

Como a teoria evolutiva na atualidade pretende explicar a origem das características vivas?

Beatriz Ceschim¹, Matheus Ganiko-Dutra¹,
Ana Maria de Andrade Caldeira²

¹ Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”,
Programa de Pós-Graduação em Educação para Ciência, Bauru, SP

² Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”,
Departamento de Educação, Bauru, SP

Autor para correspondência - beatriz.ceschim@unesp.br

Palavras-chave: síntese estendida da evolução, síntese moderna da evolução, ensino de evolução, teoria de construção do nicho, herança inclusiva, plasticidade fenotípica



Sabemos que teorias científicas sofrem mudanças ao longo do tempo. Com a teoria evolutiva não é diferente. Nos últimos anos, um conjunto de pesquisadores tem defendido que a evolução biológica precisa ser explicada por uma Síntese Estendida da Evolução, de modo que novos conhecimentos permitam ampliar a Síntese Moderna da Evolução, originada há mais de meio século. A necessidade da ampliação, também explorada em nosso texto, consiste em uma tentativa de abandonar visões genecêntricas, que atribuem toda explicação de características vivas para o DNA e, em um esforço para conectar fatores externos e internos do organismo, como ambiente-desenvolvimento, em explicações mais abrangentes. É objetivo do texto destacar fontes mais plurais de inovação das características dos seres vivos, indicando outras formas de hereditariedade que não sejam genéticas, algumas também não genealógicas e tratando de alguns elementos centrais para a discussão atual da Síntese Estendida, como a evo-devo e a eco-evo-devo.



A aparência, o funcionamento e o comportamento dos seres vivos impressionam e instigam os cientistas, dada a beleza, a diversidade e a complexidade que apresentam, sejam eles plantas, animais ou mesmo algas, protozoários, fungos e bactérias, pois a morfologia e a fisiologia, resultantes de uma história evolutiva longa, podem proporcionar meios que dão manutenção à vida e aos processos de reprodução, de modo a garantir a perpetuação das espécies ao longo do tempo.

A biologia não se basta com descrições sobre as estruturas e os processos que os seres vivos possuem. Como sabemos, a ciência da vida também investiga as origens históricas de cada parte constituinte de um organismo. Estamos falando, neste caso, da evolução biológica que investiga como os organismos modificam-se ao longo do tempo.

A evolução biológica explica semelhanças e diferenças dos seres vivos, explica por que novas formas surgiram e por que continuam a surgir, ou melhor, a evolução explica como isso acontece. Inicialmente, no período denominado como “Darwinismo”, Darwin e Wallace estabeleceram a seleção natural, a partir de 1859, mas ainda se admitia a herança de caracteres adquiridos, tal como proposto por Lamarck. No Neodarwinismo, a herança de caracteres adquiridos é rejeitada a partir de estudos de diferentes autores, como August Weismann, e posteriormente, a genética vai ganhando força, de modo que, após anos de discussões, é produzida uma lista de processos ou mecanismos, incluindo cinco fatores evolutivos: mutação, recombinação, seleção natural, isolamento e deriva genética. Fica então estabelecida a Síntese Moderna da Evolução (Ver Figura 1).

Desse modo, podemos dizer que também a teoria evolutiva pode evoluir, assim como qualquer teoria científica. Se considerarmos que a teoria da evolução esteve em um dado momento representada por Jean Lamarck e a teoria do uso e desuso, juntamente com a herança dos caracteres adquiridos, podemos considerar que a teoria evoluiu no sentido de que modificou-se quando passou a rejeitar essa forma de herança e passou a admitir somente as variações genéticas como fonte de inovação evolutiva.

Atualmente, também estamos vivendo um novo momento evolutivo da teoria da evolução biológica, pois temos autores em várias partes do mundo discutindo se devemos expandir a Síntese Moderna ou não. Uma vez que a síntese tenha sido estruturada em torno de 1940, embora tenha incorporado alguns novos saberes ao longo do século XX, não houve uma reorganização para acomodar os conhecimentos que vêm sendo produzidos nos últimos anos a partir do uso de tecnologia contemporânea e com novas abordagens. Por exemplo, uma das áreas cuja inclusão na teoria evolutiva foi intensamente reivindicada a partir do fim do século XX é a Biologia do Desenvolvimento. Alguns nomes como Sean Carroll, Gerd Müller e Alan Love defendem que a relação entre o desenvolvimento e a evolução, a relação “evo-devo”, deveria fazer parte das explicações evolucionistas, uma vez que padrões corpóreos e regulações gênicas poderiam ser explicados de formas bem atualizadas por meio de novas abordagens de pesquisa.

A reivindicação para a expansão da Síntese Moderna para dar origem ao que seria chamado de Síntese Estendida da Evolução tem um caráter muito coerente com o que o nome propõe, uma vez que a proposta é a de que não ocorra troca ou substituição, muito menos exclusões. Todo o poder explicativo da Síntese Moderna, especialmente dos processos de recombinação, mutação, isolamento, seleção natural e deriva genética, seria ampliado e reorganizado dentro de um quadro mais abrangente.

A Síntese Estendida, por exemplo, inclui como causa adicional da diversidade a origem de características dos organismos a partir de variação não genética, antes tratada como ruído ou como caso excepcional. Também inclui a ideia de que organismos não só recebem passivamente as consequências do processo seletivo, pois também podem atuar determinando condições de seus ambientes. Autores como Massimo Pigliucci e Kevin Laland propõem que, muito diferente de uma substituição, a Síntese Estendida visa ampliar e tornar ainda mais abrangente a teoria evolutiva preexistente (Figura 1).



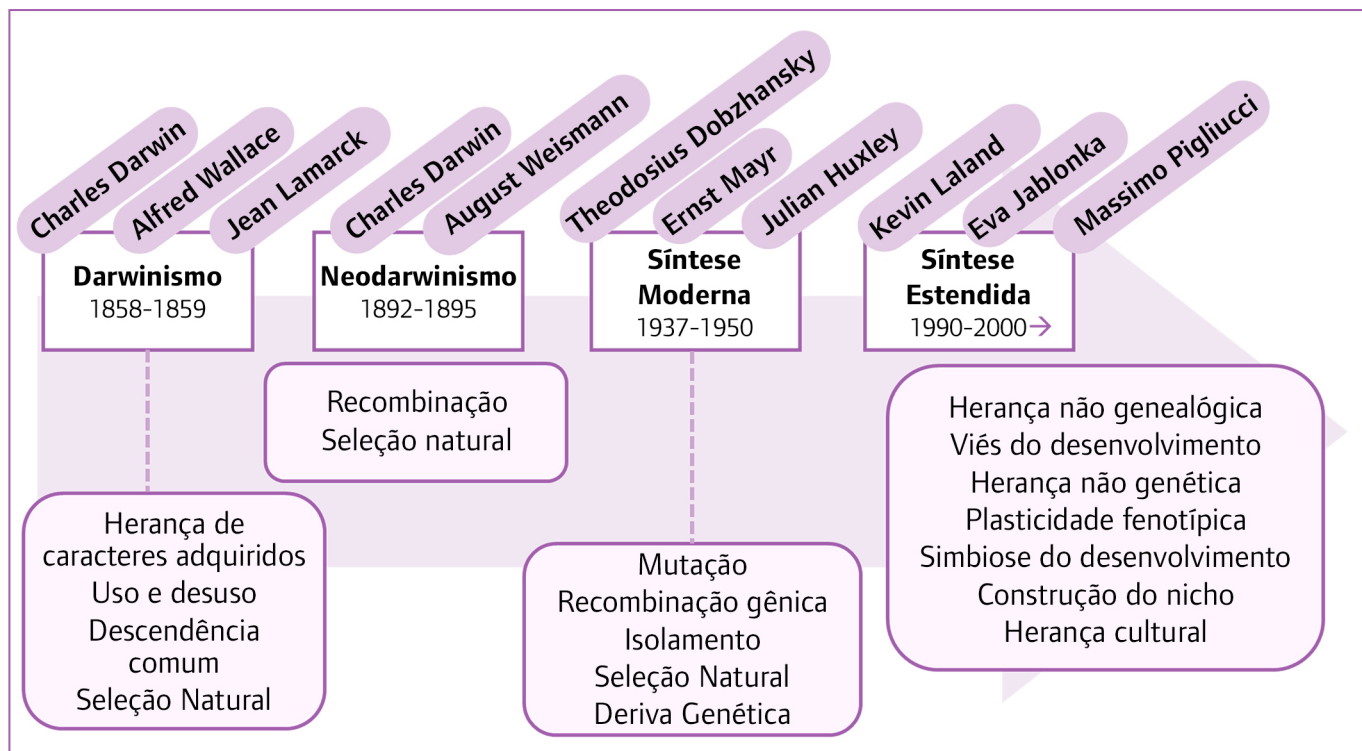


Figura 1.

Diagrama que destaca as principais modificações da teoria evolutiva desde Darwin. Os retângulos superiores indicam os principais períodos, Darwinismo, Neodarwinismo, Síntese Moderna e Síntese Estendida, com suas respectivas datas aproximadas de início. Acima desses retângulos, estão associados alguns dos principais autores cujas ideias foram muito centrais no período. Conectados abaixo de cada período, estão outros retângulos com cantos arredondados, indicando os principais conceitos que compõem a estrutura explicativa em cada momento. Vale ressaltar que, no caso da Síntese Estendida, além dos conceitos próprios que constam no retângulo, deve-se considerar também aqueles conceitos da Síntese Moderna. Fonte: elaboração dos autores.

Apesar da inclusão de novos conceitos para explicar questões evolutivas, a Síntese Estendida vai além de uma ampliação no arcabouço conceitual da Síntese Moderna. Existem reorientações teóricas importantes de serem levadas em consideração. Neste sentido, podemos diferenciar o enfoque da Síntese Moderna do enfoque da Síntese Estendida, por mais que ambas compartilhem alguns conceitos centrais como mutação, recombinação gênica, seleção natural, deriva genética e isolamento. Podemos, assim, destacar, pelo menos, três pontos principais em que estas teorias diferem enfaticamente.

O primeiro ponto diz respeito à relação entre as interações entre o organismo e o ambiente. Na Síntese Moderna, o ambiente desempenha um papel mais determinista pois ele é decisivo para a sobrevivência e reprodução dos organismos. Somente um organismo que resiste às condições impostas por um dado ambiente consegue sobreviver. Já na Síntese Estendida, a relação não é tão unidirecional porque, assim como o ambiente exerce certa influência na história de vida

dos organismos, estes também são capazes de alterar o ambiente. Pense na espécie humana e na forma como transformamos o ambiente ao alterarmos paisagens para construir lavouras e produzir alimentos em larga escala para que nossa espécie fosse bem-sucedida em sobrevivência e reprodução. Apesar de a Síntese Moderna incluir um papel dinâmico para o ambiente nas interações com os organismos, a Síntese Estendida enfatiza a reciprocidade.

O segundo ponto em que tais teorias divergem é a causa das explicações da forma, do funcionamento e do comportamento dos organismos. Enquanto a Síntese Moderna explica a origem de novas características com ênfase em mutações e recombinação gênica, a Síntese Estendida enfatiza alguns processos, além destes citados, que podem explicar tais novidades, como a plasticidade fenotípica, os genes reguladores do desenvolvimento e transmissão horizontal de genes, por exemplo. Por isso, dizemos que na Síntese Estendida existem múltiplas causas que explicam as características dos organismos.



A terceira diferença de ênfase que merece destaque é acerca da herança, ou seja, da forma como as características são transmitidas entre os organismos. Na Teoria Sintética, a transmissão de características acontece, necessariamente, da geração parental para seus descendentes e por meio exclusivo da sequência do DNA. Na Síntese Estendida, à herança genética são acrescentadas outras formas de transmissão de características. A herança pode ser não genética, como, por

exemplo, a transmissão da microbiota; e também pode acontecer entre organismos não relacionados, como acontece na transmissão de cultura.

A partir destas diferenças de ênfases, é possível identificar diferenças nas perguntas de pesquisa colocadas por cada teoria, bem como nos conceitos utilizados para responder a essas perguntas. Estas comparações estão sintetizadas no Quadro 1.

Quadro 1.

Comparação entre a estrutura conceitual da Síntese Moderna e da Síntese Estendida em relação ao enfoque; principais perguntas científicas possíveis em cada teoria; e principais conceitos que respondem a essas perguntas.

		Síntese moderna da evolução	Síntese estendida da evolução
Compreensão de evolução		Mudança na frequência da composição genética de populações	Mudança nas características dos organismos e na sua distribuição nas populações
Enfoque	Surgimento de inovação evolutiva	Fonte genética	Fonte múltipla
		Como surge a inovação do material genético? <i>Mutações e recombinação gênica</i>	Como surge inovação da forma, do funcionamento e do comportamento dos organismos? <i>Mutações e recombinação gênica; Troca de materiais entre organismos (transferência horizontal de genes, cleptoplastia e simbiose); Ação de genes reguladores do desenvolvimento; e Fontes não genéticas (herança não genética e plasticidade fenotípica)</i>
		Como as frequências de sequências gênicas são alteradas ao longo das gerações? <i>Seleção natural, isolamento e deriva genética</i>	Como as frequências de fenótipos são alteradas ao longo das gerações? <i>Seleção natural, isolamento e deriva genética</i>
	Herança	Genética genealógica	Herança Inclusiva
		Como a geração parental transmite suas características para os descendentes? <i>Herança genética</i>	Como os organismos (com ou sem parentesco) transmitem suas características para outros organismos? <i>Herança genética genealógica e sem parentesco, epigenética, efeito parental, herança ecológica, herança cultural e transmissão de simbiotes</i>
	Relação organismo-ambiente	Determinismo do ambiente	Reciprocidade organismo-ambiente
De que forma o material genético relaciona-se com o organismo ao longo da vida? <i>O organismo é a expressão de seu material genético mediado por interações com o ambiente</i>		De que forma o material genético relaciona-se com o organismo ao longo da vida? <i>O organismo expressa o material genético de modo integrado com sinais ambientais em processos de desenvolvimento, com regulação epigenética e com simbiotes</i>	
	De que forma o material genético e o organismo relacionam-se com o ambiente? <i>O ambiente com papel seletivo determinará o sucesso do material genético e do organismo</i>	De que forma o material genético e o organismo relacionam-se com o ambiente? <i>Organismos produzem modificações no ambiente e também produzem cultura, que podem ser transmitidos. Desse modo, o ambiente é reorganizado de modo que os fatores evolutivos também são regulados, em parte, por ação dos organismos</i>	



Existe uma crítica em relação à Síntese Estendida que argumenta que ela não é necessária. Argumenta-se que a Biologia já emprega esses conceitos, como o desenvolvimento e epigenética, por exemplo, nas explicações dos problemas evolutivos que se colocam nas investigações. Desse ponto de vista, adotar a Síntese Estendida seria apenas mais um rótulo desnecessário, entretanto, não se trata apenas de reunir determinados conceitos sob um mesmo nome. Conforme discutido e apontado no quadro, a Síntese Estendida propõe uma reorientação teórica, ou seja, uma mudança na forma de olhar para estes fenômenos que deve ser levada em consideração por permitir uma interpretação mais complexa da biologia, por fazer novas perguntas de pesquisa e por aumentar o poder científico de fazer previsões.

Esta reorientação é valiosa principalmente no ensino de biologia. Dois dos principais obstáculos de aprendizagem identificados nas pesquisas nesta área são i) o genocentrismo, isto é, a ênfase nas explicações genéticas; e ii) as explicações lineares que atribuem uma única causa para fenômenos biológicos, que são complexos. O enfoque da Síntese Estendida permite o enfrentamento destes dificultadores da aprendizagem ao integrar diversos conceitos da Biologia em uma abordagem de fontes múltiplas para as características dos organismos, da herança inclusiva e da reciprocidade entre organismo e ambiente. Sendo assim, nas próximas seções, serão respondidas algumas perguntas referentes à produção de inovação evolutiva sob a ótica da Síntese Estendida da Evolução.

Como a troca de materiais entre organismos pode gerar inovação?

Entre os seres vivos pode ocorrer troca ou transferência de estruturas biológicas, tais como organelas celulares, material genético e até mesmo organismos inteiros que passam para o interior de outro, de modo que

novas características tornam-se possíveis a partir dessas interações. São bem conhecidos os exemplos de hospedeiros que abrigam ou acomodam parasitas, mas o olhar evolutivo que se tem dado recentemente para relações como essas e outras relações nas quais não há prejuízo para nenhum dos envolvidos, consiste em evidenciar e destacar os casos nos quais novas características surgem a partir da interação dos seres. Vale ressaltar que essas interações, que podem resultar em novas características, chamamos de **simbiose do desenvolvimento**.

Nomes da atualidade, como Scott Gilbert, explicam que os seres vivos podem ser entendidos como construídos, em parte, pelas interações entre si (o hospedeiro) e os microrganismos que nele habitam, denominados como microrganismos simbióticos. O organismo hospedeiro somado à sua comunidade microbiana, incluindo bactérias, vírus, arqueias, fungos, protozoários e helmintos, pode ser entendido como um ecossistema e, no todo, pode ser denominado como “holobionte”.

Em alguns casos, é possível dizer que a construção do corpo animal é dependente de seus microrganismos simbiotes, ou seja, animais realizam interações com os microrganismos que são necessários ou indispensáveis para a conclusão da diferenciação celular durante o desenvolvimento. A razão para tal está aparentemente no papel dos microrganismos no fornecimento de sinais para múltiplas etapas de desenvolvimento do animal. Por exemplo, algumas bactérias são necessárias para que ocorra metamorfose em muitos invertebrados; outras bactérias são imprescindíveis para o desenvolvimento completo do intestino de ratos, como afirmam pesquisadores, como Margaret McFall e Thomas Bosch.

Já o inseto pulgão da espécie *Acyrtosiphon pisum* pode exibir o fenômeno da simbiose do desenvolvimento na característica de sua cor. Normalmente, o pulgão exibe coloração vermelha, porém, ao se associar com a bactéria *Rickettsiella viridis*, sua superfície torna-se verde. O mais interessante é que como

os pulgões tendem a viver em folhas de cor verde, a cor induzida pela associação com a bactéria resulta em menos risco de predação em comparação com pulgões vermelhos não infectados, como conta o pesquisador Tsutomu Tsuchida.

Também muito importantes são as inovações vivas que surgem quando ocorre a doação de material genético de um ser vivo para outro, que passa a executá-los, originando produtos gênicos de outra espécie. É como se os organismos estivessem fazendo transgênicos naturais e o mais intrigante é que o DNA desses seres vivos passa a conter material hereditário que não foi originado de forma genealógica. Quando ocorre essa doação de material genético, também chamada de **transferência horizontal de genes**, o organismo doador do gene e o organismo que o recebe podem ser evolutivamente distantes.

Pode se tratar de arqueias e bactérias, ou bactérias e eucariotos, por exemplo.

Um caso de transferência de genes entre organismos evolutivamente distantes é o da doação de material genético de arqueias e bactérias para uma alga vermelha da espécie *Galdieria sulfuraria*. Os genes adquiridos originam proteínas que permitem a capacidade de sobreviver em ambientes vulcânicos, salinos e tóxicos onde a alga citada atualmente reside, como identificaram pesquisadores, como Gerald Schönknecht.

Nos exemplos acima, tratamos de associações simbióticas ou transferências genéticas não genealógicas que conferiram uma nova característica a pelo menos um dos organismos envolvidos. Para encerrar essa seção, abordamos o caso, à primeira vista mais enigmático dentre os apresentados aqui.



Com base na constatação de que um molusco marinho com coloração esverdeada apresentava a capacidade de fazer fotossíntese, estudos foram realizados para elucidar quais eram os meios para tal e as origens das estruturas envolvidas. O molusco, da espécie *Elysia chlorotica*, uma lesma-do-mar, ingeria em sua alimentação algas da espécie *Vaucheria litorea*. Neste caso, a ingestão tem algo especial pois a captura dos cloroplastos provenientes da alga ocorre sem que seja feita a digestão. Assim, os cloroplastos são interiorizados para o ambiente das células da lesma-do-mar ainda funcionais, um processo denominado **cleptoplastia**. A lesma passa então a ser verde e passa a ter a capacidade de fazer fotossíntese, sendo que tais processos são obrigatórios para completar seu desenvolvimento, como explicam Mary Rumpho e outros pesquisadores.

Como genes podem controlar outros genes originando inovação no desenvolvimento?

O estudo do desenvolvimento dos organismos tem resultado em conhecimentos que tem interfaces importantes com a evolução biológica. Como mencionamos anteriormente, a relação entre a evolução e o desenvolvimento, é hoje comumente abreviada como “evo-devo” uma vez que grande parte dos saberes dessa área de estudo são originárias de investigações referentes a como genes expressam-se ou como não se expressam. As pesquisas foram evidenciando proteínas responsáveis por ativar e desativar a expressão de vários genes envolvidos na produção de estruturas dos organismos durante o desenvolvimento.

Muitos esforços foram dedicados para identificar quais seriam os genes responsáveis por

fazer a regulação que ativa/desativa os genes durante o desenvolvimento, mas o resultado talvez tenha sido o menos esperado possível: cientistas identificaram que os genes reguladores do desenvolvimento são compartilhados por praticamente todos os animais.

Atualmente os genes reguladores são chamados de genes Hox e, embora sejam encontrados em grupos muito diferentes, como insetos ou mamíferos, podem originar estruturas morfológicas muito variadas, ou seja, estruturas presentes em diferentes filós, como olhos, membros e corações, que parecem ter evoluído de forma completamente independente, originam-se a partir de conjuntos semelhantes de genes e circuitos de reguladores genéticos profundamente conservados. Esses genes parecem guardar segredos de como dar origem às estruturas variadas de cada grupo de organismo.

Mais do que responder pela origem das diferenças e semelhanças dos seres vivos, os genes reguladores também podem significar a fonte de inovação de características caso sofram mutações, como defende Sean Carroll. Considerando que sejam genes que determinam uma série de processos simultâneos, tendo sofrido uma mutação, e que poderia iniciar uma mudança significativa na produção da estrutura do organismo em desenvolvimento.

O papel do desenvolvimento era tradicionalmente entendido pela visão da restrição à variabilidade, ou seja, como nem todas as estruturas podem ser originadas durante a produção da forma, entendia-se que o desenvolvimento tivesse um papel de reduzir as possibilidades de características vivas. Porém, no contexto da Síntese Estendida, entende-se que as estruturas vivas são produzidas pelo **viés de desenvolvimento**, que consiste na possibilidade de que algumas variantes surjam mais prontamente do que outras, como explica Tobias Uller e outros pesquisadores. Um resultado importante desse viés é que, uma vez acumulado, passa a determinar padrões morfológicos dos seres vivos de modo a direcionar tendências evolutivas.

Como outras fontes além da genética podem originar inovação?

Até o momento da estruturação da Síntese Moderna, pode-se dizer que os termos “herança” e “genética” estavam muito atrelados, uma vez que a herança biológica que estava sob foco de estudo era a herança genética. Era um período importante para os avanços do entendimento sobre a célula e, poucos anos depois, para o entendimento da estrutura e do funcionamento do DNA. Meio século mais tarde, pesquisadores como Eva Jablonka passam a reivindicar a necessidade de considerar outras formas de herança além daquela estritamente genética.

Uma das formas de herança não genética seria aquela mediada por epialelos, ou seja, as sequências de DNA são idênticas em suas sequências, mas diferem em suas modificações secundárias como na metilação do DNA ou na acetilação/metilação das histonas, que são as proteínas presentes nos cromossomos. Os processos de metilação e acetilação alteram os padrões de expressão dos genes, desligando ou ativando a expressão onde ocorrem, o que significa que podem influenciar as proteínas produzidas e, conseqüentemente, as características do organismo.

Alguns estados epigenéticos são mantidos na linha germinativa e podem ser transmitidos à descendência. Vale ressaltar que variações epigenéticas podem alterar o desempenho dos organismos, influenciando nos resultados adaptativos – é o que dizem os pesquisadores Ilkka Kronholm e Sinéad Collins. Sendo assim, a característica originada a partir da epigenética pode ser alvo da seleção natural, resultando no aumento da distribuição de determinada característica na população, ainda que não ocorra mudança direta nas frequências dos genes.

A **herança epigenética** parece resgatar o passado da história da teoria evolutiva, uma vez que, embora a herança genética não permita que traços adquiridos durante a vida sejam

transmitidos aos descendentes, a herança epigenética permite. Porém, ao contrário da herança lamarckiana, a concepção moderna de transmissão de características adquiridas não envolve o uso e desuso de órgãos em resposta a mudanças ambientais. Assim, não se trata da herança de uma resposta do organismo dirigida aos estímulos ambientais, mas sim da herança de estados epigenéticos possíveis que são adquiridos durante a vida do indivíduo. Um exemplo é o da planta *Laguncularia racemosa* (L.) encontrada no mangue brasileiro. Uma população que crescia em ambiente altamente salino exibiu menor altura e área foliar reduzida em comparação com a população que crescia às margens do rio. Tais diferenças observadas não estavam associadas à diferença genética nas plantas



de cada ambiente, mas havia elevada variação nos padrões de metilação do DNA, sugerindo que as variações epigenéticas permitem um ajuste entre tais organismos e seus respectivos ambientes, como observaram Catarina Lira e outros pesquisadores.

Outro aspecto importante referente à genética e que está sob o holofote da Síntese Estendida é a questão das mudanças que as características vivas exibem sob influência ambiental, ainda que o DNA mantenha-se inalterado, o que é conhecido como **plasticidade fenotípica**. Vale lembrar que o termo “genótipo” refere-se ao material genético, enquanto o termo “fenótipo” refere-se às características vivas que são produzidas, sejam elas estruturais, fisiológicas ou comportamentais).

À época da Síntese Moderna, o fenótipo dos seres vivos era entendido como resultando do controle genético, ou seja, o fenótipo seria a manifestação exata do genótipo. Neste caso, geneticistas tendiam a descartar traços plásticos denominando-os como “ruídos do desenvolvimento”. Termos como “penetrância incompleta” e “expressividade” foram associados a fenótipos plásticos que representavam a dificuldade de associar determinado alelo a um determinado fenótipo. Porém, ao longo do século XX, foi possível a identificação de vários traços que resultam de uma complexa interação entre influências genéticas e ambientais.

Atualmente, podemos dividir dois grandes tipos de plasticidade fenotípica: o polifenismo e a norma de reação. No caso de um mesmo genótipo, capaz de produzir ou uma abelha rainha ou uma abelha operária, temos apenas duas alternativas de fenótipos, neste caso, trata-se de polifenismo. Ao contrário, se tivermos um caso de um espectro contínuo de fenótipos expressos a partir de um único genótipo em uma gama de condições ambientais, esse espectro é chamado de norma de reação, como explica Scott Gilbert. Tais relações entre fenótipo e ambiente podem ser interpretadas à luz da abordagem da **eco-evo-devo**, que reúne os campos da evolução, do desenvolvimento e da ecologia.

No contexto da Síntese Estendida, considera-se que a plasticidade fenotípica seja capaz de iniciar e/ou acelerar o ritmo da evolução adaptativa e promover a diversificação. O processo conhecido como “acomodação fenotípica”, por exemplo, permite um ajuste adaptativo, sem mudança genética, de aspectos estruturais após um *input* ou estímulo durante o desenvolvimento, ou seja, durante a vida do organismo, alguma incorrência é tomada como um sinal que desencadeia um processo de reorganização corpórea que permite ao organismo produzir ajustes de seu próprio fenótipo. Neste caso, esse ajuste ou inovação não é proveniente de uma série de mutações, mas da expressão reorganizada de estruturas que já estavam presentes de forma potencial. Vale



ressaltar que, por se tratar de elementos preexistentes no organismo, o ajuste não é infinitamente plástico e não é responsivo a qualquer desafio que possa enfrentar, para não incorrer em um pensamento com tom lamarkiano.

A acomodação fenotípica é defendida pela pesquisadora Mary Jane West-Eberhard também proponente de que se houver variação genética por trás da resposta fenotípica dos diferentes indivíduos, a seleção natural produzirá o processo de “acomodação genética”. O significado de tais discussões sobre processos está na ideia de que, por acomodação fenotípica seguida de acomodação genética, a seleção adaptativa pode ocorrer sem depender lentamente da mutação aleatória. Além disso, como o fenótipo foi ambientalmente induzido, vários indivíduos da população podem ter sido responsivos ao mesmo tempo e diferentemente das mutações que foram iniciadas em indivíduos isolados.

Como modificar o ambiente e outros comportamentos podem influenciar a evolução?

Ninguém discorda de que o ambiente tem um papel importante no processo evolutivo. Porém, a especificação desse papel não é a mesma na proposta da Síntese Estendida e na Síntese Moderna de pouco mais de meio século atrás, antes concebido como um agente seletivo, ou como um desafio externo que funciona aproximadamente como uma pressão sobre os organismos. Hoje, o ambiente é reinterpretado: se antes uma seta imaginária iria do ambiente em direção ao organismo, hoje, seriam necessárias muitas setas para representar as relações entre o organismo e o ambiente no processo evolutivo.

Uma das maiores contribuições para romper com a visão de um papel passivo do organismo com relação ao meio talvez tenha sido a **Teoria da Construção do Nicho**, defendida por pesquisadores como John Odling-Smee. Ao secretar substâncias químicas, armazenar recursos e ao construir artefatos, os seres vivos realizam o que pode ser considerado como construção de nicho, que é o processo pelo qual o metabolismo e as atividades dos organismos modificam os próprios nichos e/ou outros nichos. Além dos exemplos mencionados, também é possível citar que os organismos podem se mover ativamente no espaço, às vezes escolhendo o momento em que o fazem e, desse modo, expondo-se a condições alternativas.

Certamente os seres vivos apresentavam tais características na época da Síntese Moderna, mas o olhar para elas mudou, porque hoje se considera que, por meio da construção de nicho, os organismos determinam parcialmente as pressões de seleção às quais eles e seus descendentes estão expostos de maneira não aleatória, ou seja, passam a codirigir a própria evolução, como defende Kevin Laland e outros pesquisadores. São exemplos de intervenção dos seres vivos no ambiente os ninhos de aves, formigueiros, cupinzeiros, colmeias, construção de teias, tocas etc. Também podemos mencionar o efeito que a produção fotossintética de oxigênio a partir de bactérias, algas e plantas teve para a atmosfera; ou o efeito que os microrganismos fixadores de nitrogênio têm para diferentes espécies.

Como os resultados da construção do nicho não estão restritos a uma única geração, o termo “**herança ecológica**” é utilizado para designar as modificações ambientais produzidas por organismos que constroem nichos, ambientes seletivos alterados que são herdados pelos descendentes. Porém, como os componentes ambientais incluem outros organismos vivos, é possível afirmar que uma herança ecológica seja transmitida de múltiplos organismos para múltiplos outros organismos, dentro e entre gerações, não somente de modo genealógico.



Um outro fator importante que pode ser transmitido de geração em geração e não depende de vias genéticas nem genealógicas é a **herança cultural**. Podemos pensar o conceito de cultura de um modo abrangente, como a transmissão de conhecimentos e comportamentos por meio da interação social, por ensino ou imitação, podendo afetar o sucesso reprodutivo dos indivíduos.

Acredita-se que a capacidade de adquirir cultura por imitação tenha contribuído para a adaptação de indivíduos, pois a plasticidade do comportamento permite uma resposta às condições ambientais mais rápida que o surgimento de fenótipos adaptativos mediados pela genética, como discute Paulo Abrantes e outros pesquisadores. Um exemplo da aquisição de cultura por primatas consiste no comportamento de lavar batatas identificado em macacos japoneses. Estes animais eram alimentados com batatas que chegavam cobertas de terra. O ato de lavar as batatas num riacho surgiu com uma fêmea e sua atitude foi imitada por todo o grupo. Essa pesquisa de Syunzo Kawamura indica como é possível um comportamento, até então inexistente em uma população, uma vez que se torne útil ou estabelecido, tenha reais chances de ser imitado e de se tornar generalizado para todos.

Os efeitos da distribuição de um traço cultural em uma população podem impactar até mesmo padrões de herança genética, levando a uma coevolução de gene-cultura. Por exemplo, a lactase é uma enzima produzida por mamíferos que permite a degradação da lactose, um carboidrato do leite e que tem sua produção diminuído pelo organismo com o final do período de amamentação. Assim, mamíferos adultos exibem naturalmente intolerância à lactose. Entretanto, a tradição da domesticação de animais produtores de leite por determinadas populações humanas, um traço cultural, favoreceu o aumento da distribuição de indivíduos que possuíam uma disposição genética que permitia a tolerância à lactose na fase adulta. Essa é uma explicação que o pesquisador Kenichi Aoki fornece e que consiste em um exemplo da coevolução da herança gene-cultura.

Considerações finais

Diante de exemplos apresentados sobre como as características dos seres vivos podem ser originadas por outros meios além de mutação e recombinação gênica, foi possível elencar evidências de que a Síntese Estendida visa ampliar de forma fundamentada e plural as explicações sobre como a inovação evolutiva surge. Com ênfase para a articulação de fatores causais, a interação entre os organismos e também dos organismos com o ambiente é ressaltada sem que a genética perca a importância e passa a ser interpretada mais conectada com o desenvolvimento e os fatores ambientais, por exemplo.

A Síntese Estendida pode ser muito exitosa nessa tarefa de fazer conexões entre as áreas de estudo da biologia e entre os diversos fatores que compõem o mundo ecossistêmico, no qual se inserem os seres vivos, pois para entender a evolução, não faz sentido que uma ou outra área da biologia seja desconsiderada. Theodosius Dobzhansky disse que “nada na biologia faz sentido exceto à luz da evolução”, assim, a Síntese Estendida talvez esteja visando evidenciar que nada na evolução faz sentido exceto à luz de todas as áreas da biologia.

Para saber mais

CESCHIM, Beatriz; OLIVEIRA, Thais Benetti de; CALDEIRA, Ana Maria de Andrade. Teoria Sintética e Síntese Estendida: uma discussão epistemológica sobre articulações e afastamentos entre essas teorias. *Filosofia e História da Biologia*, v. 11, n. 1, p. 1-29, 2016.

CESCHIM, Beatriz; GANIKO-DUTRA, Matheus. “Genético” e “hereditário”: como a biologia contemporânea explica essa relação? In: CALDEIRA, Ana Maria de Andrade. *Didática e epistemologia da biologia*. São Paulo: Cultura Acadêmica, 2020. p. 169-202.

LALAND, K. N. On evolutionary causes and evolutionary processes. *Behavioural processes*, v. 117, p. 97-104, 2015.

PIGLIUCCI, M. An extended synthesis for evolutionary biology. *Annals of the New York Academy of Sciences*, v. 1168, n. 1, p. 218-228, 2009.

