

Theodosius Dobzhansky e as relações entre genética e evolução

Cintia Graziela Santos *

Lilian Al-Chueyr Pereira Martins #

1 INTRODUÇÃO

O biólogo e geneticista Theodosius Dobzhansky (1900-1975) considerou a possibilidade de uma associação da genética com a teoria evolutiva em 1921 quando se graduou em biologia pela Universidade de Kiev. No mesmo ano, tornou-se professor assistente de Zoologia do Instituto Politécnico dessa cidade. Em 1924, a convite do Prof. Iuri Filipchenko, transferiu-se, como docente, para a Universidade de Leningrado. Nesse ano, publicou um trabalho sobre *Drosophila melanogaster*.

No verão de 1926 e em 1927 realizou pesquisas sobre animais domésticos no Casaquistão. Encontrou uma espécie de besouro, até então desconhecida, que hibernava em grupos constituídos por dezenas de milhares de indivíduos. A descoberta foi inédita para a família Coccinellidae e resultou, posteriormente, em uma publicação sobre o assunto em um periódico alemão (Araújo, 1998, p. 719).

* Doutoranda do Programa de Biologia Comparada. FFCLRP-USP. Av. Bandeirantes, 3900, Bairro Monte Alegre, Ribeirão Preto, SP, CEP 14040-901. Grupo de História e Teoria da Biologia, USP. E-mail: cintiagraz@gmail.com

Departamento de Biologia, FFCLRP-USP. Av. Bandeirantes, 3900, Bairro Monte Alegre, Ribeirão Preto, SP, CEP 14040-901. Conselho Nacional para o Desenvolvimento Científico (CNPq). Grupo de História e Teoria da Biologia, USP. E-mail: lacpm@ffclrp.usp.br

Ele foi dos drosofilistas que estagiou no laboratório de Thomas Hunt Morgan (1866-1945), “A sala da mosca” (*Fly room*) na Universidade de Colúmbia (Köhler, 1994, pp. xiii-xiv; capítulo 8).

Entretanto, Dobzhansky é geralmente lembrado por suas contribuições para a teoria sintética da evolução, síntese evolutiva ou síntese moderna. Foi considerado por Ernst Mayr (1904-2005) como um de seus arquitetos juntamente com George Gaylord Simpson (1902-1984), George Ledyard Stebbins (1906-2000), Ronald A. Fisher (1890-1962), Julian Huxley (1887-1975), dentre outros. Sua obra mais conhecida relacionada à síntese moderna é *Genetics and the origin of species* (Genética e a origem das espécies) de 1937.

Entre 1936 e 1947 ocorreu um acordo entre os biólogos evolucionistas com relação aos seguintes pressupostos: o gradualismo do processo evolutivo (explicado por meio de pequenas mudanças nos genes e recombinação sobre as quais age a seleção natural); o conceito de população (as espécies são vistas como agregados populacionais) e o efeito dos fatores ecológicos (nicho, competição etc.). Este acordo não incluiu a herança de caracteres adquiridos (*soft inheritance*), que tinha sido aceita pela comunidade científica durante muito tempo (Mayr, 1982, p. 567).

Proposto por Julian Huxley em 1942, o termo “síntese” ou “síntese moderna” do pensamento evolutivo é descrito como um importante evento intelectual que ocorreu entre as duas grandes guerras e se caracterizou pela convergência de diversas disciplinas biológicas. O reconhecimento da síntese aconteceu em um encontro em Princeton em 1947, quando foram feitas as concessões. A partir de 1955, aqueles que lutaram para unificar a Biologia tiveram que envidar esforços para manter essa unificação (Mayr, 1982, pp. 566-570; Smocovittis, 1996).

A seguir, apresentaremos uma tradução do capítulo 1 de *Genetics and the origin of species*, intitulado “Diversidade orgânica”, tal como aparece na segunda edição revista dessa obra (Dobzhansky, 1941, pp. 1-15).

Inicialmente, o autor comentou sobre a descontinuidade da diversidade orgânica que, a seu ver, foi explorada para desenvolver uma classificação “científica”. De modo análogo a Darwin e Wallace, Do-

bzhansky chamou a atenção para a importância da variabilidade e de sua herança para a diversidade orgânica.

Procurando relacionar as investigações feitas na genética à proposta de Darwin, considerou que ambas se preocuparam em estudar os mecanismos evolutivos de forma causal. A seu ver, a genética, um ramo da fisiologia, é herdeira da tradição darwiniana.

O objetivo do livro é colocado de modo explícito: revisar a informação genética, levando em conta a diversidade orgânica correlacionando os dados obtidos pela taxonomia, citologia, fisiologia, dentre outras disciplinas. É interessante perceber que Dobzhansky não mencionou a embriologia, o ponto de partida das investigações de muitos geneticistas, que foi deixada de lado pela síntese evolutiva.

No entender do autor, a diversidade orgânica, que é observável, poderia ser compreendida de duas maneiras: pela sua descrição e pela análise de suas causas e propriedades.

Dobzhansky foi cuidadoso ao afirmar que embora a evolução pudesse ser considerada um fato, não se tinha um conhecimento mais aprofundado dos mecanismos evolutivos (mudanças gênicas ou mutações e rearranjos cromossômicos). Via a necessidade de fazer um teste em relação às hipóteses de trabalho para averiguar se o que ocorria no laboratório também ocorria na natureza.

Ao tratar da genética, ele a dividiu em vários ramos como, genética de populações e a genética da transmissão, por exemplo. Sobre a constituição e ação dos genes, também via a necessidade de mais estudos que pudessem trazer esclarecimentos sobre o assunto.

Para o autor, um dos objetivos da genética de populações¹ consistia em estudar os mecanismos de isolamento reprodutivo (isolamento ecológico², isolamento sexual, esterilidade do híbrido e outros).

¹ É importante lembrar que foi Dobzhansky quem introduziu a pesquisa sobre genética de populações de *Drosophila* no Brasil, em um dos centros de pesquisa genética, o grupo liderado por André Dreyfus (1906-1975) na Universidade de São Paulo. (Ver a respeito em Sião, 2008, capítulo 2).

² O isolamento ecológico pode estar relacionado com os hábitos de vida dos seres vivos. Por exemplo, se duas populações de uma mesma espécie de planta que estão em uma mesma área florescem em estações do ano distintas, pode ocorrer o isolamento ecológico entre essas duas populações ao longo das gerações.

2 TRADUÇÃO³: THEODOSIUS DOBZHANSKY, *GENÉTICA E A ORIGEM DAS ESPÉCIES*

2.1 Diversidade orgânica

Diversidade e descontinuidade

Por séculos a diversidade dos seres vivos tem sido de grande interesse para a humanidade. Não apenas a grande quantidade de “tipos” distintos ou espécies de organismos e a variedade de suas estruturas parecem infinitas, como também não há uniformidade dentro das espécies. Considera-se que todo indivíduo humano é único, diferente de todos os outros que vivem ou que viveram. Isso é, provavelmente, verdade para indivíduos de outras espécies que não seja a humana, embora nossos métodos de observação sejam frequentemente inadequados para demonstrá-lo. Desde os tempos mais remotos, tentativas têm sido feitas para compreender as causas e significância da diversidade orgânica. Para muitos, o problema possui um apelo estético irresistível e, visto que, como investigação científica é uma forma de empreendimento estético, a biologia deve sua existência em parte a esse apelo.

A diversidade orgânica é um fato observável mais ou menos familiar a todos. É percebida por nós como alguma coisa à parte de nós mesmos, independente dos nossos pensamentos. Embora, os indivíduos tenham sua existência limitada a um intervalo de tempo, constituem a realidade primária com a qual um biólogo se confronta. Enquanto a singularidade e ausência de repetição dos indivíduos são aspectos que cabem principalmente dentro do ramo de conhecimento de filósofos e artistas, o cientista concentra sua atenção em suas similaridades e diferenças. Certamente, uma noção mais próxima do mundo vivo revela um fato quase tão surpreendente quanto a própria diversidade. Este [fato] é a descontinuidade da variação entre os organismos.

³ DOBZHANSKY, Theodosius. *Genetics and the origin of species* [1937]. 2th edition. New York: Columbia University Press, 1941. O trecho traduzido corresponde à seção intitulada “Organic diversity”, pp. 1-15.

Se reunirmos a maior quantidade possível de seres vivos em um dado tempo, perceberemos inicialmente que a variação observada não forma nenhum tipo de distribuição contínua. Em vez disso, é encontrado um grande número de distribuições distintas e discretas. Em outras palavras, o mundo vivo não é um conjunto único de indivíduos no qual duas variações estão conectadas por uma série de gradações contínuas, mas um conjunto de grupos mais ou menos separados distintamente, sendo que os intermediários entre eles estão ausentes ou são pelo menos raros. Cada conjunto é um *cluster*⁴ de indivíduos, que usualmente possui algumas características em comum e tende a um ponto modal definido com relação às suas variações. Pequenos *clusters* são agrupados juntos em *clusters* secundários maiores, esses, [por sua vez] em *clusters* ainda maiores, e assim em uma ordem hierárquica.

A descontinuidade da variação orgânica tem sido explorada para delinear uma classificação científica dos organismos. Evidentemente, a natureza hierárquica da descontinuidade observada se presta admiravelmente a esse propósito. Por motivo de conveniência, os *clusters* discretos são chamados raças, espécies, gêneros, famílias e assim por diante. A classificação a que se chegou é até certo ponto, artificial, pois cabe ao pesquisador escolher, dentro dos limites, qual *cluster* será designado como gênero, família ou ordem. Mas a classificação é, todavia, natural na medida em que reflete objetivamente a descontinuidade da variação, e na medida em que as linhas divisórias entre espécies, gêneros e outras categorias são feitas para corresponder às lacunas entre os *clusters* das formas viventes que são discretos⁵. Portanto, a classificação biológica é simultaneamente um sistema de escaninhos feito pelo homem, com o propósito pragmático de registrar as observações de modo conveniente e propiciar o reconhecimento que a descontinuidade orgânica é um fato. Um único exemplo será suficiente para ilustrar este ponto.

⁴ O *cluster* é um aglomerado de espécies. Atualmente este termo é utilizado pelos drosofilistas para designar um conjunto de espécies irmãs. Entretanto, nem todos os taxonomistas concordam com este conceito.

⁵ Sem formas intermediárias.

Dois gatos quaisquer são individualmente distinguíveis, e isso é provavelmente igualmente verdadeiro para dois leões quaisquer. Até agora, não foi colocado em dúvida se um ser vivo deveria pertencer ao *cluster* espécie de gatos (*Felis domestica*) ou ao *cluster* espécie de leões (*Felis leo*). Os dois *clusters* são discretos devido à ausência de intermediários e, portanto, pode-se seguramente afirmar que qualquer gato é diferente de qualquer leão, e que os gatos como um grupo são distintos dos leões como um grupo. Qualquer dificuldade que possa surgir para definir as espécies *Felis domestica* e *Felis leo*, respectivamente, não é devida à artificialidade dessas espécies em si, mas ao fato de que tanto na linguagem comum quanto na linguagem científica as palavras “gato” e “leão” referem-se frequentemente, não ao animal individualmente e nem a todos os indivíduos existentes dessas espécies, mas a certos pontos modais para os quais essas espécies tendem. Os pontos modais são abstrações estatísticas e não existem fora da mente do observador. As espécies *Felis domestica* e *Felis leo* são evidentemente independentes de quaisquer pontos modais abstratos que possamos projetar. Não importa quão grandes sejam as dificuldades enfrentadas para encontrar “gatos” e “leões” modais, a existência de espécies como unidades naturais discretas não será prejudicada.

O que foi dito acima em relação às espécies *Felis domestica* e *Felis leo* é procedente para inúmeros pares de espécies, gêneros e outros grupos. Grupos discretos são encontrados tanto entre animais como em plantas, tanto estruturalmente simples como complexos. A formação de grupos discretos é praticamente tão universal que deve ser vista como uma característica fundamental da diversidade orgânica. Uma solução adequada para o problema da diversidade orgânica deve, conseqüentemente, incluir em primeiro lugar, a descrição do grau, natureza e origem das diferenças entre os seres vivos e, em segundo, uma análise da natureza e origem dos grupos discretos nos quais o mundo vivo é diferenciado.

O verdadeiro grau da diversidade orgânica pode ser apenas suposto no presente. Em 1758, Lineu conhecia 4.236 espécies de animais.

A estimativa recente das espécies descritas (Pratt 1935) é a seguinte:

Arthropoda	640.000
Mollusca	70.000
Chordata	60.000
Protozoa	15.000
Coelenterata	9.500
Annelida	6.500
Plathelminthes	6.000
Echinodermata	4.800
Todas as outras	10.965
Total	822.765

O número de espécies de plantas é menor do que o de animais. A seguinte estimativa foi gentilmente fornecida pelo Professor Carl Epling:

Angiosperma	150.000
Fungo	70.000
Musgo	15.000
Alga	14.000
Pteridophita	10.000
Plantas hepáticas	6.000
Bactéria	1.200
Gymnosperma	500
Total	266.700

Está claro que os totais acima não cobrem realmente os números de espécies existentes. Em alguns grupos, tais como pássaros e mamíferos, a maioria das espécies já é conhecida. Em outros grupos – notavelmente entre os insetos, que representam mais da metade das espécies de animais – muitas espécies novas são descritas a cada ano, e muitas adições podem ser esperadas futuramente. Uma estimativa provável seria de um milhão e meio de espécies de animais e plantas.

É claro, isso não levaria em conta a variação intraespecífica, que está relacionada somente ao número de indivíduos viventes.

Métodos morfológicos e fisiológicos

Um estudo científico da diversidade orgânica, em termos metodológicos, pode ocorrer de duas maneiras distintas. Primeiro, pode-se descrever a diversidade relatando tão acuradamente quanto possível as numerosas estruturas e funções dos seres que vivem agora e daqueles preservados como fósseis; as descrições são então catalogadas e as regularidades, reveladas no processo, são formuladas e generalizadas. Segundo, pode ser feita uma análise das causas que determinam a diversidade e suas propriedades. Esses dois métodos são conhecidos respectivamente, como generalização e indução exata (Hartmann).

No começo de sua existência como ciência, a biologia foi forçada a tomar conhecimento de uma variedade aparentemente infinita das coisas vivas, pois nenhum estudo exato dos fenômenos vitais foi possível até que o aparente caos dos tipos distintos foi reduzido a um sistema racional. A sistemática e a morfologia, duas disciplinas predominantemente descritivas e observacionais, estiveram à frente dentre as ciências biológicas durante os séculos XVIII e XIX. Mais recentemente, a fisiologia ficou em primeiro plano, acompanhada da introdução de métodos quantitativos e por uma mudança da observação do passado para uma predominância da experimentação. O maior significado dessa mudança é bastante evidente e vem sendo enfatizado pelos escritos de muitos autores, alguns dos quais chegaram ao ponto de atribuir aos métodos quantitativos e experimentais uma virtude quase mágica. Outra característica da biologia moderna, que tem sido enfatizada talvez menos do que o devido, é a prevalência de interesse nas propriedades comuns das coisas vivas ao invés de interesse nas peculiaridades das espécies separadamente. Essa atitude é importante, pois centraliza a atenção dos investigadores na unidade fundamental de todos os organismos.

O problema da diversidade orgânica está dentro do campo da biologia morfológica bem como da fisiológica, mas é tratado diferentemente pelas duas. A morfologia é predominantemente uma disciplina histórica que se preocupa em criar uma ordem. Primeiro, ela se preo-

cupa em relatar os fatos da diversidade orgânica, como ela aparece para os nossos sentidos e com a descrição dessa diversidade em termos de protótipos ideais (os pontos modais das espécies, gêneros, famílias etc.). A seguir, a morfologia procura mostrar o desenvolvimento dos indivíduos (ontogenia) e dos grupos (filogenia), empenhando-se em assegurar um entendimento do estado atual do mundo vivo por meio do conhecimento do seu passado. A genética, sendo um ramo da fisiologia preocupa-se, em parte, com o problema da diversidade orgânica, sendo uma ciência nomotética (criadora de leis). Para um geneticista, diversidade orgânica é uma das propriedades mais gerais e fundamentais da matéria viva; diversidade aqui é considerada, por assim dizer, como um aspecto da unidade por meio de um estudo dos mecanismos que podem ser responsáveis pela produção e manutenção da variação, uma análise das forças conflitantes que tendem a aumentar ou nivelar as diferenças entre os organismos. O objetivo do presente livro é revisar a informação genética levando em conta o problema da diversidade orgânica, e, na medida do possível, fazer uma correlação com os dados pertinentes, fornecidos pela taxonomia, ecologia, fisiologia e outras disciplinas relacionadas. Este livro não está preocupado com os aspectos puramente morfológicos do problema.

Evolução

Desde Darwin, toda a discussão sobre a diversidade orgânica envolve inevitavelmente uma consideração da teoria da evolução, que representa a maior generalização desenvolvida nesse campo. Aqui novamente a biologia morfológica e a biologia fisiológica estão interessadas em diferentes aspectos do assunto.

A teoria da evolução afirma que (1) os seres que vivem agora descenderam de seres diferentes que viveram no passado; (2) a variação descontínua observada atualmente – os intervalos que existem entre os *clusters* de formas – surgiram gradualmente. Desse modo, se nós pudermos agrupar todos os indivíduos que habitaram a terra, um conjunto claramente contínuo de formas emergirá; (3) todas essas mudanças surgiram de causas que continuam agindo e que, portanto, podem ser estudadas experimentalmente. A teoria da evolução chegou através da generalização e inferência de um corpo de dados pre-

dominantemente morfológicos e pode ser vista como uma das mais importantes conquistas da biologia morfológica. Entretanto, os evolucionistas da escola morfológica concentraram seus esforços em provar que a primeira e a segunda das três asserções listadas acima estavam corretas, deixando a terceira mais pendente. Eles se interessaram primeiramente em demonstrar que a evolução realmente acontece, fazendo uma ponte sobre a lacuna, preenchendo-a com as descontinuidades que existem entre os grupos de organismos, compreendendo as relações entre os ramos das árvores filogenéticas e nem tanto elucidando a natureza das próprias descontinuidades ou dos mecanismos por meio dos quais elas se originaram. De fato, Darwin foi um dos poucos evolucionistas do século XIX cujos maiores interesses estavam em estudar os mecanismos de evolução de uma forma causal ao invés de histórica. Foi exatamente o aspecto causal da evolução que perto do fim do último século começou a atrair mais e mais atenção e que agora foi abraçado pela genética e ciências a ela relacionadas. Nesse sentido, a genética e não a morfologia evolutiva é a herdeira da tradição darwiniana.

É notório como os estudos sobre os mecanismos de evolução foram negligenciados considerando o fato de que, em 1922, Bateson foi capaz de escrever: “Com um contorno obscuro a evolução é suficientemente evidente. Mas uma parte particular e essencial da teoria da evolução que se preocupa com a origem e natureza das espécies ainda permanece um mistério”. Para a maioria dos biólogos essas opiniões parecem excessivamente pessimistas. Seja como for, é um fato que na geração presente nenhuma pessoa informada tem qualquer dúvida sobre a validade da teoria da evolução no sentido de que ela ocorreu, e ainda ninguém é suficientemente audacioso para acreditar que possui o conhecimento sobre os verdadeiros mecanismos da evolução. A evolução como um processo histórico está estabelecida tão completamente quanto a ciência pode estabelecer o fato testemunhado pelo olho humano. A grande quantidade de evidências que foram trazidas sobre este assunto não será objeto de estudo deste livro, mas nós a levamos em conta. Mas a compreensão das causas dessa evolução, e que podem promover sua continuidade no futuro, estão ainda em sua infância. Muito trabalho já foi feito para garantir tal entendimento, e sem dúvida, ainda resta muito para ser feito. Nas páginas que se se-

guem será feita uma tentativa para avaliar o estado atual do conhecimento nesse campo.

As contribuições da genética para a evolução

Deve ser reiterado que a genética como disciplina não é sinônimo de teoria evolutiva, nem é a teoria evolutiva sinônimo de qualquer subdivisão da genética. Todavia, é verdade que a genética traz contribuições profundas para o problema dos mecanismos da evolução e que a teoria evolutiva que não leva em conta os princípios estabelecidos pela genética está imperfeita em sua fonte. Cada indivíduo se parece com seus progenitores em alguns aspectos, mas difere deles em outros. Tomando um grupo – uma população – qualquer geração sucessiva de uma espécie se assemelha, mas nunca é uma réplica da geração precedente. A evolução é um processo que resulta do desenvolvimento das dissimilaridades entre a população ancestral e a descendente. Os mecanismos que determinam as similaridades e as dissimilaridades entre progenitores e prole constituem o objeto da genética. A genética é a fisiologia da herança e variação. Esta é a razão pela qual o questionamento para um entendimento dos mecanismos da continuidade ou mudança evolutiva tem recaído na genética. Mas a herança e a variação podem ser estudadas de forma independente, como funções fisiológicas gerais, sem referência às suas relações com o problema da diversidade orgânica em quaisquer de suas ramificações.

O sucesso evidente da genética tem sido até agora os estudos sobre os mecanismos da transmissão de características herdáveis dos progenitores para a prole, isto é, a arquitetura do plasma germinativo das células sexuais. Tem-se mostrado que o plasma germinativo é essencialmente descontínuo, composto por partículas discretas conhecidas como genes. Os caracteres quantitativos e qualitativos, a variabilidade flutuante, assim como, as diferenças descontínuas normais e patológicas entre os indivíduos, a variabilidade intraespecífica e interespecífica, os caracteres “superficiais” e “fundamentais” dos organismos – todos esses são determinados por genes portados pelas células sexuais, ou, para ser mais exato, pelos cromossomos dessas células. Os cromossomos como portadores de genes têm sido estudados em detalhes, tendo como resultado que a base física da trans-

missão hereditária tem sido revelada. A transmissão das características hereditárias foi colocada sob o controle humano, no sentido de que nos organismos que foram bem estudados geneticamente, as características dos descendentes são frequentemente previsíveis, com maior grau de acurácia, a partir de um conhecimento das características dos progenitores. Em *Drosophila melanogaster* e em menor proporção em algumas outras formas, tipos hereditários que possuem um determinado conjunto de características podem, dentro de certos limites, ser sintetizados à vontade, e os esquemas de tais “sínteses”, transformados em teoria, quase sempre ocorrem, de fato, nos mínimos detalhes, nos experimentos.

A elegância e precisão dos métodos delineados pela genética para controlar os resultados dos experimentos envolvendo cruzamentos de indivíduos que diferem em muitas características hereditárias, levaram à alegação de que o problema da hereditariedade tem sido resolvido. Embora muito trabalho ainda deva ser feito nesse campo, pode-se certamente dizer que agora as leis de transmissão de características hereditárias são amplamente compreendidas. Mas o problema da hereditariedade é maior. Conhecendo as regras que regulam as distribuições das características hereditárias entre as células sexuais de um organismo, é possível prever quais constelações de genes estarão provavelmente presentes no zigoto formado a partir da união de tais células sexuais. Entre os genes de um óvulo fertilizado e as características de um organismo adulto que surgem a partir dele existe, entretanto, o desenvolvimento completo do indivíduo durante o qual os genes exercem sua ação determinante. Os mecanismos da ação gênica no desenvolvimento constituem o problema central da segunda maior subdivisão da genética: isto tem sido rotulado de diferentes modos, tais como: a genética da compreensão das características hereditárias, fenogenética ou genética do desenvolvimento.

O problema da ação gênica está longe de estar resolvido. É sabido que, em alguns casos, a formação das características do adulto, como tamanho ou coloração das partes do corpo, é precedida no organismo que está se desenvolvendo pelo aparecimento de substâncias químicas do tipo hormônios, as quais são operantes nos processos que produzem as características do organismo adulto. O grande interesse em tal informação é evidente, embora os biólogos que se voltam para a fi-

siologia considerem sempre esses agentes químicos como ativos no desenvolvimento. Em todo caso, dados desse tipo não permitem um conhecimento da ação gênica propriamente dita. O gene é uma partícula localizada em um cromossomo do núcleo celular. Sua ação deve necessariamente iniciar nos processos intracelulares, que devem ser traduzidos subsequentemente em cadeias de reações mais ou menos longas, culminando com o aparecimento de características visíveis. Com relação a esses processos intracelulares – interações entre as partes constituintes dos cromossomos e seu entorno nuclear e citoplasmático – praticamente nada se conhece no presente. Todos os genes são ativos interruptamente ou cada gene exerce uma determinante função em certo período do desenvolvimento e depois permanece inativo em outros períodos? A ação gênica é meramente um subproduto da própria reprodução dos genes no decorrer da divisão celular? Os genes são especializados, no sentido de que cada um deles é responsável por uma única reação ou por algumas reações que ocorrem no corpo, ou sua ação é de um tipo mais geral? Quais são as relações entre a especificidade gênica e a especificidade das substâncias químicas, particularmente proteínas, que compõem o organismo e se manifestam especialmente nas reações sorológicas? Trabalhos desenvolvidos dentro da biofísica e biomecânica, nos anos recentes, revelaram até agora uma complexidade inesperada da organização celular no nível ultramicroscópico dos agregados moleculares. Para um geneticista, parece certo que os genes devem ser ao mesmo tempo parte de e agentes determinantes dessa “morfologia molecular”, mas os problemas aqui envolvidos não foram tocados ainda.

A genética da transmissão e a genética da realização dos materiais hereditários se preocupam com os indivíduos como unidades. A genética da transmissão estabelece as leis que governam a formação da constelação gênica nos zigotos individuais e a genética da realização dos materiais hereditários lida com os mecanismos da ação gênica na ontogenia. A terceira subdivisão da genética tem como campo os processos que ocorrem em grupos de indivíduos – em populações – e, portanto, é chamada de genética de populações. A população pode ser dita como possuindo uma constituição genética definida, que evidentemente é uma função da constituição dos indivíduos que compõem o grupo, assim como a composição química de uma rocha

é função dos minerais que entram em sua composição. As leis que governam a estrutura genética de uma população são, todavia, distintas daquelas que governam a genética de indivíduos, assim como leis da sociologia são distintas das leis da fisiologia, embora elas sejam realmente meramente formas integradas da última. Imagine, por exemplo, que surgiram em uma espécie alguns fatores que impedem o surgimento de indivíduos ou muito altos ou muito baixos. Do ponto de vista do indivíduo, alguns genes do crescimento adquiriram propriedades letais, e os efeitos desses genes podem ser descritos adequadamente afirmando a natureza precisa das reações fisiológicas que levam à morte. Do ponto de vista da genética de populações, a morte dessa categoria de indivíduos é meramente o início de uma cadeia complexa de consequências: as frequências relativas de indivíduos homozigotos e heterozigotos para o desenvolvimento de certos genes e para genes localizados nos mesmos cromossomos seriam alterados; alguns fatores genéticos que foram previamente eliminados por serem nocivos podem se tornar neutros ou mesmo favoráveis; após algumas gerações a constituição genética da espécie como um todo pode ser mudada.

Uma vez que a evolução é uma mudança na composição genética das populações, os mecanismos da evolução constituem problemas da genética de populações. É claro que as mudanças observadas nas populações podem ser de diferentes ordens ou magnitude, como aquelas induzidas em um rebanho de animais domésticos pela introdução de um novo reprodutor, e aquelas que produzem mudanças filogenéticas originando novas classes de organismos. A primeira é obviamente superficial, se comparada em escala com a última, e pode não ser conveniente incluí-la sob o nome “evolução”. A experiência parece mostrar, entretanto, que não existe um caminho para o entendimento dos mecanismos de mudanças macroevolutivas, o que demandaria [a consideração do] tempo na escala geológica e uma completa compreensão dos processos microevolutivos observáveis dentro da duração da vida humana e, frequentemente, controlados pela vontade do homem. Por essa razão, somos compelidos relutantemente, no estado presente do conhecimento, a igualar os mecanismos de macro e microevolução, e, assim

procedendo, empurrar nossas investigações para tão longe quanto essa hipótese de trabalho possa permitir.

Estática evolutiva e dinâmica evolutiva

Desde a metade do último século a diversidade orgânica observada na natureza tem sido considerada como resultado do processo evolutivo. A tendência principal em relação à doutrina evolutiva é que um mundo vivo tal como se nos apresenta não foi sempre assim; o que estudamos em nosso nível de tempo é uma secção de linhagens filogenéticas cruzadas, cujos inícios se perderam em um passado obscuro. Mas evolução é um processo de mudança ou movimento. A descrição de qualquer movimento pode ser lógica e convenientemente dividida em duas partes: estática, que trata das forças que produzem movimento e o equilíbrio dessas forças, e dinâmica, que lida com o próprio movimento em si e a ação das forças que o produzem. Seguindo esse esquema, devemos discutir primeiro, as forças que devem ser consideradas como fatores possíveis que produzem mudanças na composição genética das populações (estática evolutiva), e segundo, as interações dessas forças na raça e na formação e extinção da espécie (dinâmica evolutiva).

Simplificando, os mecanismos evolutivos sob o ponto de vista de um geneticista aparecem como se seguem. As mudanças gênicas, mutações, são a fonte mais óbvia das mudanças evolutivas e da diversidade em geral. A seguir, vêm as mudanças de um tipo mecânico mais grosseiro envolvendo os rearranjos dos materiais genéticos dentro dos cromossomos. Parece provável, no presente, que tais rearranjos possam produzir ocasionalmente mudanças no funcionamento dos próprios genes (efeitos de posição), uma vez que os efeitos de um gene sobre o desenvolvimento são determinados não apenas pela estrutura daquele próprio gene em si, mas também pelos seus vizinhos. Combinar os cromossomos complementares de diferentes espécies para produzir um novo cromossomo (alopoliploidia) é um importante método evolutivo entre as plantas; reduplicações e perdas de conjuntos completos de cromossomos (autopoliploidia), assim como de cromossomos individuais (polissomia), acontecem em certos grupos especiais de organismos. Finalmente, existe um campo de estudos dedicado às mudanças nas estruturas extra-gênicas associadas

ao citoplasma que ainda não foram suficientemente estudadas. Se todas as mudanças plasmáticas são induzidas indiretamente por mudanças nos genes não está claro no presente; algumas delas, especialmente nos plastídios das plantas, parecem ser autônomas.

Mutações e mudanças cromossômicas surgem com certa frequência em todos os organismos que foram suficientemente estudados, fornecendo então constante e incessantemente a matéria prima para a evolução. Mas a evolução envolve algumas vezes alguma coisa a mais do que a origem de mutações. As mutações e as mudanças no cromossomo são somente o primeiro estágio ou nível do processo evolutivo e são governadas inteiramente por leis da fisiologia do indivíduo. Uma vez produzidas, as mutações são injetadas na composição genética da população, onde o seu destino é determinado pelas regularidades da dinâmica da fisiologia das populações. Nas gerações imediatamente seguintes à sua origem, a mutação pode ser perdida ou ter sua frequência aumentada e isso (no caso de mutações recessivas) sem considerar os efeitos benéficos ou deletérios da mutação. As influências da seleção, migração e isolamento geográfico então modelam em novos formatos a estrutura genética das populações, em conformidade com o ambiente secular e a ecologia, especialmente o hábito de cruzamentos das espécies. Este é o segundo nível do processo evolutivo, no qual o impacto do meio produz mudanças históricas na população vivente.

Finalmente, o terceiro nível é o domínio da fixação da diversidade já atingida nos dois níveis precedentes. Raças e espécies, como agrupamentos discretos de indivíduos, somente podem existir se as estruturas genéticas de suas populações forem preservadas distintamente por alguns mecanismos que impedem seus intercruzamentos. Se não for possível evitar o intercruzamento de duas ou mais populações inicialmente diferentes ocorrerá uma troca de genes entre elas e a conseqüente fusão de grupos distintos em um único grupo variável. Um número de mecanismos encontrados na natureza (isolamento ecológico, isolamento sexual, esterilidade do híbrido e outros) protege desta fusão de grupos discretos e a conseqüente decadência da variabilidade descontínua. A origem e o funcionamento dos mecanismos de isolamento constituem um dos mais importantes problemas da genética de populações.

Nos capítulos que se seguem será feita uma tentativa para resumir as evidências disponíveis no que se refere aos três níveis do processo evolutivo. Os agentes que produzem a variação (mutação gênica, mudanças cromossômicas) são conhecidos através de experimentos de laboratório. Mas não existe *a priori* uma certeza de que esses agentes observados nas condições de laboratório sejam efetivos na natureza e responsáveis pela diversidade orgânica empiricamente observada fora do laboratório.

Assumimos que este é o caso porque até agora nenhuma outra proposta de trabalho mais satisfatória foi proposta. Todavia, a validade de uma hipótese de trabalho deve ser rigorosamente testada examinando se as diferenças entre as formas encontradas na natureza podem ser explicadas através dos elementos cuja origem é conhecida nos experimentos. Assim, a estática evolutiva será coberta pelos Capítulos II-IV. A seguir o estágio dinâmico, o processo evolutivo no senso estrito, será considerado nos Capítulos V-XI. Aqui se deve necessariamente proceder pela inferência, pois, com pouquíssimas exceções importantes, o experimentalista não está em posição de reproduzir no laboratório os processos históricos que ocorreram na natureza. Entretanto, o rápido crescimento do corpo de evidências observacionais e puramente experimentais oferece a promessa de que uma análise adequada da dinâmica evolutiva será possível em um futuro não muito distante.

AGRADECIMENTOS

As autoras agradecem à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo apoio recebido.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARAÚJO, Aldo Mellender. O salto qualitativo em Theodosius Dobzhansky: unindo as tradições naturalista e experimentalista. *História, Ciência, Saúde – Manguinhos*, **8** (3): 713-726, 2001.
- DOBZHANSKY, Theodosius. *Genetics and the origin of species* [1937]. 2th edition. New York: Columbia University Press, 1941.
- KOHLER, Robert E. *Lords of the fly: Drosophila genetics and experimental life*. Chicago: University of Chicago, 1994.

- MAYR, Ernst. *The growth of biological thought: diversity, evolution and inheritance*. Cambridge, MA: Belknap Press, 1982.
- SIÃO, José Franco Monte. *Theodosius Dobzhansky e o desenvolvimento da genética de populações de Drosophila no Brasil: 1943-1960*. São Paulo, 2008. Dissertação (Mestrado em História da ciência) – Programa de Estudos Pós-Graduados em História da Ciência, Pontifícia Universidade Católica de São Paulo.
- SMOCOVITIS, Vassiliki Betty. *Unifying biology: the evolutionary synthesis and evolutionary biology*. Princeton, New Jersey: Princeton University Press, 1996.

Data de submissão: 10/10/2013

Aprovado para publicação: 20/11/2013