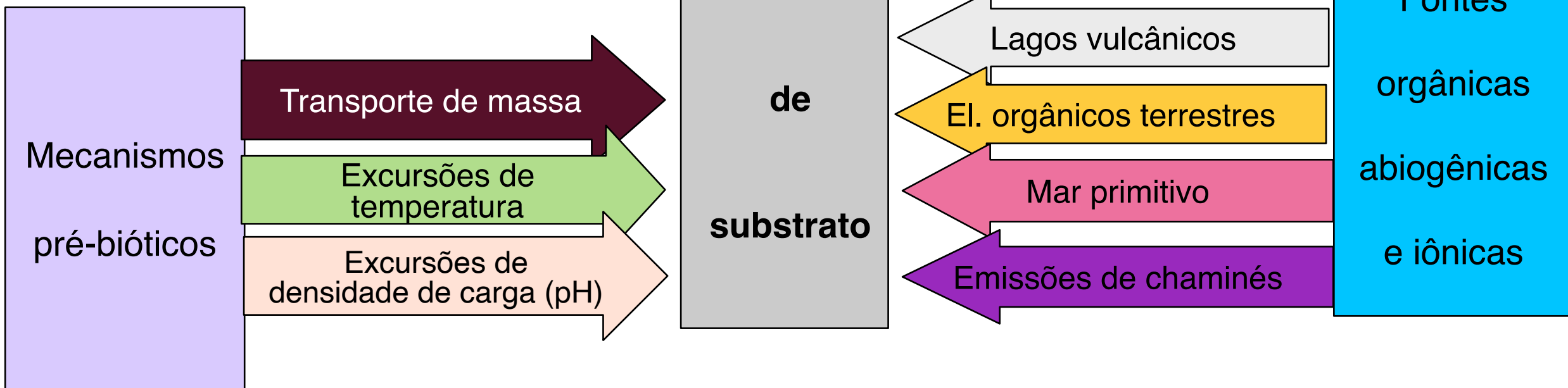
Como definir vida?

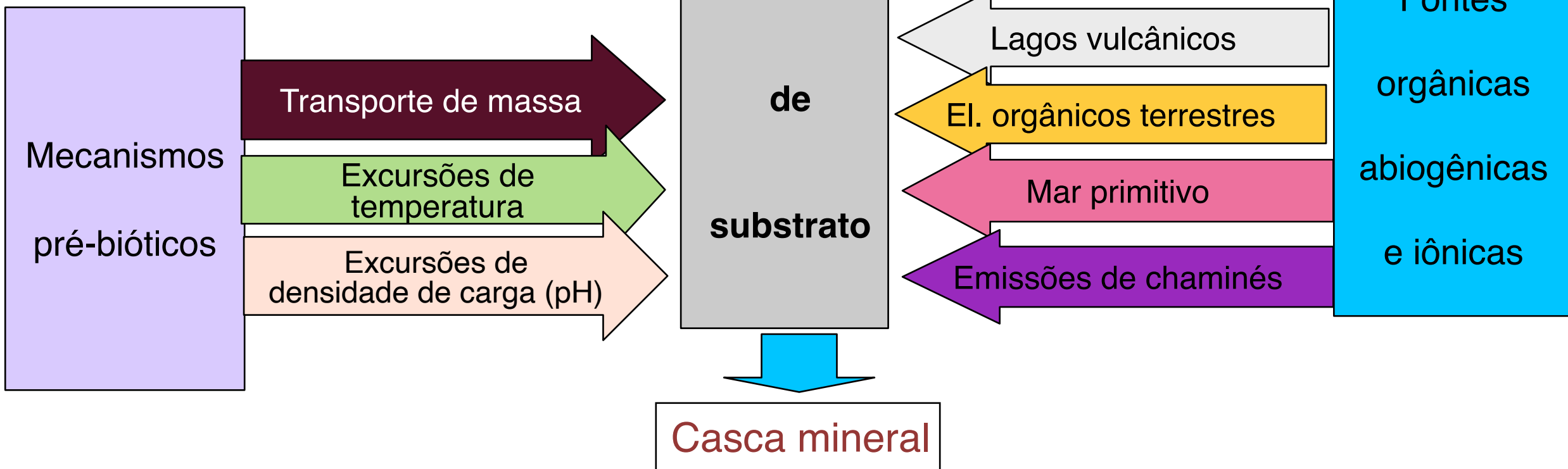


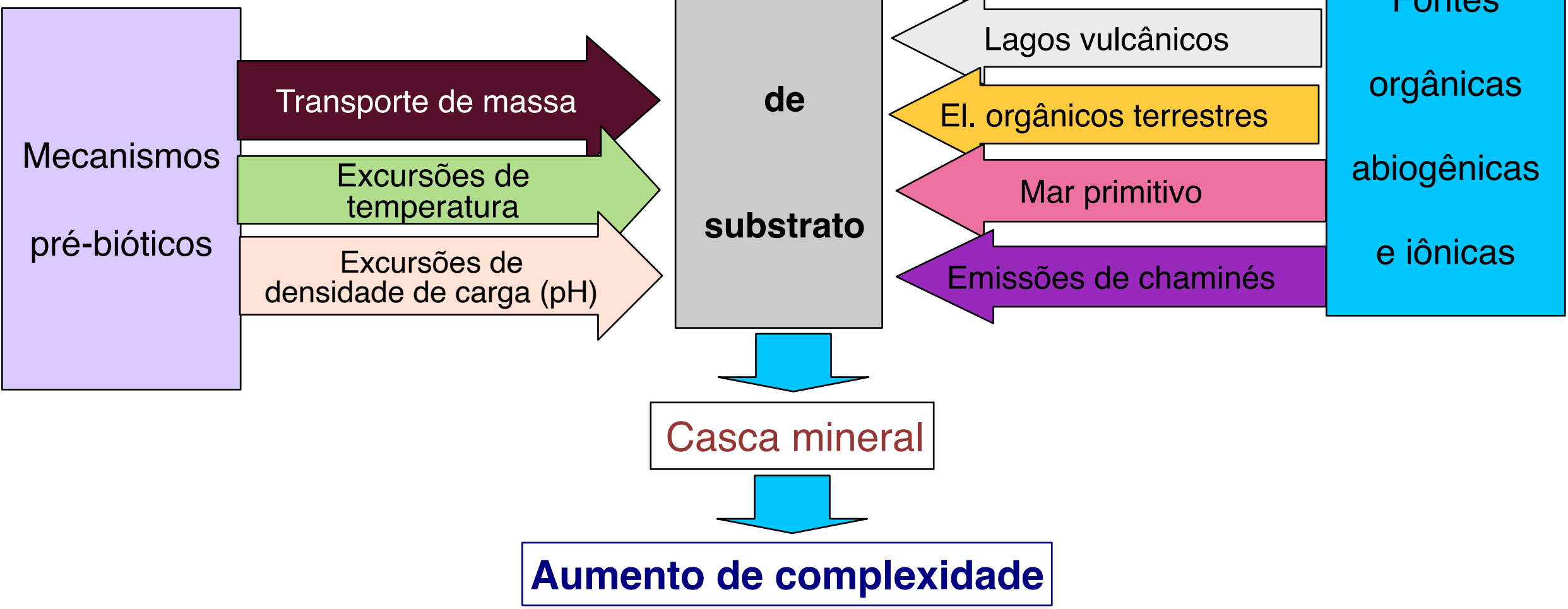


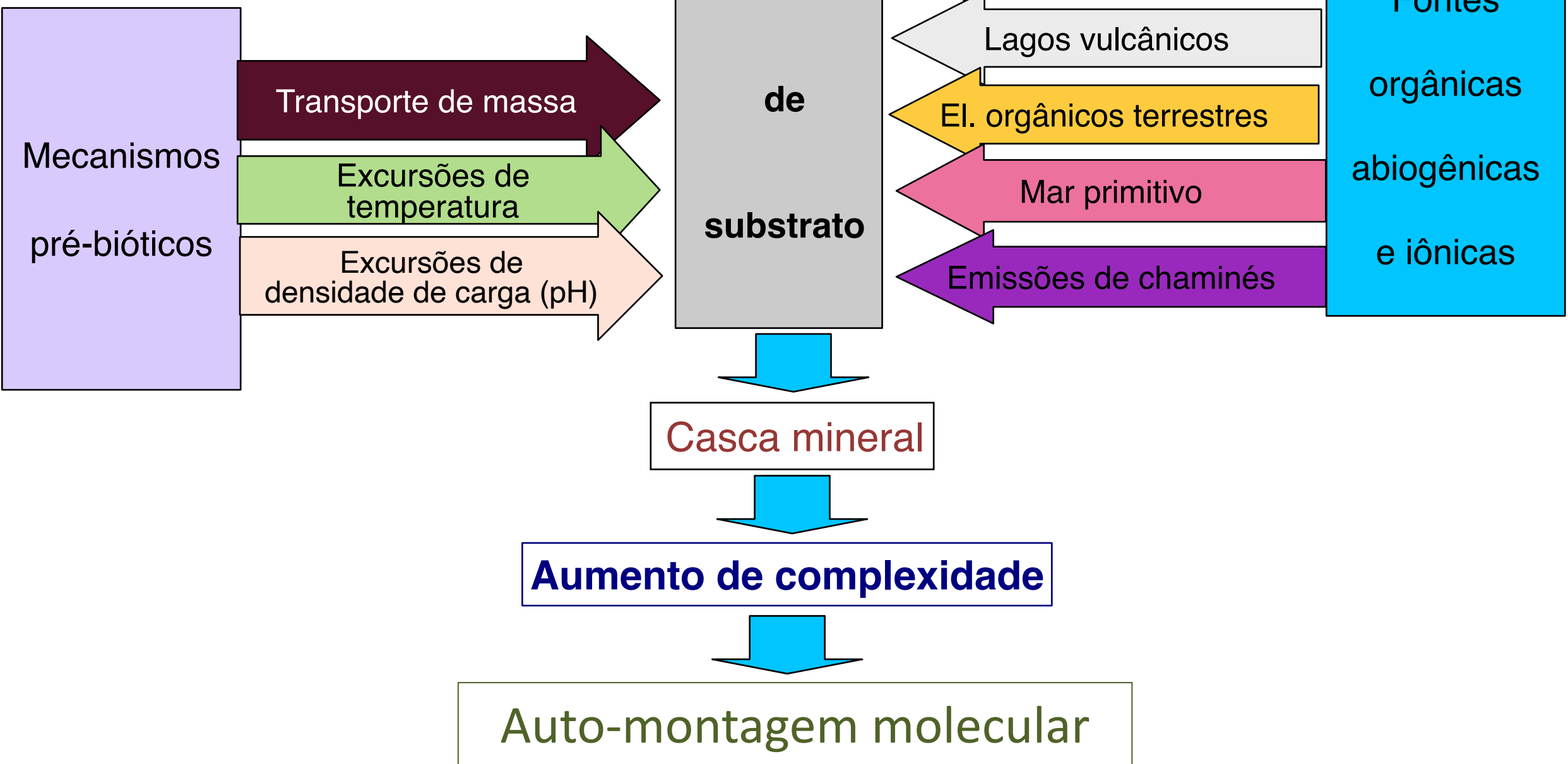
Definição operacional

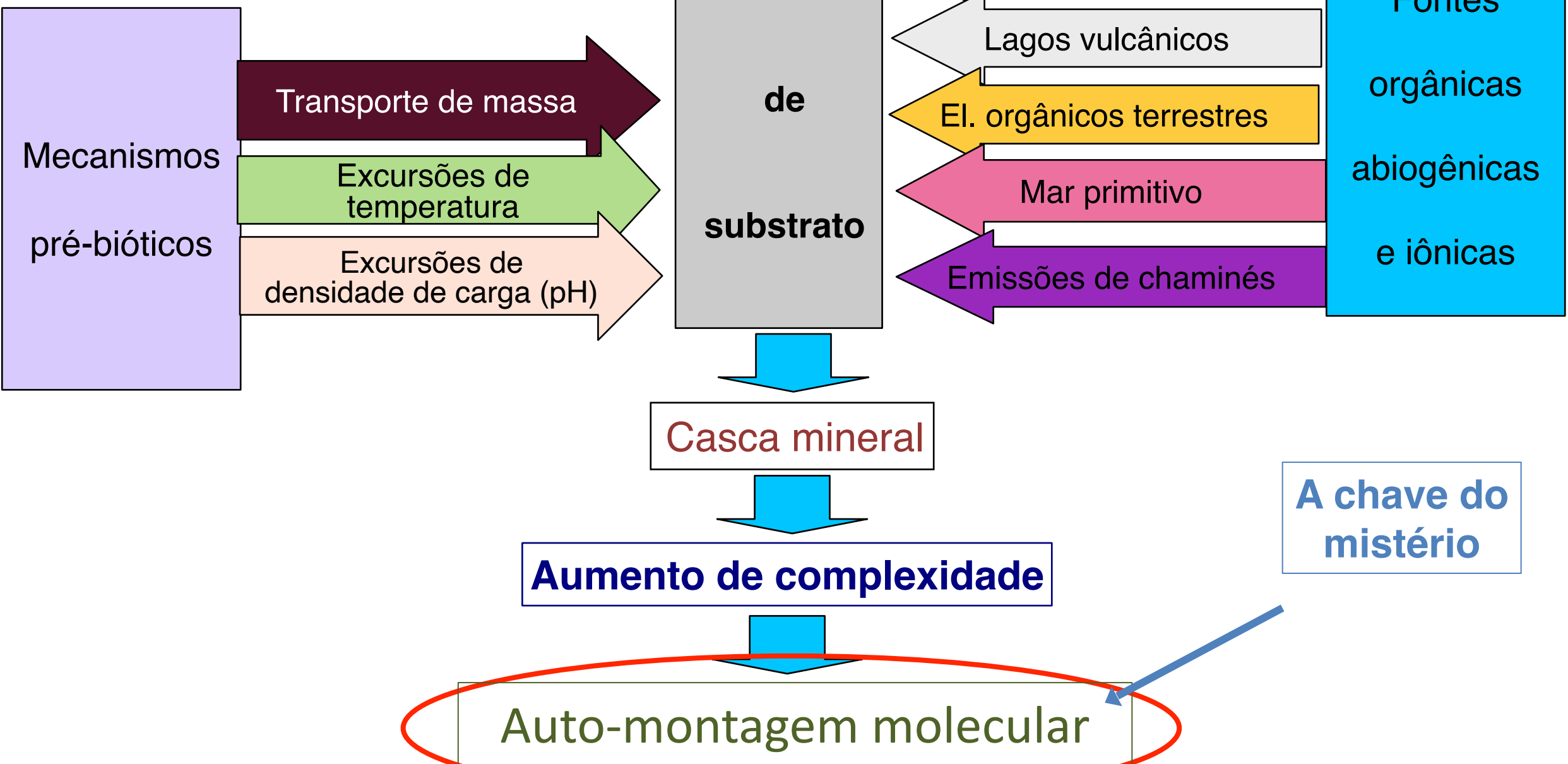
- ☑ **Vida é um sistema químico auto-sustentado capaz, no sentido Darwiniano, de evoluir (Joyce 1994).**
- ✓ Necessidade de elementos químicos, energia, compartimentalização, informação e metabolismo
- ✓ **Sistema mais simples:** parede + membrana + química diferente do ambiente em torno do sistema

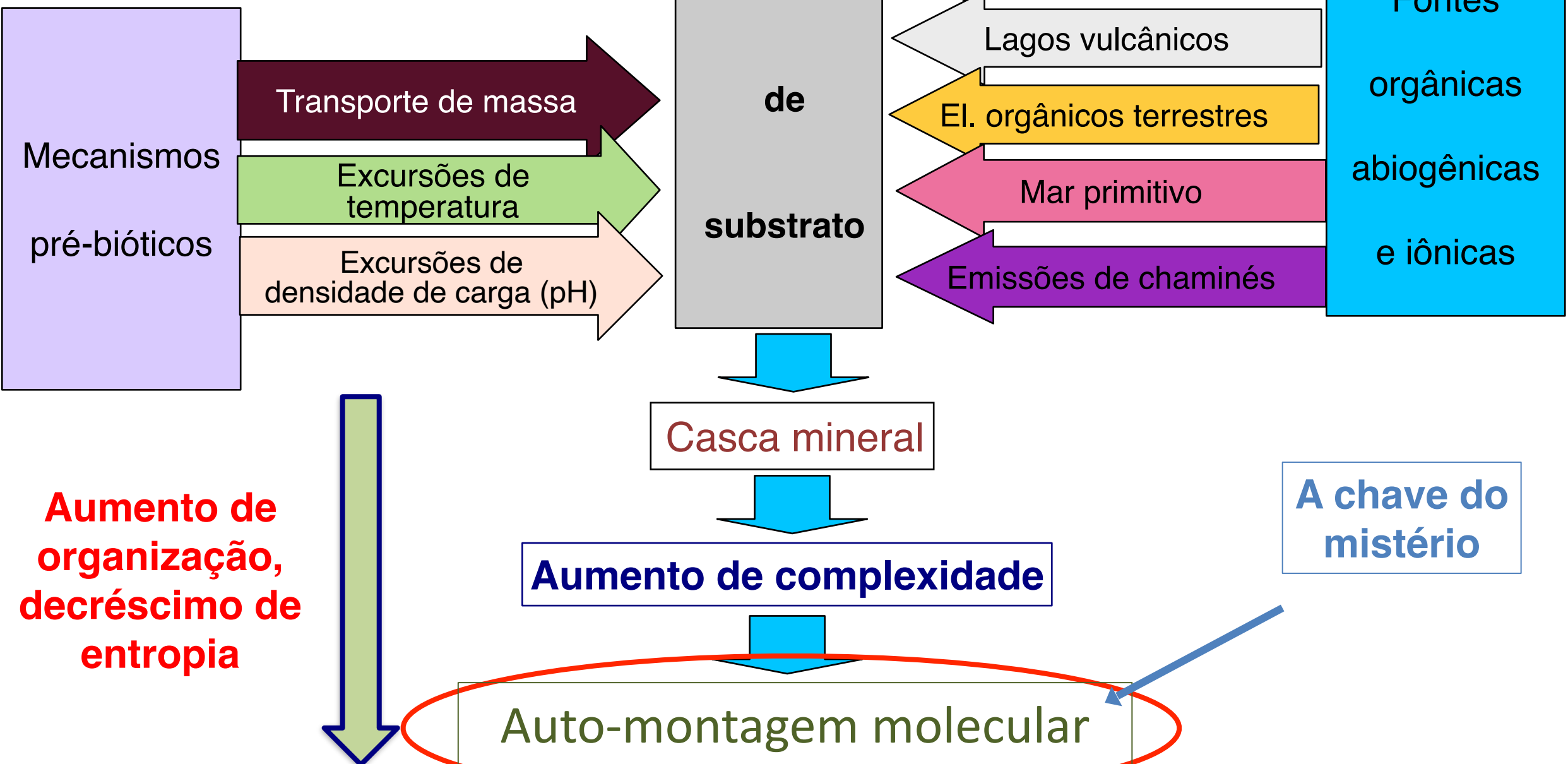












Aumento de organização, decréscimo de entropia

Casca mineral

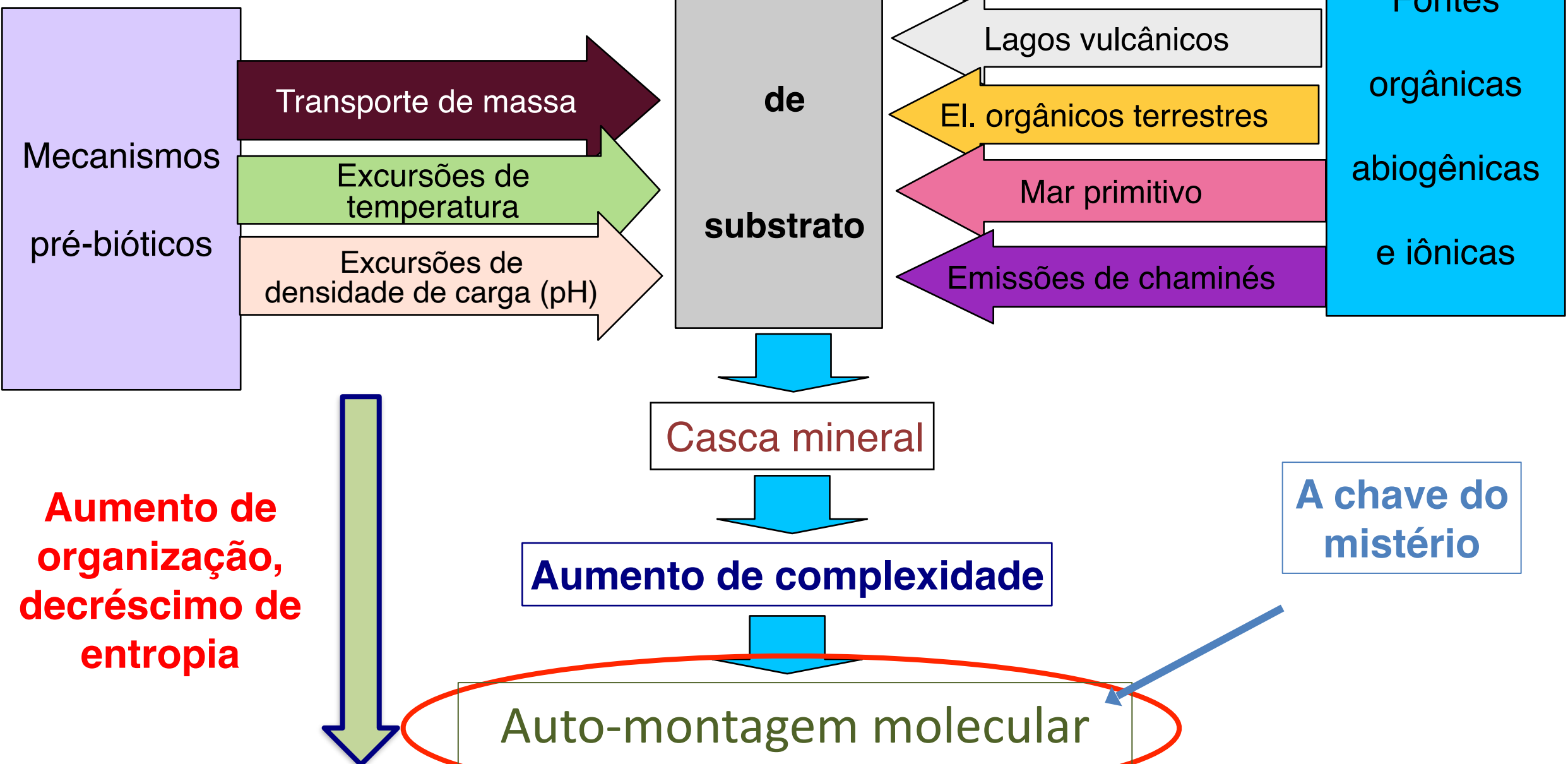
Aumento de complexidade

Auto-montagem molecular

- Meteoritos orgânicos
- Lagos vulcânicos
- El. orgânicos terrestres
- Mar primitivo
- Emissões de chaminés

Fontes orgânicas abiogênicas e iônicas

A chave do mistério






Transição “não-vivo” → vivo...

- ☑ A origem da vida a partir de processos físico-químicos (não-vivos) encontra duas grandes dificuldades:
 - ✓ A evolução de um sistema aleatório, não-específico, pouco catalizado, para algo similar ao refinado, seletivo e finamente catalizado sistema bioquímico (mesmo os mais simples) é ASSUSTADORA! O auto grau de organização desses sistemas **não é reprodutível** em laboratório ou simulações.
 - ✓ Esses processos ocorreram em sistemas muito pouco autopoieticos e fora da homeostase. Por que eles não foram “resetados” pelas mudanças ambientais extremas que ocorriam na Terra jovem? De onde vem a auto-organização?



Transição “não-vivo” → vivo

- ☑ Grande distinção entre evolução físico-química (tornados, cristais, moléculas orgânicas) e seleção natural!
- ☑ Natureza básica da vida não pode ser entendida na ausência de material genético e evolução Darwiniana → razoável supor que essas sejam propriedades definidoras das primeiras formas vivas
- ☑ O aparecimento da vida na Terra deve ser encarada mais como o produto evolucionário de um processo governado pelas leis da química e da física, e não um evento fortuito  propriedades associadas a sistemas vivos também são encontradas em sistemas não vivos!!



Transição “não-vivo” → vivo

- ☑ A existência de entidades intermediárias (p. ex., vírus) é consequência das duas categorias acima serem bem definidas!
- ☑ Questões sobre a natureza da vida?
 - ✓ Que características são encontradas em organismos mas não em objetos inanimados? *Ultrapassada, parcialmente respondida... Não uma característica exclusiva, mas várias que, combinadas, ajudam a definir vida*
 - ✓ Como essas características foram progressivamente associadas a objetos que hoje chamamos organismos? *Pergunta ainda sem resposta, mas mais pertinente à questão da natureza da vida.*

Ainda não existe uma definição formal de vida!



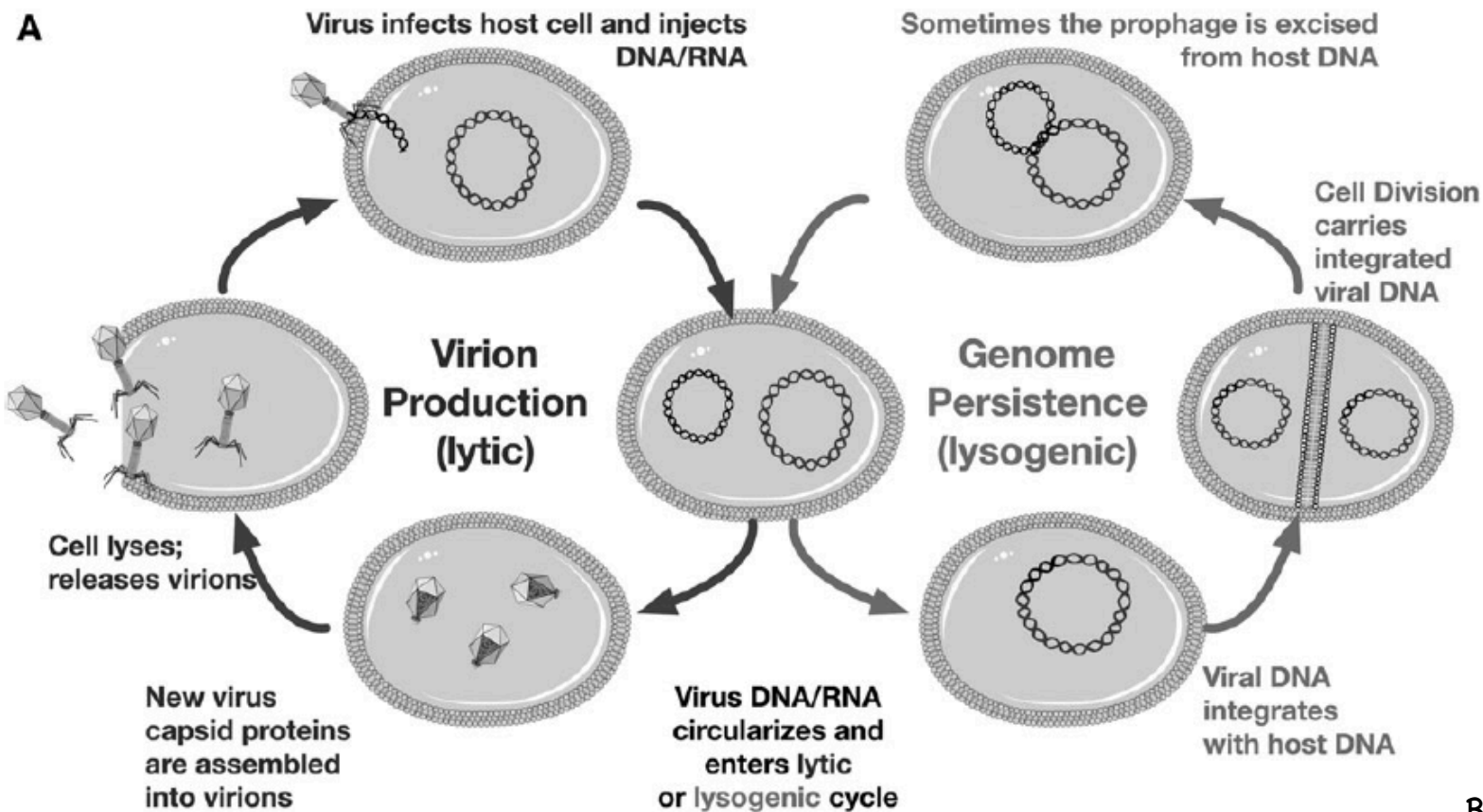
Vírus: um pequeno resumo

- ☑ Definição: “Viruses are entities whose genomes are elements of nucleic acid that replicate inside living cells using the cellular synthetic machinery and causing the synthesis of specialized elements that can transfer the viral genome to other cells” (Luria et al., General Virology, John Wiley & Sons, 1978).
- ☑ Entidades biológicas mais abundantes na Terra moderna
- ☑ Grande diversidade estrutural e na sequência genômica
- ☑ Provavelmente coexistiram com as formas de vida celular nos estágios iniciais da vida Terrestre
- ☑ Astrovirologia? Seria possível detectar bioassinaturas de vírus num contexto astrobiológico?

Berliner, Mochizuki & Stedman, *Astrobiology*, 18 (2018)

Vírus: um pequeno resumo

- ✓ Vírions: formato extracelular, inativo!
- ✓ Vírus: forma replicante intracelular + ciclo de replicação (**não é reprodução**)



Não segue exatamente a definição de Joyce, pois não são "auto-sustentáveis"

Berliner, Mochizuki & Stedman, *Astrobiology*, 18 (2018)




Vírus: um pequeno resumo

- ☑ Vírus são
 - ✓ essenciais na estrutura da biosfera terrestre e nos ciclos biogeoquímicos globais
 - ✓ abundantes, particularmente no oceano terrestre (10x ou mais que as formas de vida celulares)
 - ✓ Cada mL de água do mar possui, em média, 1 – 10 milhões de partículas virais
 - ✓ Virus estão presentes em TODOS OS AMBIENTES TERRESTRES em que a vida foi detectada (gelo Ártico, fontes hidrotermais ácidas, chaminés hidrotermais submarinas, e no manto submarino)
 - ✓ 1 célula pode ser infectada, em média, por 10 espécies virais
 - ✓ **Estimativa de vírions na Terra: 10^{31} somente nos oceanos terrestres**

Berliner, Mochizuki & Stedman, Astrobiology, 18 (2018)

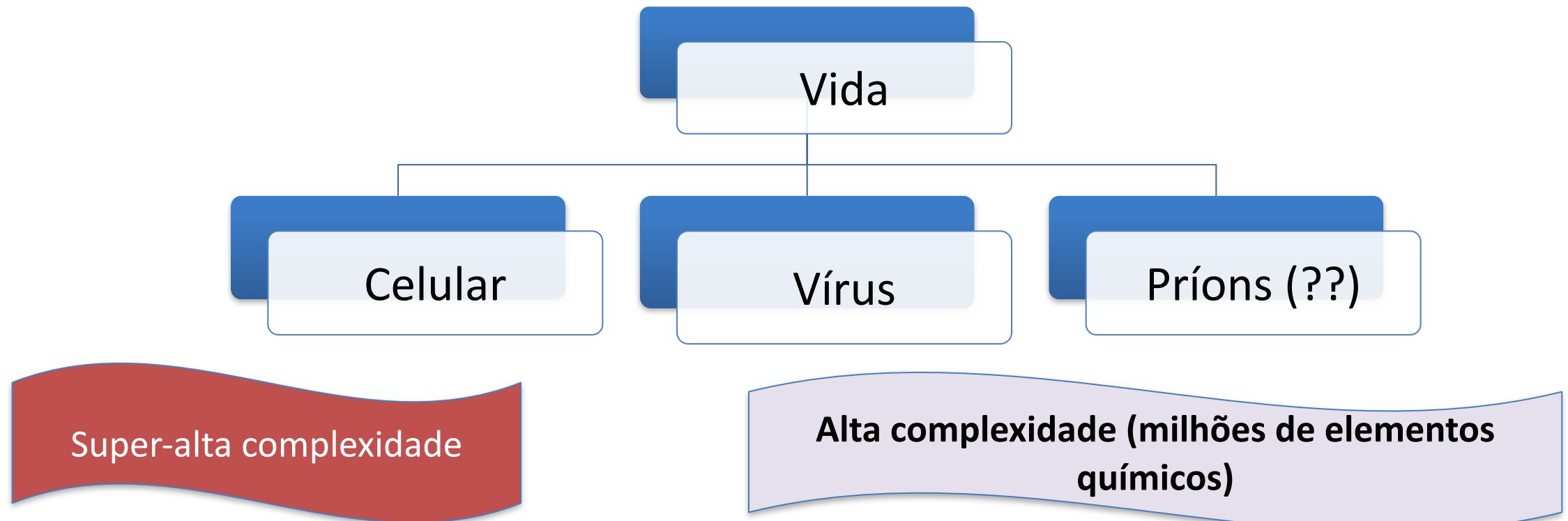


E o que seria um sistema "supra-Darwiniano"?

- ☑ Capacidade de alteração do processo reprodutivo (controlar, assistir e alterar): engenharia genética!!!
- ☑ Educação e capacidade de criar ferramentas: ajuda para "generalistas" em um ambiente dinâmico. Evolução Darwiniana, somente, é adequada para especialistas em ambientes "quase-estáticos".
- ☑ Homo Sapiens  Homo Habilis (???)
- ☑ Engenharia Genética para viagens interestelares?

Sistema mínimo???

- ☑ Qual é o mínimo conjunto de requisitos para que um sistema químico seja considerado vivo?





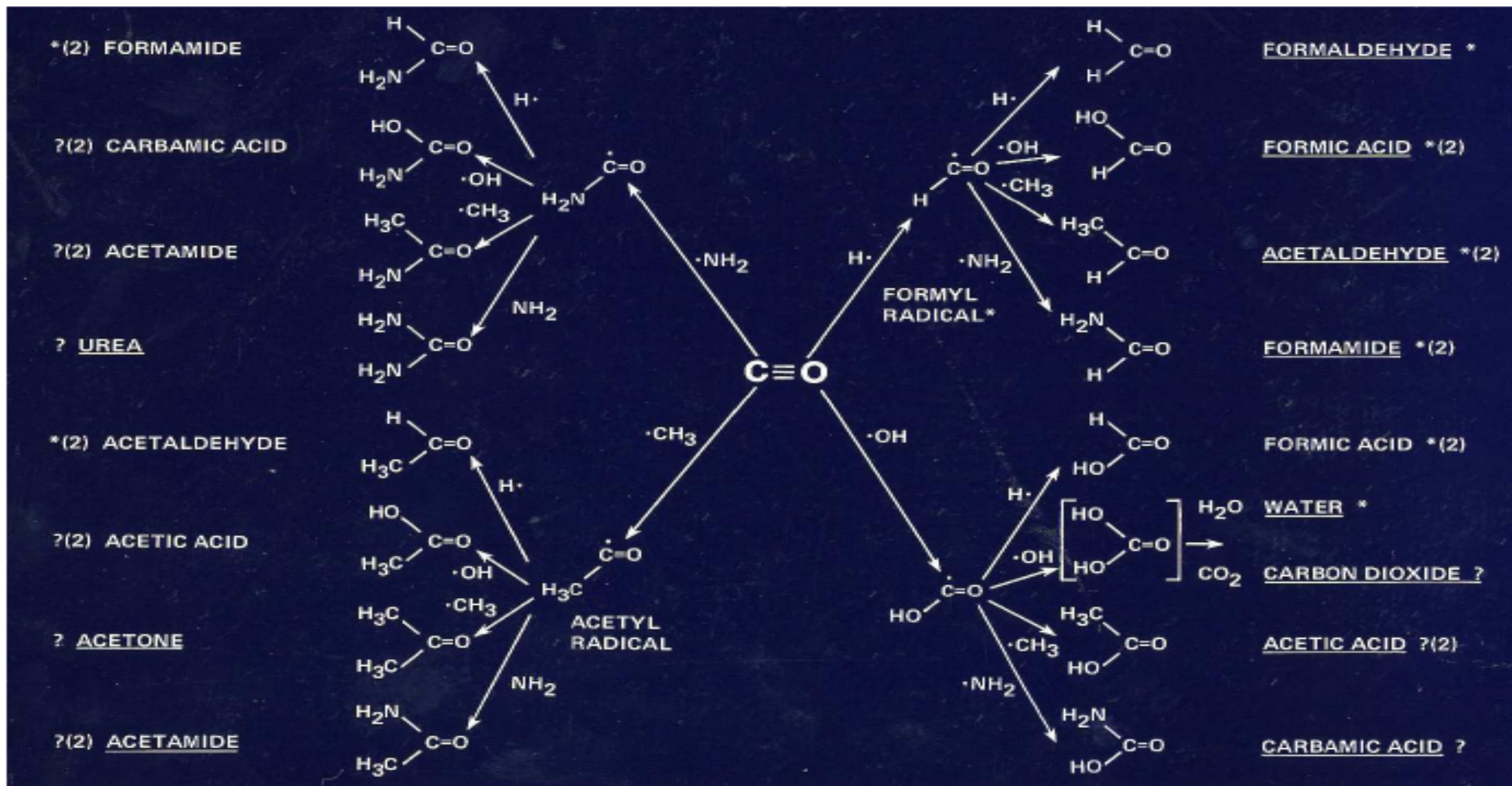
CHONs – a ditadura do C?

- ☑ CHONs – Carbono, Hidrogênio, Oxigênio e Nitrogênio
- ☑ Abundantes no Universo
- ☑ C é extremamente versátil quimicamente (comparado, p.ex., com o Si)
 - ✓ Capacidade de realizar ligações covalentes com 1, 2 e 3 valências
 - ✓ Não é dissolvido ou reage com ácidos ou água
 - ✓ Capaz de formar cadeias MUITO longas (nenhum outro elemento é capaz de formar tantas ligações tão fortes)



Por que o Carbono?

Combinação de CO com os radicais H, OH, CH₃ possibilita uma "química versátil"





Abundâncias relativas dos elementos químicos: Somos filhos da Terra ou do Cosmos?

Human Body	Earth Crust	Cosmic
H 247	O 100	H 21 900
O 100	Si 59.6	O 100
C 37.3	Al 16.8	C 53.7
N 5.49	Fe 9.6	N 13.2
Ca 1.22	Ca 7.5	Mg 7.41
P 0.86	Na 5.3	Si 7.10
Cl 0.31	K 5.3	Fe 6.17
K 0.24	Mg 4.7	S 3.16
S 0.20	Ti 1.1	Al 0.58
Na 0.12	H 0.4	Ca 0.43
Mg 0.04	C 0.4	Na 0.41

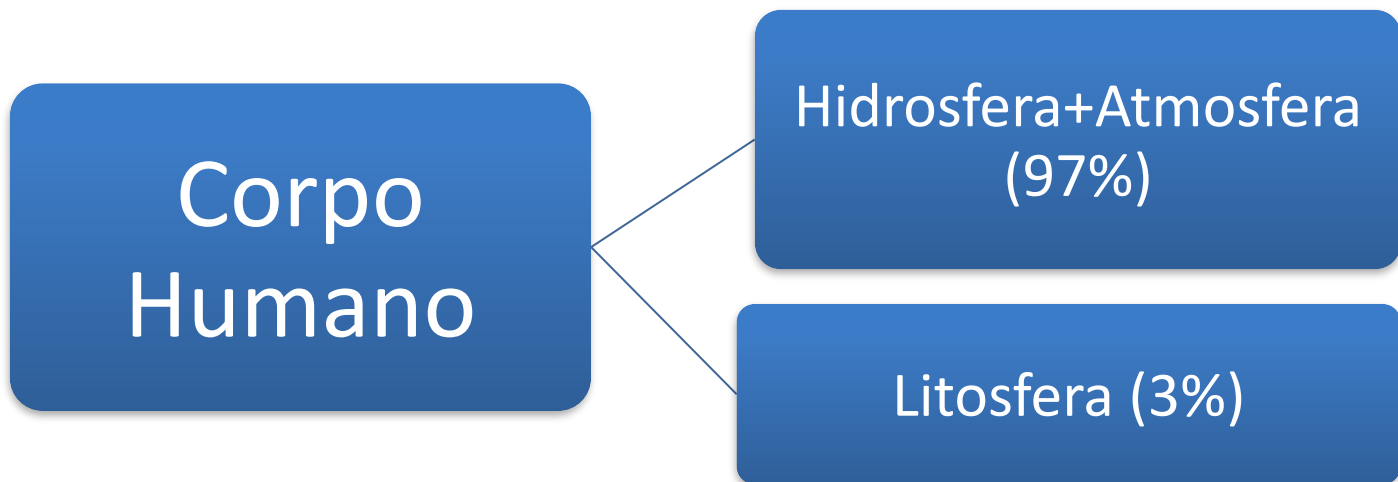
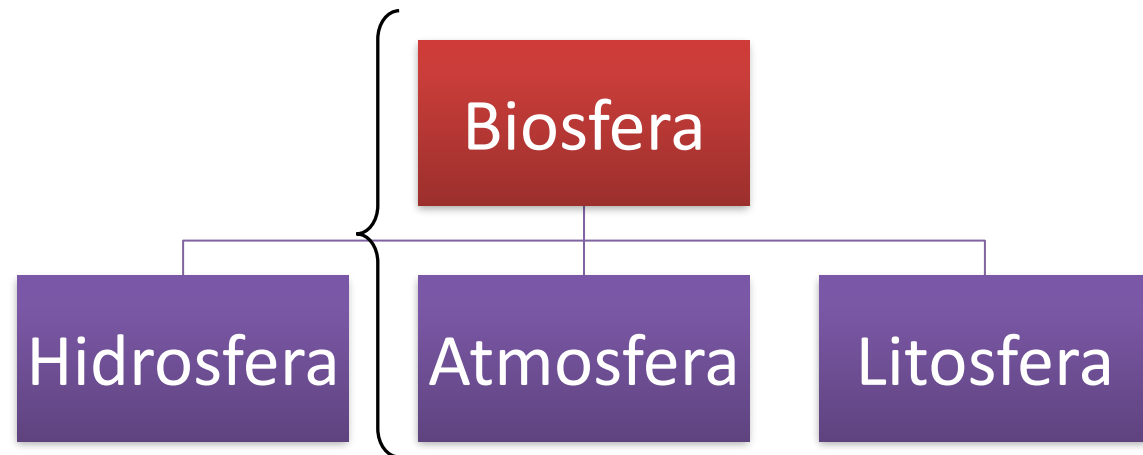
Sources of relative abundances of chemical elements (O=100):

- Lehninger 2000 (human body and Earth crust abundances);
- Asplund, Grevesse & Sauval 2004 (C, N, and O are solar photospheric values;
- the other elements are solar system meteoritic values)

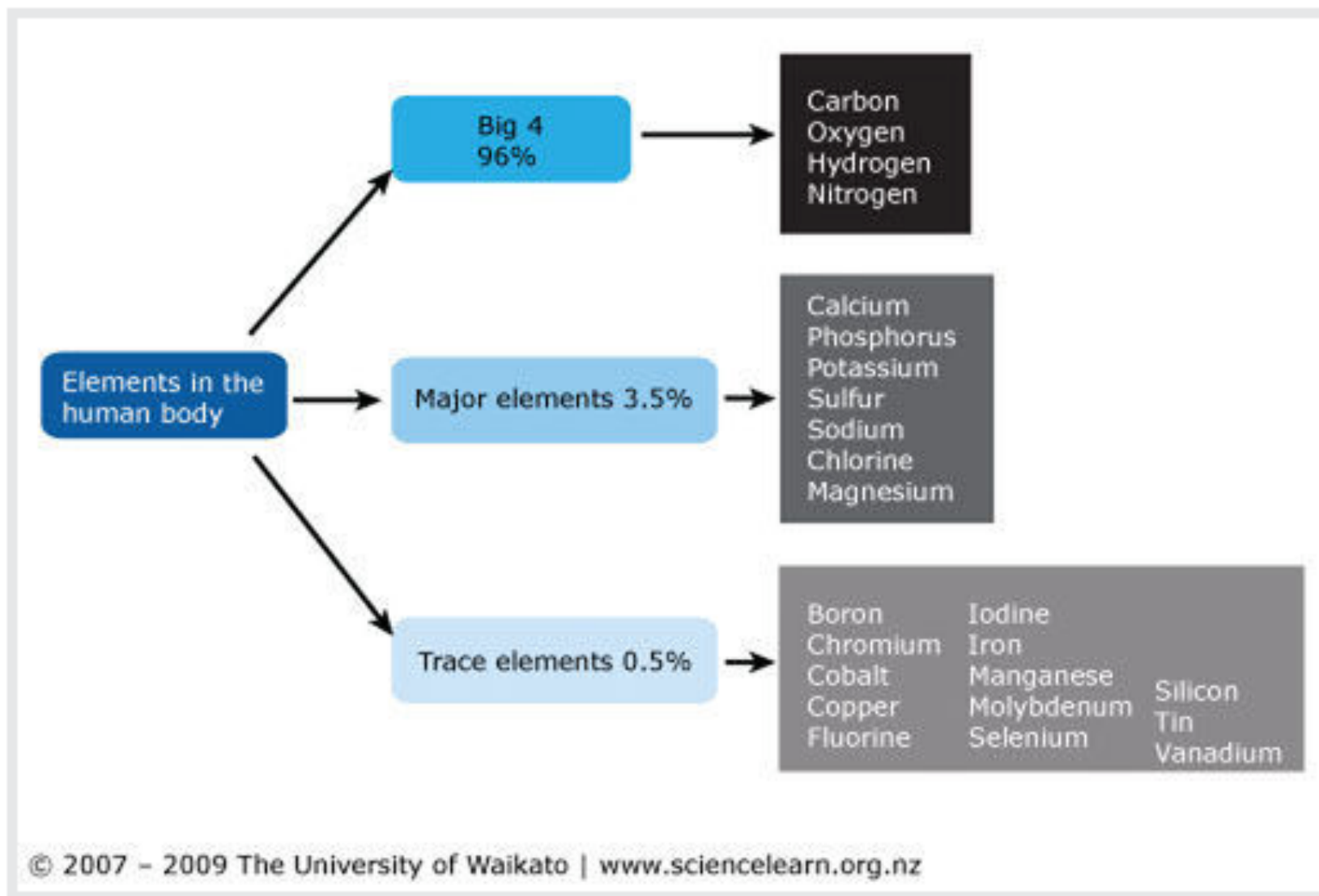


Abundâncias relativas dos elementos químicos: Somos filhos da Terra ou do Cosmos?

Os elementos químicos presentes em nosso corpo hoje foram formados no interior estelar



Nós e a química do Universo





Problemas na busca da origem da vida: baseada em que e aonde?

- ☑ Inacessibilidade de outros mundos
 - ✓ Exceto por alguns corpos no Sistema Solar, o acesso direto a formas de vida em outros pontos da Galáxia é, dado o conhecimento atual, impossível numa escala de tempo da vida humana. Alternativa: sinal SETI
- ☑ Geração espontânea: ainda uma questão...
 - ✓ Como é feita a passagem de sistemas "inertes" para sistemas vivos?

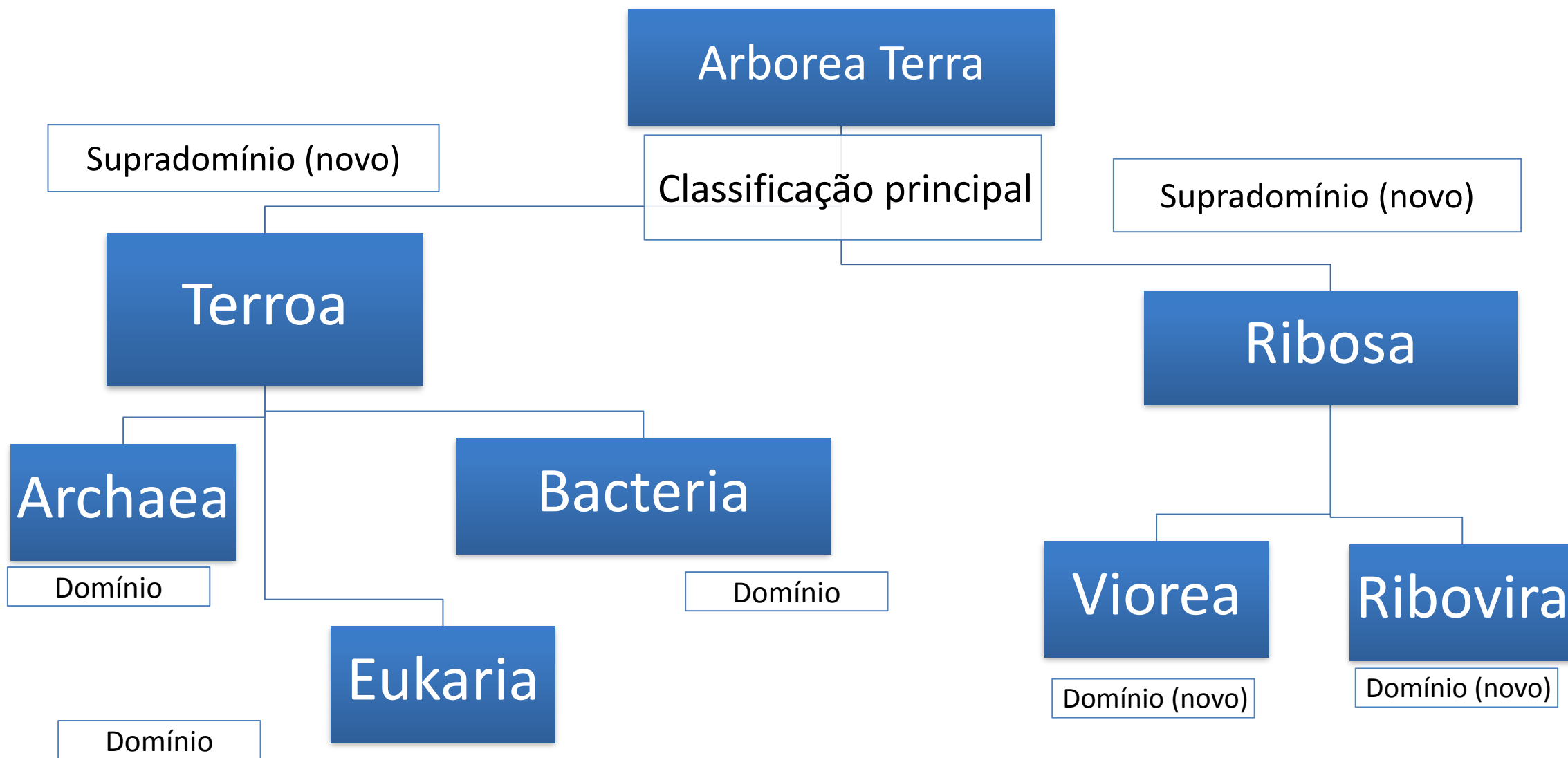


Vida como NÃO a conhecemos

- ☑ Tópico importantíssimo na definição de novas missões para busca de vida extraterrestre
- ☑ Condições MUITO diferentes das CNTP:
 - ✓ Altas temperaturas/baixas temperaturas
 - ✓ Altas pressões/baixas (zero) pressões
 - ✓ Acidez/basicidade/salinidade
 - ✓ Altos níveis de radiação
 - ✓ Outros fatores hostis!!!!



Uma proposta de (re)classificação





Abordagem “bottom-up”

- ☑ Como diversificar as (infinitas??) opções de vida como não a conhecemos? Partindo do mais simples...
 - ✓ DNA com outra sintaxe
 - ✓ DNA com outra sequência de pareamento
 - ✓ DNA com outra quiralidade
 - ✓ Vida sem DNA como genoma (RNA, proteínas...)



Abordagem “bottom-up”

- ☑ Complicando um pouco mais...
 - ✓ DNA (alterado ou não) com outros solventes
 - ✓ RNA (alterado ou não) com outros solventes
 - ✓ Outras estruturas baseadas em C, viáveis quimicamente, mas que não sejam DNA ou RNA
 - ✓ Estrutura baseada em outros elementos (Si, por exemplo)



Que tipo de vida procurar?

- ☑ Variedades de CHONs
 - ✓ Mudança de código genético (alterações de bases no DNA)
 - ✓ Mudança na estrutura do DNA (alterar o tipo de açúcar, p.ex.)
 - ✓ Alteração ou adição de proteínas, através do uso de outros aminoácidos (diferente dos 20 usados na vida conhecida)
 - ✓ Alteração da quiralidade das proteínas ou dos aminoácidos
 - ✓ Utilização de outro solvente (falaremos da água em outra aula, mas há diferentes possibilidades, como veremos)
 - ✓ Utilização de proteínas como armazenador de informação



Que tipo de vida procurar?

☑ Variedades de CHONs

- ✓ Mudança de código genético (alterações de bases no DNA)
- ✓ Mudança na estrutura do DNA (alterar o tipo de açúcar, p.ex.)
- ✓ Alteração ou adição de proteínas, através do uso de outros aminoácidos (diferente dos 20 usados na vida conhecida)
- ✓ Alteração da quiralidade das proteínas ou dos aminoácidos
- ✓ Utilização de outro solvente (falaremos da água em outra aula, mas há diferentes possibilidades, como veremos)
- ✓ Utilização de proteínas como armazenador de informação

Vida sólida, líquida ou gasosa?



E se não forem CHONs

- ☑ Vida baseada em uma bioquímica “fria”, com solventes “frios” (metano, etano, amônia e nitrogênio)
- ☑ Silanos (sistemas vivos baseados em Si): **uma aposta razoável!!!**
- ☑ Polímeros de Si são estáveis em temperaturas $\approx 50 - 200$ K, solúveis nos solventes acima e reativos a estas temperaturas
- ☑ Vida baseada em Si, com termodinâmica e solventes “frios” evoluiriam, no sentido de complexidade?
- ☑ Multicelularidade seria possível ?
- ☑ Como a bioquímica do Si moldaria o meio ambiente?



Líquidos e sistemas vivos

- ☑ Líquidos favorecem a interação entre moléculas e permite que elas se mantenham próximas
- ☑ A natureza do líquido em que a química (seja ela qual for) aparece será o fator direcionador da bioquímica de sistemas vivos não-terrestres.
- ☑ Que tipo de bioquímica se adapta à termodinâmica de baixas temperaturas (≤ 200 K)?

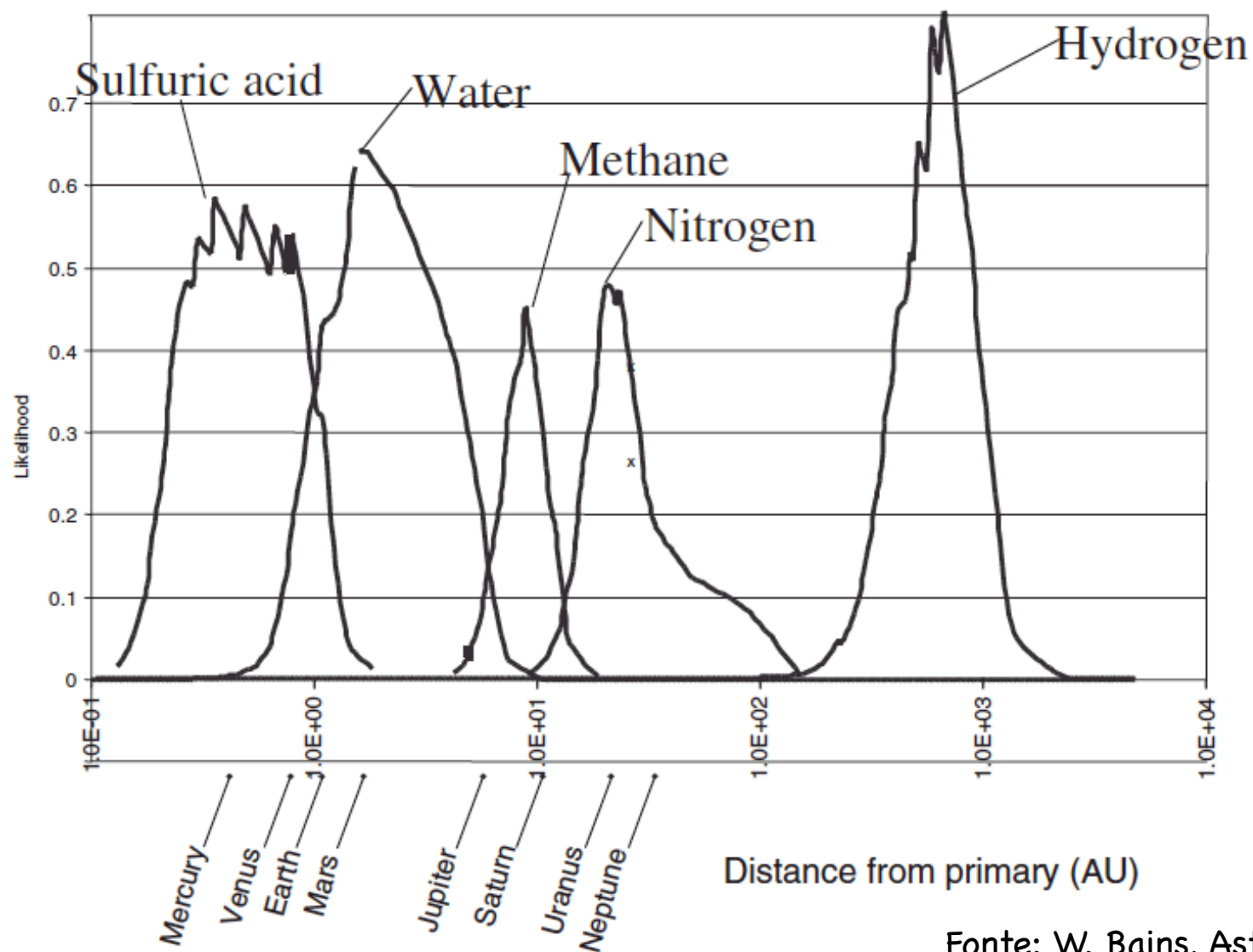
Sugestão de leitura: "Many chemistries could be used to build living systems". W. Bains, *Astrobiology*, 4, 137-167 (2004)



A proposta de Bains

- ☑ Ambientes líquidos em que reações bioquímicas possam acontecer são comuns em escala “cósmica” e oceanos “terrestres”, com pH neutro, não devem ser os únicos ambientes
- ☑ Diferentes ambientes líquidos podem (e devem) ser compatíveis com diferentes químicas básicas
- ☑ Estas químicas podem ser usadas para montar sistemas bastante complexos e flexíveis, com análogos, dentro dos sistemas, à funções chave para atividades bioquímicas
- ☑ Estas químicas podem definir o caminho através da qual uma “bioquímica” diferente poderia emergir

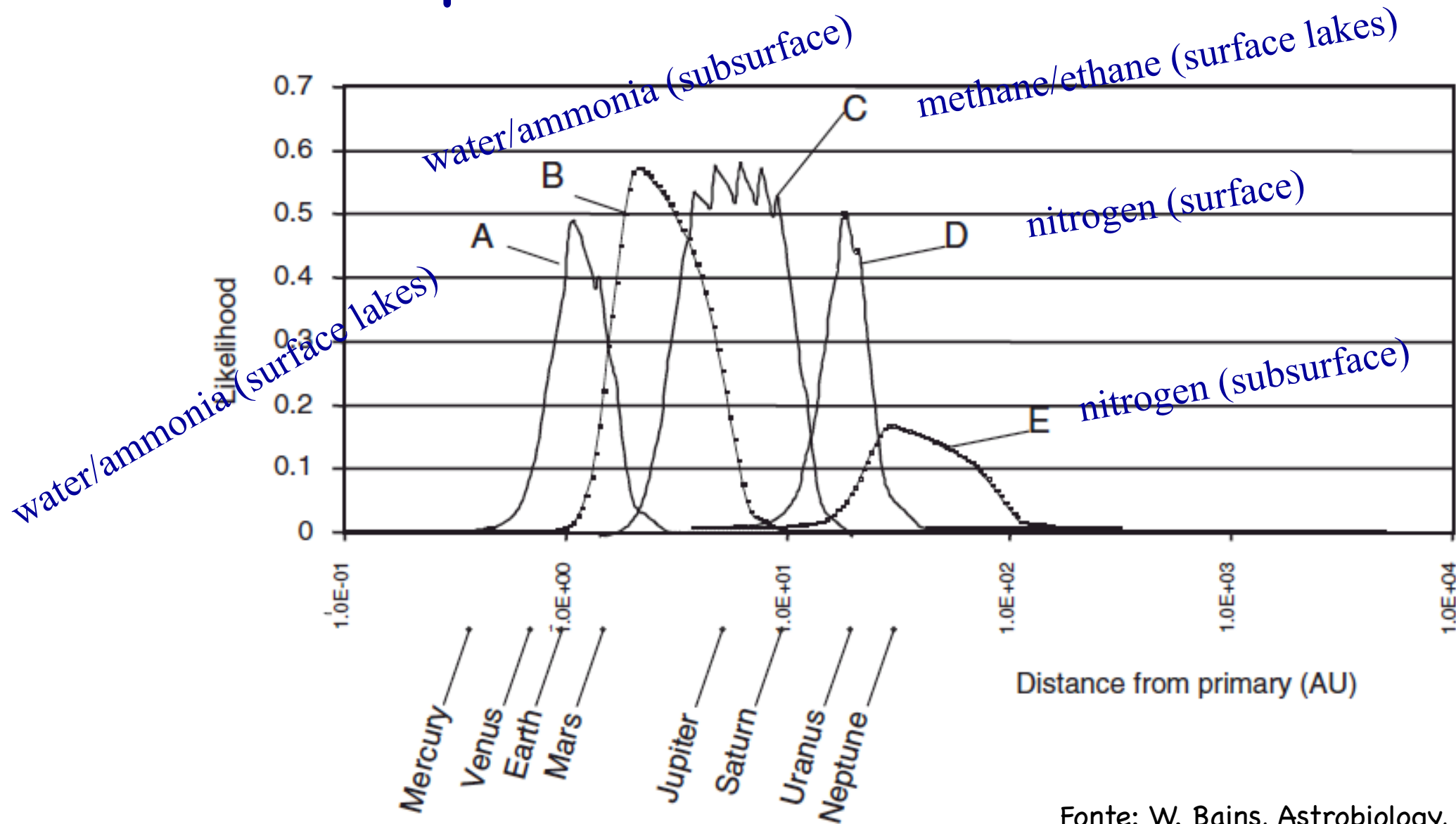
Líquidos e fluidos cósmicos



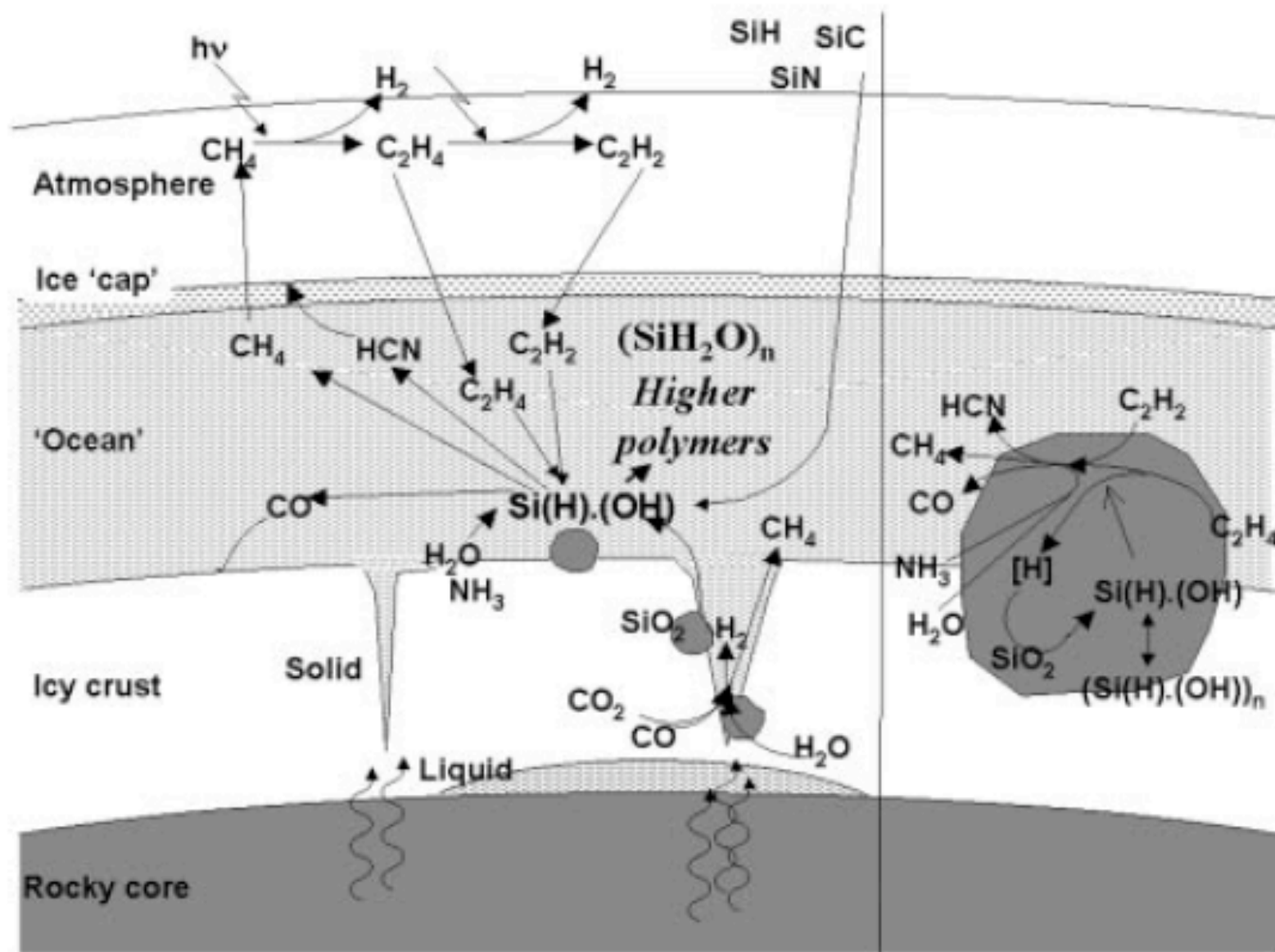
Fonte: W. Bains, *Astrobiology*, 4, 137-167 (2004)



Líquidos e fluidos cósmicos



Fonte: W. Bains, Astrobiology, 4, 137-167 (2004)



Fonte: W. Bains, *Astrobiology*, 4, 137-167 (2004)



Como detectar ALIENS?

- ☑ Como identificar um sistema vivo?
- ☑ Bioassinaturas (modificação do meio ambiente e atmosfera)?
- ☑ Que tipo de observáveis uma sonda enviada a Titã, p. ex., deve procurar?
- ☑ A busca de água e energia livre é suficiente?



Como detectar ALIENS?

- ☑ Como identificar um sistema vivo?
- ☑ Bioassinaturas (modificação do meio ambiente e atmosfera)?
- ☑ Que tipo de observáveis uma sonda enviada a Titã, p. ex., deve procurar?
- ☑ A busca de água e energia livre é suficiente?

A **possibilidade** de existência de algo **não quer dizer que** esse algo exista!!!!

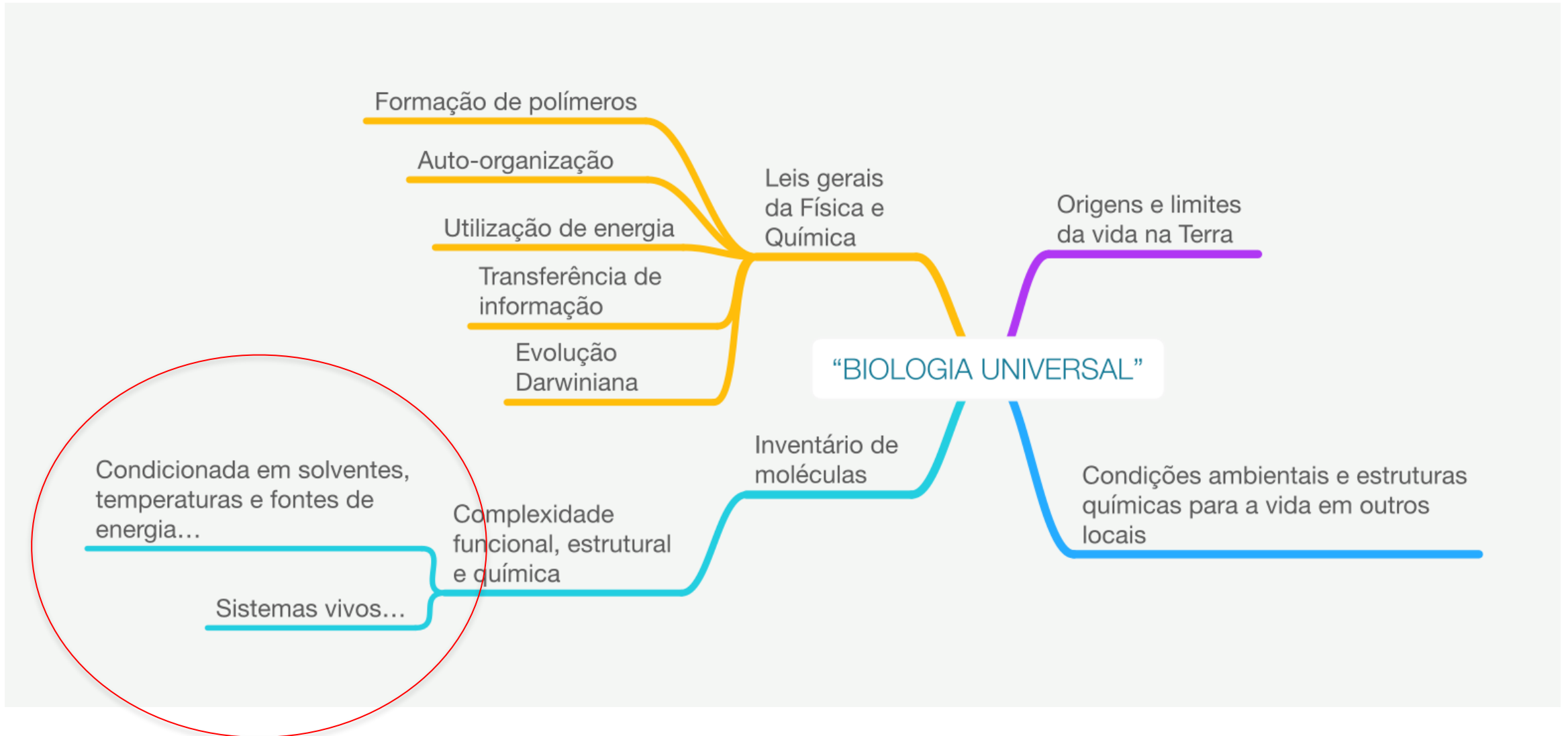


ALIENS – um quadro sinóptico

Fonte: Ward (2004)

NOME	El. básico	Material genético	Solvente	Fonte do elemento	Fonte de energia	Possível habitat terrestre	Habitat no Sistema Solar	Plausibilidade
Terroa	C	DNA	Água	CO ₂ , outros organismos	Muitas	Quase todos	Marte, Europa, Titã	Existe
Vida RNA	C	RNA	Água	Moléculas orgânicas	?	?	Marte, Europa, Titã, Terra?	Alta. Já existiu
Vida Proteína	C	Proteína	Água	Moléculas orgânicas	?	?	Marte, Europa, Titã, Terra?	
Vida Amônia	C	Ácidos nucleicos ou proteínas	Amônia	CO ₂ ? outros?	Luz estelar	Nenhum		
Vida ácida	C	Ácidos nucleicos	Água ou amônia				Nuvens de Vênus ou Júpiter?	
Vida Si - silanos	Si		Etano	Cristais fluidos			Titã, Tritão	
Vida Si - argila	Si		Água				Terra jovem? Marte?	

Haveria uma "Biologia Universal"?





FIM DA AULA 1