

APÊNDICE I

A EVOLUÇÃO DOS SERES VIVOS

A seleção natural explica como evoluem as espécies animais e vegetais, mas como se pode explicar cientificamente a existência desses organismos? Tanto os animais quanto os vegetais são compostos por um grande número de *células*: pequenas estruturas biológicas que concentram dentro de si uma boa parte da atividade metabólica que sustenta a vida do organismo.

Existem muitos organismos simples, constituídos por uma única célula, que é capaz de desempenhar sozinha as atividades de manutenção e reprodução da vida, e diversas linhas de evidência sugerem que os organismos multicelulares evoluíram a partir dos unicelulares, o que coloca a questão de como isso teria ocorrido.

A única explicação científica disponível é que o surgimento dos organismos multicelulares foi consequência do próprio processo de seleção natural, atuando inicialmente em organismos unicelulares e depois sobre pequenos aglomerados celulares. Com o passar das gerações, esses aglomerados evoluíram para os primeiros organismos multicelulares.

As próprias células também surgiram a partir de outras estruturas biológicas mais simples, que anteriormente existiam de forma independente. Por exemplo, acredita-se que as mitocôndrias eram originalmente uma forma de vida autônoma, que em certo ponto do processo evolutivo foi incorporada à estrutura das células como uma *organela*.

Assim, todas as formas conhecidas de vida estão dispostas em uma hierarquia de *níveis de individualidade*, onde cada entidade biológica é composta por estruturas do nível inferior, que são evolutivamente mais antigas do que a própria entidade. Essa

hierarquia começa no nível atômico, inorgânico, e chega até os organismos multicelulares e suas sociedades. Assim, as moléculas que constituem o DNA (conhecidas como bases nitrogenadas: Adenina, Timina, Citosina e Guanina) podem ser consideradas um nível de organização biológica; os genes (compostos por bases nitrogenadas) são um nível de individualidade mais alto; as células (que contêm genes), um outro nível ainda mais alto; e os organismos multicelulares (compostos por células), entidades biológicas de um nível de individualidade superior a todos os anteriores.

Uma Teoria da Evolução completa não pode considerar essa complexa hierarquia de estruturas biológicas como simplesmente dada, mas deve também tentar explicar como ela surgiu. Aqui, novamente, a única explicação científica disponível é que toda a hierarquia biológica foi criada pelo próprio processo de seleção natural, atuando inicialmente sobre átomos e moléculas inorgânicas e, posteriormente, sobre estruturas cada vez mais complexas formadas a partir desses elementos, de modo que novos níveis de individualidade foram sendo adicionados, de tempos e tempos, ao topo da hierarquia anterior. Assim, a Teoria da Evolução atual considera o processo evolutivo biológico de uma perspectiva muito mais ampla que a original.

Com se apresenta hoje, a hierarquia das estruturas biológica tem relativamente poucos níveis de individualidade, o que sugere que a evolução da vida foi um processo longo e gradual, pontuado por episódios raros de surgimento do um novo nível no topo da hierarquia anterior. Esses episódios extraordinários são conhecidos tecnicamente como “transições principais” (SMITH; SZATHMÁRY, 1995) ou “transições em individualidade” (MICHOD, 1999). Por exemplo, o surgimento dos organismos multicelulares a partir dos unicelulares foi uma dessas transições.

Uma das questões mais complexas da biologia evolutiva é compreender como as transições principais ocorrem, isto é, como o processo de seleção natural constrói, por si só, novas estruturas biológicas a partir de entidades pré-existentes mais simples. Nessa investigação, é particularmente difícil compreender como entidades que inicialmente *competem* entre si passam a *cooperar* para constituir uma entidade coletiva maior (SIMON *et al.*, 2012). Por exemplo, os organismos unicelulares *competem entre si* por recursos naturais necessários para sua sobrevivência, mas as células de um organismo multicelular têm que *cooperar entre si* a fim de manter a integridade e o bom funcionamento do organismo, o que tipicamente exige uma diferenciação celular em tecidos ou sistemas especializados e uma complexa coordenação de suas atividades fisiológicas, sem a qual o organismo não seria capaz de sobreviver e procriar. Assim, *durante a transição principal que criou a multicelularidade, os organismos unicelulares que inicialmente competiam entre si tiveram de passar a agir de um modo oposto, essencialmente cooperativo.*

A ideia básica da antiga Teoria da Evolução por seleção natural continua válida dentro de cada nível de individualidade: características hereditárias que favorecem a sobrevivência e a reprodução do indivíduo são naturalmente selecionadas e estarão mais presentes nas gerações futuras. Assim, comportamentos “egoístas” prevalecem dentro de cada nível de individualidade, pois as entidades “altruístas” são menos *aptas* no processo de seleção natural, isto é, tendem a ter menor sucesso reprodutivo. Em

outras palavras, dentro de cada nível de individualidade há uma *pressão seletiva* no sentido de fortalecer comportamentos competitivos, em detrimento de comportamentos cooperativos.

Esse é um problema central na explicação de toda transição principal: as entidades iniciais tendem a *competir* entre si por recursos necessários para sua manutenção e procriação, pois elas próprias são produto da seleção natural. Assim, como elas podem passar a *cooperar* no início da transição principal?

A análise das transições principais conhecidas indica que as entidades iniciais não deixam de competir entre si, mas são *controladas* por mecanismos que impedem que essa competição desintegre ou torne as entidades maiores disfuncionais. O papel desses mecanismos de controle fica mais claro quando, por algum motivo, eles deixam de operar efetivamente. Por exemplo, quando algumas células de um organismo multicelular passam a se reproduzir descontroladamente, temos o surgimento de um tumor maligno, que termina por inviabilizar a sobrevivência do próprio organismo. Assim, o câncer pode ser considerado um fenômeno residual da transição principal para a multicelularidade: quando seus mecanismos de controle falham, as células retomam o comportamento competitivo anterior à transição. Isso sugere que a predisposição genética inicial das células para a competição não foi realmente suprimida, mas apenas controlada. Nesse sentido, as transições principais nunca terminam completamente, elas apenas atingem um ponto em que as novas entidades coletivas tornam-se estáveis e passam a evoluir, elas próprias, por seleção natural. Em termos técnicos, elas se tornam “evoluíveis” ou adquirem “evolvibilidade”.

As transições principais são processos complexos e demorados, que envolvem uma grande quantidade de indivíduos e se prolongam por muitas gerações. Entretanto, há um momento decisivo em toda transição principal: quando a seleção natural entre as entidades do novo nível de individualidade passa a predominar sobre a seleção nos níveis inferiores. Desse ponto em diante, as entidades do novo nível tornam-se unidades de seleção plenas, ou seja, elas tornam-se capazes de (i) preservar sua integridade e (ii) evoluir pelo processo de seleção natural atuando entre as unidades do novo tipo. Nesse momento, a seleção natural no novo nível de individualidade passa a fortalecer a integridade das novas entidades biológicas, e a transição principal torna-se praticamente irreversível.

Como as entidades biológicas criadas em cada transição principal continuam competindo entre si após as transições seguintes, o processo de seleção natural ocorre simultaneamente em todos os níveis da hierarquia biológica, mesmo nos seus níveis mais baixos. Esse fenômeno é conhecido tecnicamente como “seleção natural em múltiplos níveis” (OKASHA, 2006).

A seleção natural em múltiplos níveis é bastante complexa, pois os processos seletivos atuando nos diversos níveis de individualidade não são independentes entre si: pressões seletivas em um nível podem favorecer ou desfavorecer entidades de outros níveis. Assim, em muitas situações, é necessário considerar os mecanismos de seleção natural atuando simultaneamente em diferentes níveis de individualidade. Por exemplo, os genes de uma mesma célula competem entre si por *fatores de transcrição*: pro-

teínas que regulam a expressão de diversos genes e que estão disponíveis no núcleo da célula em uma quantidade limitada (BREWSTER, 2014). Ao mesmo tempo, as próprias células competem entre si em um organismo multicelular (KHARE; SHAULSKY, 2006), e esses organismos competem entre si por recursos naturais escassos.