

Ficha — Génese das células eucarióticas: modelos autogénico e endossimbiótico

11.º Ano Biologia e Geologia 4 páginas 12 exercícios

Objetivo: Distinguir os **modelos autogénico e endossimbiótico** que explicam a génese das células eucarióticas, reunir as **evidências** de cada um e relacioná-los com a diversidade dos eucariotas — avaliação de modelos científicos e do seu grau de aceitação.

Revisão rápida

O **problema**: como passamos de células **procariotas** (pequenas, sem núcleo, sem organelas membranares) a células **eucariotas** (núcleo, retículo, golgi, mitocôndrias/cloroplastos)?

	Modelo autogénico	Modelo endossimbiótico
Ideia-chave	a própria célula invagina a membrana → compartimentos internos	a célula engloba bactérias que se tornam organelas (simbiose → organela)
Explica bem	núcleo e sistema de endomembranas (retículo, golgi)	mitocôndrias e cloroplastos (2 membranas + ADN próprio)
Limitação	não explica organelas com ADN circular e ribossomas próprios	não explica por si só o núcleo
Hoje	aceite como via complementar (endomembranas)	amplamente aceite (base: Margulis, 1973)

Endossimbiogénese em dois passos: (1) célula engloba **α-proteobactéria aeróbica** → **mitocôndria** (todos os eucariotas) · (2) uma linhagem já com mitocôndrias engloba **cianobactéria** → **cloroplasto** (algas, plantas) — daí só cloroplastados terem cloroplastos. (Mereschkovsky, 1905; Lynn Margulis, 1973.)

Evidências (pense como cientista): **dupla membrana** · **ADN circular** próprio (sem histonas) · **ribossomas 70S** (tipo bacteriano) · divisão por **fissão binária** · sensibilidade a **antibióticos** bacterianos (ex.: cloranfenicol) · filogenia de rRNA ≈ bactérias ancestrais.

Estratégia: separar os dois modelos → listar o que cada um explica → procurar **evidências testáveis** (o que o modelo prevê?) → concluir com o **modelo atual: complementar** (englobar + invaginar).

Exercícios

1. O que falta explicar: lista as duas características das eucariotas que um procariota não tem (núcleo verdadeiro · organelas membranares) e indica qual a consequência energética da vida aeróbica (mais ATP) que torna a «parceria» atraente.

2. Autogénico: descreve o mecanismo (invaginação → compartimentos) e explica porque é que ele não resolve o caso das mitocôndrias (o que a «dobra» sozinha não consegue: ADN, ribossomas, 2 membranas).

3. Endossimbiótico: desenha (com palavras) a sequência dos dois englobamentos e indica: quem é englobado em cada, que organela resulta e porque é que todos os eucariotas têm mitocôndria mas só alguns têm cloroplasto.

4. Evidências: escolhe quatro do conjunto (dupla membrana · ADN circular · ribossomas 70S · fissão · antibióticos · rRNA) e, para cada uma, escreve o que a bactéria teria de ter para que a evidência faça sentido.

5. Ordem dos englobamentos: porquê a mitocôndria veio antes do cloroplasto (argumento comparativo: quem tem o quê)? E porque é que isso concorda com a árvore das linhagens eucariotas?

6. Concorrentes ou complementares? Um aluno defende «autogénico», outro «endossimbiótico». Que síntese reconcilia as duas posições — e que estrutura cada um explica melhor?

7. Natureza do conhecimento (AET): um bom modelo tem previsões testáveis. Que previsão fez cada modelo (ex.: «a mitocôndria deve ter ADN de bactéria») e como a tecnologia (microscopia, sequenciação) a confirmou ou infirmou?

8. Filogenia molecular: porque é que comparar o rRNA (ou outros genes) da mitocôndria com o de α -proteobactérias é «impressão digital» de parentesco — e o que se faria se os dados dissessem o contrário do modelo (revê-lo)?

9. A «economia» da simbiose: que vantagens trocou cada parte (hospedeiro → energia aeróbica; endossimbionte → abrigo/nutrientes)? Porque é que a simbiose se tornou obrigatória (a mitocôndria já não vive sozinha e a célula não respira sem ela)?

10. Aplicação clínica: alguns antibióticos (ex.: cloranfenicol) inibem os ribossomas 70S. Explica porque isso afeta bactérias e também as mitocôndrias — e o que os cientistas fazem para minimizar efeitos adversos (mito-toxicidade).

11. Erros de interpretação: corrige (a) «o cloroplasto formou-se por dobras da membrana da célula» · (b) «as plantas perderam as mitocôndrias ao ganhar cloroplastos» · (c) «os dois modelos estão mortos: só um pode estar certo».

12. Síntese: explica (4–5 linhas) porquê a endossimbiogénese é considerada um dos grandes eventos da história da vida — o que ela tornou possível (células grandes, tecidos e organismos complexos, plantas fotossintéticas) — e como a evidência molecular a tornou «quase certa» sem a tornar dogma (modelo revisável).

Soluções — Modelos de eucariogénese

11.º Ano

Biologia e Geologia

Resolução completa

- Faltam: (1) **núcleo verdadeiro** (envelope que isola o ADN) e (2) **organelas membranares** (retículo, golgi, mitocôndrias...). A vida **aeróbica** (respiração) dá muito mais ATP por glicose → uma bactéria aeróbica «fábrica de energia» dentro da célula é uma parceria irresistível: abrigo/nutrientes em troca de energia.
- A membrana plasmática **invagina-se** (infoldings) até fechar compartimentos internos → origem do **núcleo** e do sistema de **endomembranas** (retículo, golgi, lisossomas). Não resolve a mitocôndria: uma dobra «de dentro» nunca gera uma organela com **ADN circular próprio, ribossomas 70S e dupla membrana** — esse pacote é de **outra célula**.
- (1) Célula hospedeira engloba uma **α-proteobactéria aeróbica** por fagocitose → relação simbiótica → **mitocôndria**. (2) Uma linhagem descendente engloba uma **cianobactéria fotossintética** → **cloroplasto**. Porque o (2) só é possível **depois**: os eucariotas mais primitivos (fungos, animais) herdaram só o primeiro; as algas/plantas herdaram os dois (englobamento secundário na sua linhagem).
- Quatro de: **dupla membrana** (a interna, da bactéria; a externa, do vacúolo do englobador) · **ADN circular** (cromossoma bacteriano, sem histonas) · **ribossomas 70S** (mesmo tipo dos procariotas) · **fissão binária** (as organelas dividem-se sozinhas) · **antibióticos** (afetam organelas como bactérias) · **rRNA** (filogenia próxima das α-proteobactérias). Para cada, a bactéria-englobada tinha de trazer esse atributo — e trouxe.
- Todos** os eucariotas (animais, fungos, plantas, algas) têm mitocôndria → o englobamento ocorreu na **ancestralidade comum** (antes da separação) · só os **cloroplastados** têm cloroplasto → o segundo englobamento ocorreu **depois**, só na linhagem das algas/plantas. É a lógica de **partilha de sinapomorfias**: o traço presente em todos é antigo; o traço de um subgrupo, mais recente.
- Síntese: o autogénico explica a **arquitetura interna** (núcleo/endomembranas por invaginação) e o endossimbiótico explica as **organelas com genoma** (mito/cloro) — a eucariogénese foi **uma fusão dos dois processos**: crescer por dobras e englobar parceiros. Não é «ou-ou»: são mecanismos **distintos aplicados a estruturas distintas** — a posição atual aceita os dois.
- Autogénico previa: compartimentos ligados entre si e ao envelope (✓ retículo/golgi). Endossimbiótico previa: (a) organelas com **ADN próprio** (✓ sequenciado: mito≈16 kb, plastos≈120-150 kb), (b) **ribossomas 70S** (✓), (c) parentesco com bactérias por **rRNA** (✓ árvores moleculares). Se os dados fossem contra (ex.: ADN mito igual ao nuclear), o modelo teria de ser **rejeitado ou revisto** — é assim que a ciência funciona: modelos vivem de teste, não de autoridade (AET: natureza do conhecimento).
- O rRNA é universal, conservado e presente em cópias abundantes — comparar sequências dá uma **árvore de parentesco**: mito/cloroplasto caem dentro/next às α-proteobactérias/cianobactérias → «impressão digital». Se os dados dissessem o contrário (ex.: cloroplastos irmãos de cianofíceas seria o esperado — se fossem de outra linha), a comunidade **revia o modelo**: a filogenia molecular é o árbitro — teoria sem dados cai, dados sem teoria não explicam.
- Hospedeiro deu: **abrigo, nutrientes e «cidadania»** · endossimbionte deu: **ATP (energia aeróbica)** — e, depois, a fotossíntese (cianobactéria). Tornou-se **obrigatória** porque, ao longo de mil milhões de anos, a bactéria **perdeu genes** para o núcleo (transferência horizontal) — já não sobrevive fora; e a célula perdeu a capacidade de respirar sem a organela: **interdependência total** = as mitocôndrias são «organelas cidadãs».
- Os ribossomas das mitocôndrias são **70S** — **os mesmos das bactérias** (herança endossimbiótica!) → o antibiótico que inibe 70S também pode inibir a **proteína mitocondrial** → efeito adverso (mito-toxicidade: audição, rins — ex.: aminoglicósidos). Os cientistas minimizam: usar antibióticos que afetam mais os 70S **bacterianos** (diferenças estruturais), doses curtas, evitar em gestantes — é a endossimbiogénese a explicar farmacologia.
- (a) **Falso** — o cloroplasto veio de um **cianobactéria englobada** (dois passos, ver ex.3), não de dobras. (b) **Falso** — as plantas têm **ambas** (mito + cloro); perderam-se genes, não organelas. (c) **Falso** — os modelos são **complementares** (ex.6): o englobamento explica organelas com genoma, a invaginação o núcleo — a ciência não precisa de vencedores, precisa do que cada modelo acerta.
- Resposta possível: a endossimbiogénese trocou **independência por escala**: uma célula com «usina» interna (mito) pôde crescer, ganhar energia para tecidos e organizações complexas; e com a cianobactéria, as plantas trouxeram a fotossíntese — base de quase toda a cadeia alimentar. É um dos grandes eventos porque é **união, não mutação**: a complexidade nasceu de cooperação. E a evidência molecular (ADN, ribossomas, rRNA) tornou o modelo **quase certo** — mas «quase» importa: modelos são revisáveis (caráter provisório), e novos dados (transferência de genes mito-nucleares) continuam a refiná-lo.

Nota: quatro blocos — o **problema** · **autogénico vs endossimbiótico** · **evidências + ordem + testabilidade** · **simbiose obrigatória + clínica + revisão**. Liga: fichas 1–3 (célula) · prepara ficha 9 (domínios: Eukaria).