UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE PSICOLOGIA

PAULO CANDIDO DE OLIVEIRA FILHO

O genoma interativo:
O modelo de adaptação de Piaget e evidências da Biologia atual
(versão original)

São Paulo
2015

PAULO CANDIDO DE OLIVEIRA FILHO

O genoma interativo:
O modelo de adaptação de Piaget e as evidências da Biologia atual
(versão original)

Tese apresentada ao Instituto de Psicologia da Universidade de São Paulo, como parte dos requisitos para obtenção do grau de Doutor em Psicologia

Área de concentração:
Psicologia Escolar e do Desenvolvimento Humano

Orientador: Prof. Dr. Lino de Macedo

São Paulo
2015

AUTORIZO A REPRODUÇÃO E DIVULGAÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE TRABALHO, POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

Catalogação na publicação
Biblioteca Dante Moreira Leite
Instituto de Psicologia da Universidade de São Paulo

Oliveira Filho, Paulo Candido de.
O genoma interativo: o modelo de adaptação de Piaget e evidências da biologia atual / Paulo Candido de Oliveira Filho; orientador Lino de Macedo. -- São Paulo, 2015.
120 f.
Tese (Doutorado – Programa de Pós-Graduação em Psicologia. Área de Concentração : Psicologia da Aprendizagem, do Desenvolvimento e da Personalidade) – Instituto de Psicologia da Universidade de São Paulo.

1. Piaget, Jean, 1896-1980 2. Epistemologia genética 3. Epigênese 4. Evolução I. Título.

BF706

Nome: Oliveira Fº, Paulo Candido
Título: O genoma interativo: o modelo de adaptação de Piaget e evidências da Biologia atual.

Tese apresentada ao Instituto de Psicologia da Universidade de São Paulo, como parte dos requisitos para obtenção do grau de Doutor em Psicologia.

Aprovado em:__/__/____

Banca Examinadora

Prof. Dr.
Instituição: _____ Assinatura: _____

Prof. Dr.
Instituição: _____ Assinatura: _____

Prof. Dr.
Instituição: _____ Assinatura: _____

Prof. Dr.
Instituição: _____ Assinatura: _____

Prof. Dr.
Instituição: _____ Assinatura: _____

Agradecimentos

Ao Prof. Dr. Lino de Macedo, mais que meu orientador, um mestre como ainda não tinha encontrado em minha vida, pela imensa generosidade em compartilhar comigo uma fração de sua sabedoria, de seu conhecimento e sua experiência.

A Profa. Dra. Zélia Ramozzi-Chiarottino, co-orientadora deste projeto, por dividir comigo seus conhecimentos e me indicar o caminho, por despertar em mim a curiosidade e a dúvida que tornaram possível a própria existência deste texto.

Aos meus colegas dos grupos de pesquisa "Os jogos e sua importância para a Psicologia e a Educação" e "Filosofia da Ciência e Psicologia", por suas contribuições, sua amizade, e pela oportunidade única de construção de um conhecimento coletivo.

A FAPESP, pelo apoio financeiro, institucional e científico que tornou viável a realização deste projeto.

A Dra. Paula Boero, por sua amizade, suas leituras e sua críticas durante a construção primeira deste projeto.

A Claudia Frederico, por todos os anos em que seguimos juntos, pelo apoio e pela dedicação que me trouxeram até aqui.

A Ana Paula Medeiros, pela presença e pelo sorriso, por me acompanhar no caminho, e pela leitura generosa que tornou este texto tão melhor.

A meus pais, Paulo e Ruth e a meus filhos, Rafael e Gabriel.

Resumo

OLIVEIRA Fº, Paulo Candido. *O genoma interativo: o modelo de adaptação de Piaget e evidências da biologia atual*. 2015. Tese de Doutorado, Instituto de Psicologia, Universidade de São Paulo, São Paulo.

Jean Piaget desenvolveu, a partir dos anos 60, uma teoria de adaptação e evolução das espécies que unifica o todo o funcionamento do organismo, desde seu comportamento até as modificações genéticas, sob um paradigma cibernético e interativo. Tal modelo, ignorado à época, tem se mostrado cada vez mais coerente com as descobertas da Biologia Moderna. Este trabalho procura mostrar a congruência do modelo de Piaget às evidências levantadas Biologia do século XXI e extrair daí algumas consequência para a Psicologia e para outras áreas do conhecimento e da ação humanas.

Abstract

OLIVEIRA Fº, Paulo Candido. *O genoma interativo: o modelo de adaptação de Piaget e evidências da biologia atual*. 2015. Tese de Doutorado, Instituto de Psicologia, Universidade de São Paulo, São Paulo.

Jean Piaget developed, from the sixties onward, a theory for adaptation and evolution of species that unifies under a cybernetic and interactive paradigm the entire living being functioning, from the behavior to the genetic modifications. This model, ignored at the time, has become ever more consistent with the findings of modern biology. This work aims to show the congruence of Piaget's model to the evidence raised Biology of the XXI century and then extract some consequence for psychology and other areas of knowledge and human action.

Lista de Figuras

Figura 1: Modelo de Interação Sujeito-Objeto 12

Figura 2: O esquema lógico de feedback 21

Figura 3: A paisagem epigenética 26

Figura 4: Os genes sob a paisagem epigenética 28

Figura 5: Os vetores epigenéticos (↑a) 55

Figura 6: Os vetores exógenos (↓b) 56

Figura 7: Os vetores de reação (↑c) 57

Figura 8: O modelo clássico 71

Figura 9: Transcrição Reversa 73

Figura 10: Replicação de RNA 75

Figura 11: Processamento de RNA 76

Figura 12: Transcrição direta 77

Figura 13: MicroRNAs ou RNAs de Interferência 78

Figura 14: Marcação epigenética 79

Figura 15: Processos intracelulares de interação genética 80

Sumário

1. INTRODUÇÃO……..... 1
2. ELEMENTOS DA TEORIA DE JEAN PIAGET……...… 7
    1. A ORIGEM BIOLÓGICA DE UMA DIALÉTICA: ASSIMILAÇÃO E ACOMODAÇÃO……..... 7
    2. A LÓGICA CIBERNÉTICA DOS PROCESSOS DINÂMICOS: EQUILÍBRIO E ADAPTAÇÃO……... 16
    3. A DIALÉTICA DA VIDA E DO CONHECIMENTO: INTERAÇÃO E DESENVOLVIMENTO……...… 34
3. UM MODELO DE ORGANISMO VIVO……..... 44
    1. A ADAPTAÇÃO ATIVA: EPIGÊNESE E FENOCÓPIA……. 44
    1. ALÉM DA SÍNTESE: COMPORTAMENTO E EVOLUÇÃO……...…. 58
    1. A TEORIA DINÂMICA DE JEAN PIAGET: AÇÃO, ADAPTAÇÃO, EVOLUÇÃO……. 62
4. EVIDÊNCIAS DA BIOLOGIA CONTEMPORÂNEA…….. 65
    1. A EVOLUÇÃO PARA ALÉM DOS GENES…… 68
    2. OS MECANISMOS INTRACELULARES DE INTERAÇÃO GENÉTICA……... 70
    3. A TRANSMISSÃO TRANSGERACIONAL DE CARACTERES ADQUIRIDOS. 81
5. CONCLUSÃO: O GENOMA INTERATIVO……. 85
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS……... 88
7. REFERÊNCIAS……... 92
8. ANEXOS…….. 97

1. Introdução

A adaptação dos organismos vivos ao seu meio e a evolução das espécies são temas centrais da Biologia já há quase duzentos anos. Centrais para a Biologia e, por extensão, centrais para a Psicologia que dali deriva.

Entretanto, passados tantos anos desde Darwin, Lamarck e Mendel, o entendimento sobre os processos de adaptação e evolução continua sendo continuamente modificado por novas descobertas. Muito além das polêmicas vazias de fundo político-religioso, conceitos fundamentais dos dois processos, conceitos que pareciam sólidos há poucos anos, são frequentemente desafiados e sofrem constantes mudanças.

Nas últimas duas décadas, as descobertas da Biologia Molecular sobre o funcionamento da célula, sustentadas por avanços tecnológicos rápidos e impressionantes, têm causado pequenos terremotos em vários campos do conhecimento biológico. Descobertas como os inúmeros tipos de pequenos RNAs não envolvidos em codificação direta de proteínas, mecanismos epigenéticos de regulação dos genes e a relação destes processos com pressões ambientais estão levando a questionamentos tanto sobre a adaptação ontogénica quanto sobre a evolução.

Minha jornada até o texto que segue começou há alguns anos, ainda no início do Mestrado, quando por curiosidade, quase inadvertidamente, li "Comportamento, Motor da Evolução". Até aquele momento, meu interesse se fixava em um Piaget quase do senso comum, um Piaget de estádios ordenados de um desenvolvimento linear, que leva um ser humano, necessariamente e sem muitos percalços, do nascimento à matemática.

Aquele texto curto e tardio do mestre suíço representou um pequeno choque. Um texto estranho, que trata muito mais da Biologia que da Psicologia, que vai a teorias laterais, quando não a teorias dadas por refutadas, e defende uma tese que, ao leitor desavisado, parece retornar às ideias de Lamarck.

Em 2009 a Profª. Zélia Ramozzi-Chiarottino apresentou, na abertura do I Colóquio Internacional de Epistemologia e Psicologia Genéticas, o trabalho intitulado "A atualidade da teoria de Jean Piaget: a embriologia mental e a demonstração, nos EEUU, do RNA influindo sobre o DNA a partir das agressões do meio", posteriormente publicado em livro (Ramozzi-Chiarottino, 2011). Ali ela chamava a atenção para dois

desenvolvimentos recentes da Biologia: os estudos sobre o papel do RNA na regulação da resposta genética a pressões ambientais e a herança (epigenética, veremos) de caracteres adquiridos.

Ramozzi-Chiarottino mostra ali como essas descobertas se relacionavam com as ideias de Piaget, apresentadas 50 anos antes, a partir de "Biologia e Conhecimento". Não apenas se relacionavam, indicavam que Piaget estava essencialmente correto, tanto em suas críticas ao neo-darwinismo estrito da Síntese Moderna quanto no que diz respeito à alternativa por ele apresentada.

E de fato, como pretendo mostrar, Piaget apresenta ao longo de algumas obras e artigos, um modelo de adaptação e evolução das espécies intermediário entre o empirismo Lamarckista e o pré-formismo da Síntese Moderna que, à luz das descobertas recentes, estava essencialmente correto.

Piaget não tinha à sua disposição o aparato técnico desenvolvido nos 40 anos desde sua morte. Seu modelo, portanto, foi deduzido a partir de observações de transformações fenotípicas guiadas por hipóteses centradas na interação entre o organismo e o meio como processo condutor do desenvolvimento.

A autora também faz uma observação fundamental: tais hipóteses de Piaget para o funcionamento do organismo vivo, para a adaptação e para a evolução foram praticamente ignoradas, tanto pelos biólogos quanto pelos próprios estudiosos da obra de Piaget. De fato, em minha pesquisa encontrei apenas um artigo em Português tratando diretamente deste aspecto da teoria piagetiana (Almeida & Falcão, 2008) e de sua importância para a compreensão da Epistemologia Genética.

Como enfatiza Zélia Ramozzi-Chiarottino, a importância deste modelo e de sua precisão não pode ser minimizada, pois dali podem surgir consequências que desafiam saberes estabelecidos em inúmeras disciplinas, desde a própria Biologia, passando pela Psicologia, pela Pedagogia e chegando até a Sociologia, a Ética e a Epistemologia.

A posição do problema

A conclusão do projeto Genoma Humano, que mapeou todos os genes da espécie humana, trouxe um gosto levemente amargo para a Genética e a Evolução. Os números variam, mas descobriu-se, ao fim e ao cabo, que um ser humano tem apenas cerca de 20.000 genes codificadores de proteína, de uma previsão inicial de pelo menos 100.000

(para efeito de comparação, em 2011 o projeto de sequenciamento do genoma da batata havia localizado mais de 39.000 genes codificadores de proteínas). Ficou claro que grande parte do genes faz parte do aparato de regulação do funcionamento genético.

Paralelamente, especialmente nos últimos dez anos, surgiram evidências importantes sobre o funcionamento celular e a regulação genética. Foram descobertas várias classes de pequenos RNAs e há vasta evidência de seu papel no controle da produção de proteínas e na epigênese. Surgiram também evidências sobre mecanismos epigenéticos atuando diretamente sobre o DNA, sozinhos ou em conjunto com pequenos RNAs. Mais que isto, há evidência que estes processos são ativados como respostas a pressões do meio. Além disto, ao contrário do que se acreditava até o final do século XX, os efeitos de alguns destes processos pode ser transgeracional.

Ora, o processo de funcionamento e adaptação do organismo vivo apresentado por Piaget, uma vez ajustadas as diferenças de vocabulário, parece estar sendo plenamente confirmado com tais descobertas.

O aspecto fundamental da proposta piagetiana é a adaptação ativa do organismo, guiada pela interação com o meio. O organismo é visto como uma entidade cibernética hierarquizada em níveis. Organicamente, estes níveis vão do genoma, representando o nível mais interno, até o comportamento e o aparelho perceptivo, representando os níveis externos, em contato direto com o meio. O funcionamento de cada nível é controlado por sistemas ou órgãos próprios de regulação e pela interação de cada nível com os níveis adjacentes (acima e abaixo) e com o organismo como um todo.

Desequilíbrios impostos pelo meio externo se propagam pelo organismo, de nível em nível, até serem resolvidos. Algumas vezes, estes desequilíbrios podem atingir o genoma e exigir uma resposta naquele ponto.

Na época de Piaget, a hipótese da existência de mecanismos de regulação nos níveis intracelular e intranuclear não podia ser testada. Assim, Piaget procede pelo método hipotético-dedutivo para propor que tais mecanismos precisavam existir.

A Biologia molecular do século XXI tem detalhado a natureza e o funcionamento de tais mecanismos. Nosso objetivo é verificar a congruência entre eles e as ideias de Piaget.

O objetivo

Meu objetivo primeiro é estabelecer o nexo entre as hipóteses de Piaget para adaptação e evolução e as descobertas da Biologia contemporânea.

Para tanto, vou tentar expor os trabalhos fundamentais nos quais Piaget expõe suas hipóteses de continuidade entre o orgânico e o cognitvo, além de percorrer alguns textos sobre as natureza cibernética e estrutural do organismo vivo.

A seguir pretendo examinar algumas descobertas recentes da Biologia relacionadas especialmente aos processos epigenéticos.

Ao fim deste caminho será possível determinar a congruência entre a evidência existente e as hipóteses de Piaget.

Por fim, tentarei extrair algumas consequências desta comprovação, tanto para a Epistemologia Genética quanto para outros campos do saber.

O mapa do caminho

A obra de Piaget apresenta alguns desafios particulares àqueles que se prestam a estudá-la. Primeiro, a sua própria dimensão física e temporal já são por si sós intimidadoras. Piaget escreveu mais de 60 livros e centenas de artigos ao longo de sete décadas – um exame, por mais superficial, de toda essa produção já seria um esforço de anos. Em segundo lugar, mesmo o olhar mais distraído sobre a teoria piagetiana rapidamente se encontra imerso em um espaço multidisciplinar: Piaget dialoga com a Matemática, a Lógica, a Epistemologia, a Psicologia, a Moral, a Biologia, a Cibernética, a Pedagogia, a Sociologia, Inteligência Artificial, entre outros campos do conhecimento. Isso exige, do estudante que tiver alguma esperança de entender o alcance total dessa obra, no mínimo um domínio instrumental de cada uma dessas disciplinas.

Há, entretanto, um ponto de apoio. A obra de Piaget, apesar de vasta e complexa, é surpreendentemente coerente. Conceitos que aparecem em seus primeiros escritos ainda estão presentes 30 ou 40 anos depois, às vezes quase no mesmo formato, às vezes sutilmente modificados ou deslocados em seu papel na teoria. Tudo se passa como se Piaget estivesse desde o início ciente do núcleo central de sua teoria, que nas décadas seguintes seria então lentamente desenvolvida e explicada.

Nossa intenção aqui é chamar a atenção para essas duas características inter-relacionadas, que devem ser tomadas como intrínsecas a qualquer discussão relativa a

Piaget: a complexidade de sua obra e a coerência dentro dessa complexidade.

Cabe então recortar com cuidado nosso objeto dentro deste território teórico e tentar traçar com alguma precisão um mapa que nos permita caminhar para nosso objetivo.

O que faremos, portanto, é percorrer rapidamente o caminho de alguns conceitos ao longo daquelas décadas. Os conceitos escolhidos não são casuais: nossa esperança é ter, ao final da primeira parte deste trabalho, construído um quadro que mostre, em toda a sua complexidade, o ser vivo que emerge da teoria de Piaget. Por "ser vivo" aqui entendemos, com Piaget, um sistema aberto e estruturado, composto de inúmeros subsistemas organizados de forma hierárquica, capaz de interagir com seu meio, modificando-se em função deste meio e modificando o meio em função de suas necessidades. Este quadro nos permitirá então confrontar as hipóteses de Piaget com dados empíricos disponíveis hoje, décadas após sua morte, sobre a epigênese, a adptação e a evolução.

É importante frisar que este não é um trabalho de história da ciência ou de, por assim dizer, arqueologia do saber. Dois efeitos colaterais emergem, entretanto, do texto desenvolvido. O primeiro é a verificação da exatidão das deduções de Piaget. Em segundo lugar, reforça-se a noção de que a teoria de Piaget é o marco teórico fundamental da Psicologia, talvez a única teoria que oferece uma explicação integrada para a construção do conhecimento e para as relações complexas entre desenvolvimento cognitivo e aprendizado mantendo, ao mesmo tempo, a coerência fundamental entre a Biologia e a Psicologia.

Para tanto, o texto se afasta do Piaget mais comumente tratado na literatura, o Piaget teórico da aprendizagem, o Piaget dos estádios [1] e do desenvolvimento cognitivo e toma o caminho que leva ao Piaget da equilibração e da epigênese. Minha atenção vai se voltar especialmente para as três obras principais que Piaget dedicou a esse problema, "Biologia e Conhecimento" (Jean Piaget, 2003), "Adaptação Vital e Psicologia da Inteligência" (Jean Piaget, 1974a) e "Comportamento, Motor da Evolução" (Jean Piaget, 1977). Além disso, examinaremos o que Piaget tinha a dizer sobre o problema da evolução já em "O Nascimento da Inteligência na Criança" (Jean Piaget, 2008) e também nos textos dedicados à epistemologia da Biologia em "Lógica e Conhecimento

1 Escolhi o clássico "estádio" em sua segunda acepção, uma fase ou período em um processo, em detrimento do recente "estágio", que me parece denotar uma situação mais estática. Poderia propor "estado", mas isso exigiria uma discussão mais aprofundada de aspectos particulares da tradução de Piaget e das línguas portuguesa e francesa, discussão que prefiro adiar para um outro momento.

Científico" (Jean Piaget, 1981a), além de vários outros artigos científicos relevantes.

Espera-se que fique claro que a crítica piagetiana ao modelo reducionista da Síntese, além de ser anterior à própria Síntese, traz embutida a proposta de um mecanismo de evolução que integra o ambiente e o organismo em uma estrutura cibernética de processos retro-alimentados, mecanismo esse que nos parece fundamental para entender como a teoria de Piaget pode falar da construção do conhecimento e da inteligência desde os organismos mais simples até o pensamento formal humano.

Como disse, não pretendo fazer uma exegese de tais obras, mas sim escolher determinados conceitos e acompanhá-los ao longo da obra de Piaget, para tentar montar ao final um quadro integral da teoria piagetiana, seu movimento e sua natureza. Para tentar entender que ser vivo emerge dali e como este ser se relaciona com o mundo a seu redor.

Em seguida passarei a examinar o conhecimento biológico recente, o renascimento do que, na falta de palavra melhor, alguns biológos têm chamado de neo-Lamarckismo (e que em tudo se parece com um "neo-Piagetianismo") e os estudos dos processos intracelulares de regulação genética e interação com o meio.

Ao final deste caminho espero ter elementos suficientes para apontar a congruência da teoria de Piaget com o conhecimento biológico atual.

Por fim, restarão considerações sobre algumas questões que emergem de um mundo onde a interação organismo-meio tem um papel central tanto na ontogênse quanto na filogênese. Mais que isto, um mundo onde caracteres adquiridos através de reações adaptativas dos organismos às pressões do ambiente podem ser herdados pelas gerações futuras.

2. Elementos da Teoria de Jean Piaget

Como observamos antes, não cabe aqui nem seria adequada uma revisão exaustiva da obra e das descobertas de Piaget. Aquela e essas dou como bem estabelecidas e tomo por meu mapa. Dentro desse mapa, entretanto, é importante traçar o caminho.

Este capítulo vai então servir para destacar alguns elementos importantes para a compreensão do modelo de organismo vivo (apresentado no capítulo seguinte) que emerge na obra de Piaget.

Lembrando de nosso objetivo, queremos expor como a epistemologia interacionista de Piaget, sua busca sempre presente de um "*tertius*" entre o empirismo e o pré-formismo, leva necessariamente a uma crítica da Teoria da Evolução como preconizada pela Síntese Moderna.

2.1 A origem biológica de uma dialética: assimilação e acomodação

No Prefácio de "O Nascimento da Inteligência na Criança" (Jean Piaget, 2008) , ao discutir as raízes biológicas da inteligência, Piaget coloca os conceitos de assimilação e acomodação na base da adaptação do organismo ao meio.

A assimilação é definida como a relação de coordenação dos dados do meio de modo a incorporá-los aos ciclos vitais, conservando-os (Jean Piaget, 2008, p. 17) . A acomodação, diz Piaget, é modificação de um destes ciclos vitais de modo a adaptá-lo a uma mudança no meio (Jean Piaget, 2008, p. 17) . Do jogo entre a assimilação e a acomodação emerge a adaptação. Nas palavras de Piaget, " *a adaptação é um equilíbrio entre a assimilação e acomodação*" (Jean Piaget, 2008, p. 17).

Graficamente e nos termos de Piaget, podemos traçar o seguinte esquema:

Assimilação

1) $a + x \rightarrow b$;

2) $b + y \rightarrow c$;

3) $c + z \rightarrow a$;

No esquema acima, a, b e c são processos físico-químicos e/ou cinéticos presentes em um organismo vivo e x, y e z são elementos do meio ambiente necessários a tais processos.

Acomodação

1) a + x' → b';

2) b' + y → c;

3) c + z → a;

Aqui x' substitui x no meio, pressionando o organismo a modificar b em b' para produzir c, fechando assim o ciclo – se isto não for possível, não há acomodação nem adaptação e o ciclo se quebra.

A adaptação pode então ser assim representada:

Assimilação ↔ Acomodação → Adaptação

Alguns anos depois, na Conclusão de "A construção do real na criança" (Jean Piaget, 2006), tratando novamente da origem da inteligência, Piaget vai discorrer sobre o desenvolvimento, a estrutura e natureza dos processos de assimilação e acomodação.

Inicialmente, nos diz Piaget, assimilação e acomodação não se apresentam como processos separados, mas quase que como partes ainda não diferenciadas de um mesmo processo:

> "A inteligência se origina, com efeito, de um estado no qual a acomodação ao meio está indiferenciada da assimilação das coisas aos esquemas do indivíduo e se desenvolve até chegar a um estado no qual a acomodação dos esquemas múltiplos se tornou distinta de sua respectiva e recíproca assimilação". (Jean Piaget, 2006, p. 358)

Essa indiferenciação inicial da assimilação e da acomodação significa, como explica Piaget a seguir, que nos meses iniciais de vida a assimilação nada mais é que a "utilização do meio para alimentar esquemas hereditários ou adquiridos". E tais esquemas (sucção, preensão, visão) têm "necessidade de acomodar-se, sem cessar, às coisas". Além disso, "as exigências de tal acomodação se opõem, com frequência, ao esforço assimilador". Ou seja, os esquemas hereditários precisam sempre se ajustar àquela mama, àquele objeto a ser segurado, àquele quadro visual que se apresenta. Assim, a acomodação nesse momento não é um processo separado, mas tão somente um ajuste dos processos de assimilação.

Uma vez separadas, assimilação e acomodação formam um quadro especular: a cada acomodação corresponde uma assimilação "respectiva e recíproca". E inicialmente são,

de alguma forma, forças antagônicas:

> "Em suas direções iniciais a assimilação e a acomodação são, evidentemente, opostas entre si, uma vez que a assimilação é conservadora e tende a submeter o meio ao organismo tal qual ele é, ao passo que a acomodação é fonte de mudanças e sujeita o organismo às coações sucessivas do meio". (Jean Piaget, 2006, p. 359)

Caberá à vida mental em geral e à inteligência em particular a tarefa de coordenar os dois processos entre si. Mas tal coordenação não implica em nenhuma organização dada – há entre estes dois processos um equilíbrio necessário:

> "A assimilação e a acomodação são, portanto, os dois pólos de uma interação entre o organismo e o meio que é a condição para qualquer funcionamento biológico e intelectual e uma tal interação supõe, já de início, um equilíbrio entre as duas tendências dos pólos contrários". (Jean Piaget, 2006, p. 359)

Esse pequeno trecho merece alguma pausa.

Piaget caracteriza os dois processos, assimilação e acomodação, como polos de uma interação que tem como atores o organismo e o meio. Polos ou talvez motores. Essa interação certamente emerge quase que tautologicamente da vida: o organismo surge no mundo e imediatamente, maquinalmente mesmo, trata de assimilar do mundo o que quer que seja preciso para continuar vivo. Mas este assimilar é imperfeito, impossível de levar a cabo por completo. Porque as estruturas do organismo que veio ao mundo se reportam a um mundo, por assim dizer, ideal. Um mundo transcrito ao genoma desde o tempo profundo até a geração anterior, no máximo um mundo perdido no passado, certamente um mundo genérico. E desta forma o assimilar engendra o acomodar. Não por outro motivo Piaget diz que tal interação é "condição para qualquer funcionamento biológico". E mesmo aqui, no início da vida, contemplando processos tão básicos, simples, óbvios mesmo, é possível intuir a potência dessa interação: será este jogo, construindo e destruindo estruturas biológicas, mentais, cognitivas, que tornará possível a adaptação do organismo ao meio e a própria evolução das espécies. Mas não devemos nos adiantar muito. Voltemos à interação.

Em uma discussão sobre interação, iniciada no grupo de e-mail da Sociedade Brasileira Jean Piaget e posteriormente publicada na revista Schème, Fernando Becker

escreve:

> "O verbo *interagir* refere-se sempre aos dois pólos da relação: sujeito e objeto interagem, indivíduo e meio interagem, alunos e professor interagem – o verbo quer dizer que não só o sujeito age sobre o objeto, mas que o objeto também age sobre o sujeito (por intermédio da assimilação) e dessas ações mútuas surge um *tertium* que não é nem o sujeito nem o objeto, nem a soma dos dois, mas uma nova síntese." (Becker & Ferreira, 2013, p. 194)

Isto é, a interação não é exatamente algo que o sujeito faça. O sujeito age sobre o objeto. O objeto, por sua vez, age sobre o sujeito. A resultante dessa ação recíproca é a interação. Como coloca Lino de Macedo na mesma discussão,

> "Penso que nessa questão devemos sempre considerar a tríade - sujeito, objeto e interações - como interdependentes. As interações sujeito - objeto, por exemplo, nos modelos de Piaget (*Equilibração das estruturas cognitivas*) são representadas por setas, ou seja, expressam funções entre um e outro. Nestas funções nunca se observa a primazia de um lado (o sujeito, por exemplo) sobre outro (o objeto). A única exceção, creio, é no modelo 1A, quando sujeito e objeto aparecem indiferenciados, em suas interações com os reflexos." (Becker & Ferreira, 2013, p. 205)

Fica claro que a interação, para Piaget, não é uma construção abstrata. Interação é o nome do processo que emerge naturalmente da relação entre assimilação e acomodação. E estes dois conceitos se originam diretamente da estrutura e da organização do ser vivo. Da Biologia propriamente dita.

Talvez valha a pena, para distinguir melhor os conceitos, aprofundar um pouco as distinções e as semelhanças entre a assimilação e acomodação biológicas tratadas até aqui e a assimilação e acomodação cognitivas, que eventualmente emergem daquelas. No artigo "Os dois problemas principais da epistemologia biológica", na seção que trata da Epistemologia da Biologia em "Lógica e Conhecimento Científico", tratando especificamente da relação entre a vida e a razão, Piaget escreve:

> "Estas analogias – as mais genéricas que é possível estabelecer – entre a vida e conhecimento prendem-se ao fato de tanto uma como outro englobarem ou constituírem uma adaptação do organismo ao meio

> – a adaptação inteligente do sujeito aos objetos não representa, mesmo, senão um caso particular dessa adaptação global do ser vivo ao seu meio ambiente". (Jean Piaget, 1981b, p. 268)

Vida e conhecimento englobam (no caso da vida) ou são (no caso do conhecimento) adaptações ao meio. Mas além de serem adaptações, seus mecanismos básicos são análogos, equivalentes:

> "Ora, a adaptação biológica comporta dois fatores e um equilíbrio entre eles. Por um lado, qualquer reação ao meio é relativa ao organismo, e traz em si a marca das estruturas deste último (de tal modo que duas espécies diferentes reagirão, a um mesmo meio, através de respostas específicas distintas): nisso consiste esse fator a que é possível chamar "assimilação", no sentido mais amplo. Por outro lado, de qualquer reação a um meio determinado decorrem modificações determinadas por (ou em função de) esse meio enquanto tal – e às quais chamaremos de acomodação […]. Qualquer adaptação comporta, deste modo, um equilíbrio entre entre assimilação e acomodação, e o mesmo se passa no que respeita a um ato de inteligência." (Jean Piaget, 1981b, p. 205)

Há o meio, a assimilação como reação ao meio e a acomodação na forma de modificações do organismo em função do meio. A assimilação, além disto, é fruto das estruturas do organismo e está limitada por estas. Assim como a acomodação depende sempre dos limites plásticos das estruturas.

Piaget segue o texto anotando uma objeção à continuidade mais estrita entre as estruturas da inteligência e as da vida: o equilíbrio biológico entre assimilação e acomodação é essencialmente instável, levando a variações contínuas, enquanto o equilíbrio atingido pelas operações intelectuais leva a estruturas estáveis. Além disto, a instabilidade do equilíbrio biológico leva a uma imagem de fluxo constante, enquanto as estruturas cognitivas, através de seus sistemas de compensação, atingem um equilíbrio completo na reversibilidade operatória estrita.

Deste momento em diante, no mesmo artigo, Piaget descreverá o equilíbrio dinâmico das estruturas vitais e cognitivas. Ainda sem falar em "equilibração", será este conceito que estará em jogo: um equilíbrio em movimento constante. Também serão trazidos ao quadro os conceitos vindos da cibernética. Voltaremos a este texto em momento posterior, pois ele esclarece bem a visão de Piaget quanto à posição central da Biologia e

suas relações com a Psicologia e a Física. E também esboça uma operação necessária a este trabalho: uma visão do equilíbrio organismo-meio como um equilíbrio dinâmico e total, com o jogo assimilação-acomodação se estendendo desde o comportamento até o genoma. Mas por hora cabe completar o caminho conceitual da assimilação e da acomodação e da interação na base da adaptação.

Em "A Equilibração das Estruturas Cognitivas" (Jean Piaget, 1976), agora referindo-se especificamente ao funcionamento cognitivo, Piaget dirá que assimilação é "a incorporação de um elemento exterior (objeto, acontecimento, etc.) em um esquema sensorimotor ou conceitual do sujeito" e a acomodação "a necessidade em que se acha a assimilação de levar em conta as particularidades próprias dos elementos a assimilar" (Jean Piaget, 1976, pp. 13–14). Note-se que o paralelismo entre essas definições e aquela presente no "Nascimento da Inteligência" é notável, especialmente se levarmos em conta as quatro décadas que separam as duas obras.

Cabe notar algo mais importante: no anteriormente citado "Os dois problemas principais da epistemologia biológica", Piaget buscou uma visão unificada destes processos, abarcando tanto as estruturas orgânicas quanto as estruturas cognitivas. O que nos leva a propor que o que é dito aqui sobre as estruturas cognitivas valeria igualmente para as estruturas orgânicas.

No mesmo "A Equilibração das Estruturas Cognitivas", Piaget apresenta um modelo que detalha melhor as relações entre sujeito e objeto no contexto do desenvolvimento cognitivo (ver Figura 1).

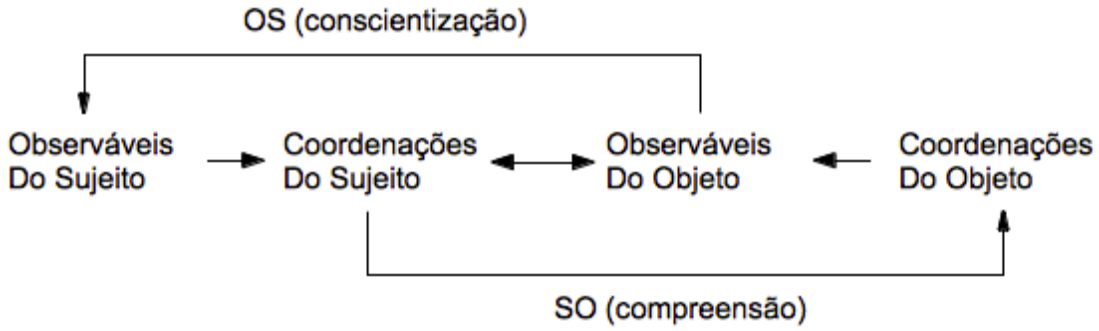

Figura 1: Modelo de Interação Sujeito-Objeto (PIAGET, 1976, p. 54)

"Um observável", diz Piaget, "é aquilo que a experiência permite constatar por uma leitura imediata dos fatos por si mesmos evidentes, enquanto uma coordenação comporta inferências necessárias e ultrapassa, assim a fronteira dos observáveis" (Jean Piaget, 1976, p. 46).

Neste modelo fica clara a pertinência das observações de Becker e Macedo. As relações que ligam o sujeito ao objeto e vice-versa são recíprocas e equilibradas, formando um ciclo autorregulado e tendendo em cada momento a um equilíbrio superior, algo que Piaget chamou de equilibração majorante (Jean Piaget, 1976, p. 34).

Mas antes de tratar diretamente da equilibração majorante, vamos dar um passo atrás e observar novamente as definições dadas por Piaget à assimilação e à acomodação no contexto da teoria da equilibração, pois ali elas aparecem como postulados. É útil acompanhar a definição completa de cada um, como dadas por Piaget:

> "Primeiro postulado: Todo esquema de assimilação tende a alimentar-se, isto é, incorporar elementos que lhe são exteriores e compatíveis com sua natureza. Este postulado limita-se a consignar um motor à pesquisa, logo, a considerar como necessária uma atividade do sujeito, mas não implica por si só na construção de novidade, porque um sistema bastante amplo (como o de 'seres') poderia assimilar todo o universo sem modificá-lo nem enriquecer sua compreensão" (Jean Piaget, 1976, p. 14)

Ou seja, fundamental para a equilibração é que haja um motor de pesquisa, portanto descoberta, capaz de incorporar os dados exteriores. Não todos os dados exteriores, naturalmente, mas aqueles compatíveis com o esquema específico.

Mas Piaget ainda ressalva que a assimilação sozinha não requer ou conduz à equilibração, pois a incorporação de dados do meio poderia ser meramente mecânica, um mero empilhamento sem interação (ou compreensão), algo como o armazenamento automático de imagens captadas por uma câmera: o sistema total, da captação ao armazenamento, certamente está assimilando dados do meio externo, mas sem qualquer necessidade de acomodação ou de equilíbrio entre processos e, certamente, sem compreensão.

Donde a necessidade de um segundo postulado, determinando um segundo processo:

> "Segundo postulado: Todo esquema de assimilação é obrigado a se acomodar aos elementos que assimila, isto é, a se modificar em função de suas particularidades, mas sem com isso perder sua continuidade (portanto, seu fechamento enquanto ciclo de processos interdependentes), nem seus poderes anteriores de assimilação. Este segundo postulado (já válido no plano biológico com a formação dos "acomodatos" fenotípicos) afirma a necessidade de um equilíbrio entre assimilação e acomodação, na medida em que a acomodação é bem

> sucedida e permanece compatível com o ciclo, modificado ou não. [...]" (Jean Piaget, 1976, pp. 14–15)

Como sempre, a assimilação e a acomodação engendram um processo que tende ao equilíbrio ao mesmo tempo em que recolhe continuamente no mundo suas fontes de desequilíbrio. Mas observe-se que aqui a acomodação, como em muitos outros momentos, é definida em função da assimilação.

Como último recorte, em Biologia e Conhecimento, a assimilação ganha um caráter mais genérico, perpassando vários domínios:

> "Empregamos o termo assimilação no sentido de integração a estruturas prévias. Já em biologia esta palavra é utilizada em sentidos muito diversos: a "assimilação clorofiliana" é a transformação da luz visível em energias integradas ao funcionamento do organismo; a "assimilação genética" (Waddington) é a incorporação ao sistema genético de caracteres inicialmente ligados a uma interação com o meio, etc. A significação comum a todos estes usos é realmente a integração a estruturas prévias, que podem permanecer invariáveis ou são mais ou menos modificadas por esta própria integração, mas sem descontinuidade com o estado precedente, isto é, sem serem destruídas, mas simplesmente acomodando-se à nova situação." (Jean Piaget, 2003, p. 13)

A marca da assimilação, no sentido dado por Piaget, é a integração de novos dados a estruturas existentes, com ou sem a necessidade de acomodação destas estruturas, mas sempre com permanência.

Mais adiante, tratando agora especificamente da adaptação, Piaget vai novamente estabelecer assimilação e acomodação como condições funcionais da adaptação, praticamente nos mesmos termos usados em "O Nascimento da Inteligência na Criança". Nas palavras de Piaget, assimilação e acomodação são "condições constitutivas, ao mesmo tempo inseparáveis e necessárias, da adaptação" (Jean Piaget, 2003, p. 200).

Piaget aponta a assimilação e a acomodação como polos funcionais e opostos de todo processo de adaptação, e insere uma observação fundamental:

> "Dito isto, convém lembrar agora que se encontram, encarnadas nas estruturas mais diversas, as funções fundamentais de acomodação e assimilação, em todos os níveis hierárquicos, desde o genoma e o

> epigenótipo até os mecanismos cogniscitivos de graus superiores." (Jean Piaget, 2003, p. 201)

Ou seja, mais uma vez fica claro que, para Piaget, assimilação e acomodação e, portanto, adaptação, são processos que perpassam todos os níveis hierárquicos de toda a estrutura viva, desde o genoma até as funções cognitivas superiores. Ou seja, o processo de adaptação é homólogo e percorre todas as camadas do ser vivo. Além disto, o mesmo mecanismo fundamental de busca de um equilíbrio entre a assimilação e a acomodação move a adaptação ao meio em todos os níveis, dos genes até as funções cognitivas que nos permitem, por fim, chegar à matemática.

Até aqui nós caracterizamos, percorrendo algumas obras de Piaget, os dois processos básicos necessários a qualquer adaptação: a assimilação dos elementos do meio às estruturas do organismo e a acomodação de tais estruturas ao meio. Essas são, nas palavras de Piaget, as condições funcionais da adaptação.

Assimilação e acomodação são, na teoria de Piaget, análogas às quatro forças primordiais da Física (a gravidade, o eletromagnetismo e as forças nucleares fraca e forte). São os motores fundamentais que permitem ao organismo vivo se adaptar a seu meio, adaptação essa entendida como um equilíbrio tão estável quanto possível em cada subsistema do sistema total. Como já notamos, apenas o subsistema cognitivo do ser humano traz a possibilidade de fechamento, em relação ao seu meio, fechamento representado em sua formulação matemática final.

Mas a adaptação também diz respeito às estruturas em si, como elas se apresentam e como elas se desenvolvem, suas possibilidades e limitações. Ou ainda, como o organismo, tomado como um sistema total, se organiza em subsistemas, cada um deles, por sua vez, formado por outros subsistemas. E como o jogo de assimilação e acomodação cria conexões físicas e lógicas entre os subsistemas e entre cada subsistema e o sistema total.

Antes de tratar especificamente da relação entre funções e estruturas é preciso primeiro entender a relação da cibernética com os processos vitais, especialmente com a epigênese.

2.2 A lógica cibernética dos processos dinâmicos: equilíbrio e adaptação

A introdução do vocabulário da Cibernética na obra de Piaget remonta aos anos 50 (J. Piaget, 1953) , mas será exatamente no período que nos ocupa, a partir de Biologia e Conhecimento, que tais conceitos serão incorporados de forma mais decisiva e coerente à teoria.

A palavra cibernética vem do grego κυβερνητικης, kybernetikes, conduzir um barco, navegar ou conduzir. A palavra "*kybernetes*" se refere ao leme, ao timoneiro ou ao capitão e será eventualmente traduzida para o latim primeiro como "*gubernetes*" depois como "*gubernator*", deixando clara a relação de *kybernetikes* com a arte de governar.

No Primeiro Alcibíades, Platão evoca o duplo sentido da palavra, usando-a em seu sentido náutico durante uma discussão sobre a importância da virtude no governo da cidade:

> "SÓCRATES: Ou ainda se alguém, tendo o poder de fazer o que quisesse, mas sem inteligência ou habilidade para navegar (αρετης κυβερνητικης, aretes kybernetikes), você imagina o que aconteceria com ele e seus tripulantes?" (Platão, n.d., p. 135 a)

O trecho acima foi traduzido do inglês. Benjamin Jowett escolhe traduzir "a*retes kybernetikes*" por "*skill in navigation*", habilidade para navegar (ou guiar). A tradução consagrada de "*areté* é "virtude" (a tradução francesa usa "*la science du pilote*", mas a tradução de "*aretes*" por "*ciência*" no contexto grego acaba causando mais problemas que o necessário). O que Platão está efetivamente implicando aqui, e isto fica claro na frase seguinte de Sócrates, é que a arte de governar exige a virtude e que a cidade deve ser governada pela virtude e, por extensão, pelos homens virtuosos:

> "SÓCRATES: Da mesma forma, em uma cidade, e onde quer que haja algum poder ou autoridade que careça de virtude, o resultado não será igualmente a desgraça?
> ALCIBIADES: Certamente.
> SÓCRATES: Então a tirania, meu bom Alcibiades, não deveria ser o objetivo nem dos indivíduos nem das cidades, se eles desejam a felicidade, mas sim a virtude.
> ALCIBIADES: Assim é.
> SÓCRATES: E antes que eles tenham adquirido a virtude é melhor, tanto para a criança quando para o homem, que os dirija um superior?
> ALCIBIADES: Isto é evidente.

SÓCRATES: E aquilo que é melhor não é também mais nobre?
ALCIBIADES: Correto.
SÓCRATES: E aquilo que é mais nobre também não é o mais conveniente?
ALCIBIADES: Certamente."
(Platão, n.d., p. 135 a-b)

Na Política, Aristóteles se referira a *Kybernetike tekhne,* a "arte do timoneiro". Ou a técnica do timoneiro, poder-se-ia dizer. Mas, de qualquer forma, o uso de *tekhne* indica claramente a posição de Aristóteles: assim como navegar, governar é uma técnica, uma arte, uma sequência de adaptações às condições imprevisíveis do mundo como elas se apresentam. E portanto, nem governar nem navegar são *epistemes*, ciências, palavra que no sentido grego nos remeteria à busca de uma Verdade absoluta.

Do texto pode-se também inferir que governar, como navegar, é uma busca. Uma busca pelo "bom governo", pelo governo virtuoso. Ou pela boa navegação, pela navegação segura. Ambos remetem a duas noções fundamentais, à noção de equilíbrio em meio a forças antagônicas e à noção de teleologia, da existência de um objetivo ideal, do qual podemos nos aproximar mas, como é da natureza das artes, sem garantia de alcançá-lo.

Em 1834, em seu "*Essai sur la philosophie des sciences ou Exposition analytique d'une classification naturelle de toutes les connaissances humaines*" (Ampère, 1856), André-Marie Ampère vai trazer o termo do grego para o francês, e usará a palavra "*cybernétique*" para designar a arte de governar.

Será apenas em 1947 que a palavra será usada pela primeira vez na língua inglesa quando Norbert Wiener publicará seu "*Cybernetics, or Control and Communication in the Animal and the Machine*" (Wiener, 1961) , obra que inaugurou a cibernética como a entendemos hoje e estabeleceu as bases teóricas tanto dos dispositivos autorregulados quanto dos modelos de telecomunicação confiáveis.

Mas a principal contribuição de Wiener, no meu entender, foi estabelecer uma nova linguagem capaz de descrever tanto máquinas quanto organismos vivos. Uma linguagem que permitia falar especialmente sobre como máquinas e organismos vivos se autorregulam. Ao estabelecer tal linguagem, Wiener criou, imediatamente, pontes entre disciplinas antes isoladas. A cibernética, desde então até hoje, fornece uma linguagem comum para descrever os processos de autorregulação e comunicação (interna e externa) em sistemas complexos, sejam esses sistemas mecânicos, computacionais ou biológicos.

Essa linguagem e essa formalização serão naturalmente atraentes para Piaget e terão

uma grande influência na forma que a teoria de Piaget adquire a partir dos anos 50, em especial nos escritos voltados para a Biologia. Como uma ciência que se propõe a estudar os mecanismos de controle e comunicação em sistemas complexos, um objetivo naturalmente multidisciplinar, tanto seu vocabulário quanto seus métodos e conceitos acabarão se incorporando de forma quase natural à teoria piagetiana, um desenvolvimento já insinuado no artigo de 1953:

> "Agora, é fácil constatar que todos esses conceitos são encontrados, de uma forma idêntica ou análoga, no terreno da cibernética, seja nas teorias desenvolvidas por seus estudiosos, seja no próprio funcionamento das máquinas e dos servo-mecanismos que fornecem os modelos para as atividades cerebrais e mentais.
>
> A cibernética é então, obviamente, uma matematização do pensamento."[2] (J. Piaget, 1953)

"Esses conceitos" dos quais Piaget fala aqui, tratados nas páginas anteriores de seu texto, nada mais são que as estruturas e mecanismos do desenvolvimento da inteligência, especialmente as noções de estrutura, sistema, operação, reversibilidade e equilíbrio. Ou seja, Piaget já aponta para uma identidade fundamental entre a cibernética e a teoria da inteligência. E mais, já intui a importância da cibernética para a formalização da psicologia, uma matematização do pensamento.

Na conclusão deste artigo, no qual não só as ideias de Wiener são discutidas, mas também a teoria da informação de Shannon e o trabalho de Turing, Piaget reforça a ideia de uma correspondência entre a cibernética e a teoria operatória da inteligência:

> " Em conclusão, a teoria operatória da inteligência conduz a uma esquematização das estruturas do pensamento, de como elas intervêm nas condutas intelectuais psicologicamente observáveis. A cibernética, por outro lado, consiste numa esquematização dos mecanismos gerais de informação e combinação que intervêm, em particular, nos processos nervosos. Então é natural que exista uma correspondência relativa entre os dois tipos de esquema, e essa correspondência é, sem dúvida, um presságio de um isomorfismo entre as estruturas psicológicas operatórias

2 « Il est maintenant aisé de constater que toutes ces notions se retrouvent sous une forme soit identique soit analogue sur le terrain de la cybernétique c'est-à-dire dans les théories élaborées par les cybernéticiens ou dans le fonctionnement même des machines et des servomécanismes qui fournissent des modèles des activités cérébrales et mentales.
La cybernétique constitue d'abord, de toute évidence, une mathématisation de la pensée. »

e certas estruturas nervosas.[3]" (J. Piaget, 1953) (tradução nossa)

É importante notar que Piaget coloca a cibernética num ponto estruturalmente inferior ao da inteligência, um ponto mais próximo do ser biológico. Não só isso, ele intui um isomorfismo entre as estruturas da inteligência e as estruturas biológicas do sistema nervoso. Esse isomorfismo, aqui "pressagiado" e posteriormente postulado, vai permitir que a linguagem cibernética acabe sendo utilizada por Piaget, tanto para a descrição de estruturas cognitivas quanto para dar conta do desenvolvimento epigenético, da interação global entre o organismo e seu meio e, por fim, da própria evolução.

Não por acaso, os três artigos que abrem o capítulo "Epistemologia da Biologia" em "Lógica e Conhecimento Científico" tratam diretamente da Cibernética.

François Meyer, em "A Situação Epistemológica da Biologia", se refere à cibernética como uma linguagem capaz de revelar os problemas centrais encarados pela biologia enquanto ciência:

> "Se existir uma aproximação nova – apta a acalentar grandes esperanças a respeito de uma elucidação do problema biológico – tal aproximação é precisamente a cibernética" (Meyer, 1981, p. 175)

Meyer, se valendo tanto da cibernética quanto da termodinâmica e da microfísica para traçar um panorama da situação epistemológica da Biologia, conclui que um caminho possível seria uma aproximação da Biologia e da Física, até talvez o ponto em que seja possível uma união não-reducionista das duas disciplinas .

Mas serão os dois artigos de Seymor Papert que tratarão com mais profundidade da epistemologia e da natureza da cibernética, de certa forma expandindo os temas já tratados por Piaget em 1953.

No primeiro artigo, "A cibernética, entre a física e a biologia", Papert descreve em linhas gerais os principais objetivos e conceitos desta disciplina. Um conceito fundamental, que pode ser traçado até a origem grega da palavra, como discutimos acima, é o da teleonomia da cibernética:

---

3 « En conclusion, la théorie opératoire de l'intelligence conduit à une schématisation des structures de la pensée, telles elles interviennent dans les conduites intellectuelles psychologiquement observables. La cybernétique, d'autre part, constitue une schématisation de mécanismes généraux d'information et de combinaison qui interviennent en particulier dans les processus nerveux. Il est donc naturel qu'il existe une correspondance relative entre ces deux sortes de schémas et cette correspondance est sans doute le présage d'un isormorphisme entre les structures opératoires psychologiques et certaines structures nerveuses. »

> "Antes de mais nada, ela ocupa-se da relação entre meios e fins: seria talvez lícito dizer que ela é teoleonômica (situando-se a "teleonomia" em face da teleologia exatamente como a astronomia em face da astrologia)." (Papert, 1981a, p. 193)

"Teleonomia" (do grego "télos", finalidade ou objetivo, "nomos" lei) foi a palavra usada pelo biólogo Jacques Monod em "Le hasard et la nécessité" (Monod, 1970) para se referir ao propósito aparente e à orientação a objetivos das estruturas e funções dos organismos vivos: "*A objetividade, no entanto, obriga-nos a reconhecer a natureza teleonômica dos seres vivos, a admitir que, em suas estruturas e performances, eles percebem e buscam um projeto*"[4] (Monod, 1970, pp. 37–38). É importante ressaltar que tal propósito aparente e tal orientação a objetivos são o resultado da evolução da espécie e da história do organismo particular, isto é, não há aqui uma "teleologia" prévia a determinar um fim necessário.

E por certo, a cibernética é teleonômica, no sentido em que estuda justamente as formas pelas quais objetivos não conhecidos a priori são atingidos, e equilíbrios sujeitos a perturbações imprevisíveis são mantidos, tanto em máquinas quanto em organismos vivos. E também será explicitamente teleonômica a visão piagetiana da Biologia como um todo e da Evolução em particular.

Um outro ponto ressaltado por Papert é a relação íntima da cibernética com a teoria da informação. "Informação", para nossos propósitos neste momento e para os propósitos tanto da Cibernética quanto da Teoria da Informação, tem um significado matemático preciso, ela representa uma sequência ordenada de símbolos num alfabeto qualquer. Originalmente, Shannon utilizou este conceito no contexto do processamento de sinais, com o objetivo de quantificar a informação e determinar as formas ótimas de armazenamento, compressão e transmissão da informação. E a noção de matemática da informação é a quantidade fundamental da Cibernética:

> "[Este exemplo, bastante elementar,] permite já entrever a natureza de uma ciência fundada na quantidade H – que é chamada "informação" - de acordo com o sentido da física clássica, fundada em quantidades como, por exemplo, a energia. A teoria da informação, assim concebida, não seria senão um ramo da cibernética tal como gostaríamos de a delimitar – um ramo, não obstante, que permite ilustrar o estilo geral do

4 « L'objectivité cependant nous oblige à reconnaître le caractère téléonomique des êtres vivants, à admettre que dans leurs structures et performances, ils réalisent et poursuivent un projet »

pensamento cibernético, pelo que iremos utilizá-lo a título de exemplo representativo". (Papert, 1981a, p. 196)

H, no caso, é o símbolo usado por Shannon para representar a informação, um conceito por ele formalizado e precisamente quantificado. E a informação assim definida, nos diz Papert, é uma quantidade fundamental da Cibernética. E de fato, como aponta Papert, a separação acadêmica entre os problemas da teoria da informação e os problemas de regulação e controle é artificial e enganosa. Como ele bem nota, o próprio subtítulo do livro de Wiener, "Communication and Control in the Animal and in the Machine" já indicava que o criador da Cibernética estava perfeitamente atento para a identidade e a inseparabilidade destas duas classes de problemas.

O fluxo de informação é a base sobre a qual outro conceito fundamental da Cibernética se assentará: o feedback (ou retroação). Na verdade, em vez de se basearem em algum fluxo de energia, todos os mecanismos (mecânicos, biológicos, eletrônicos) de feedback se baseiam no fluxo de informação:

> "Cumprirá notar – reportando-se à figura 3 –, em primeiro lugar, que a causalidade da máquina não é linear e, seguidamente, que o retrocedimento referido não se cifra em qualquer fluxo de energia. É certo que o mecanismo de regulação utiliza uma parte da energia no funcionamento das válvulas. Contudo, se pretendêssemos determinar as equações de operação da máquina – por exemplo, a fim de calcular as suas condições de estabilidade –, não seriam as equações de energia, mas antes as de informação que entrariam em jogo" (Papert, 1981a, pp. 198–199)

Todo processo de feedback se assenta sobre o fluxo de informação, em geral o fluxo de informação sobre o estado da saída (*output*) para o mecanismo de controle da entrada. Papert refere-se à figura abaixo[5], ilustrando um exemplo em que uma válvula controla a velocidade da máquina regulando a entrada de elementos x, em função do estado da saída, isto é, dos elementos y.

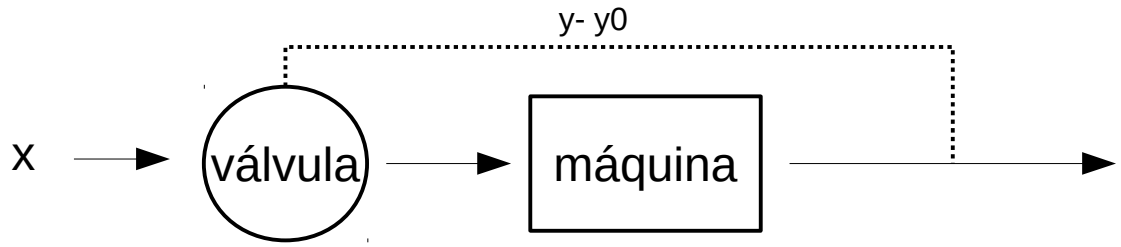

Figura 2: O esquema lógico de feedback

5

O que está em jogo aqui é a informação sobre y sendo transmitida de volta à válvula, permitindo assim que a válvula "conheça" o resultado atual da máquina e aumente ou diminua a velocidade de produção, de acordo com alguma fórmula de equilíbrio previamente dada.

É importante observar a generalidade do diagrama total e de seus componentes. A natureza física da informação é, obviamente, irrelevante. Pode ser um estímulo elétrico, um sinal eletrônico qualquer, um impulso mecânico. Os termos x e y representam quantidades de qualquer coisa. "Válvula" designa um regulador. Pode ser uma válvula, mas pode também ser a porosidade da membrana plasmática de uma célula, uma função de um programa de computador, um circuito elétrico. E "máquina" pode representar a membrana que permite a passagem de um elemento químico e barra a passagem de outro, uma máquina a vapor que aumenta ou diminui a velocidade de funcionamento em função da abertura de uma válvula, um esquema motor que aumenta ou diminui a força de arremesso de um objeto em função da observação da diferença entre distância desejada e a distância obtida.

Em todos os casos, é o fluxo de informação (que pode ser extremamente simples, um mecanismo qualquer que abre e fecha uma válvula, ou extremamente complexo, como o conjunto de coordenações entre esquemas que permitem o arremesso de uma bola em um cesto) que permite o funcionamento do feedback e a obtenção de um equilíbrio.

Outra característica fundamental dos mecanismos de feedback é a inexistência de um equilíbrio dado previamente: os parâmetros do equilíbrio obtido a cada instante dependem das condições específicas do meio: a quantidade x disponível, a quantidade de y produzida, as condições atuais da máquina. Esta é a natureza mesmo da teleonomia cibernética, existe um estado ideal, mas nem as condições de obtenção deste estado são conhecidas a priori nem sequer a possibilidade de obtenção deste estado é dada. Mais ainda, o estado desejado não é nem mesmo um estado fixo, mas um conjunto de estados possíveis, agrupados sob o nome de equilíbrio, estados nos quais as quantidades envolvidas podem ser muito diferentes.

E a discussão da teleonomia da Cibernética será o tema central do segundo artigo de Papert, "Observações a respeito da finalidade" (Papert, 1981b). A teleonomia, escreve Papert, é "o estudo quantitativo da relação ("*rapport*") entre estados finais dum sistema em evolução e as modificações locais (de que esse estado final representará o resultado)"

(Papert, 1981b, p. 210).

Este é um tema conhecido de qualquer estudioso de Piaget, uma discussão entre duas epistemologias, a mecanicista e a finalista. Enquanto a primeira se funda num empirismo inúmeras vezes acusado simplista, a segunda acaba lançando mão de apriorismos improváveis na tentativa de escapar de um determinismo mecânico também pouco provável.

Papert chama a atenção para dois domínios onde este debate se impunha na época (e de certa forma continua se desenrolando até hoje): a teoria da evolução e "a relação entre a vida mental (inteligência, criatividade, vontade, liberdade de escolha, etc.) e os mecanismos neuro-fisiológicos subjacentes" (Papert, 1981b, p. 209) . É notável que, 45 anos depois, o debate sobre a evolução ainda não tenha sido resolvido (ainda que muito dele tenha se deslocado do campo científico para o campo político-ideológico e se tornado mais um debate em torno de superstições e dogmas que um debate sobre a adequação de teorias). Já o debate sobre a relação entre a vida mental e a neurofisiologia deslocou-se para um dos campos mais promissores da ciência atual, a neurociência, mas se manteve também sem resolução definitiva.

De qualquer forma, essas duas áreas de estudo acabaram, como imaginou Papert, abraçando de forma decisiva os métodos e a linguagem da Cibernética, com benefícios visíveis nos dois casos. Tanto o sucesso estrondoso da neurociência moderna quanto os avanços no entendimento da evolução e dos mecanismos genéticos devem muito, para além dos avanços tecnológicos das últimas décadas, a essa mudança na direção do olhar propiciada pela Cibernética.

Uma das grandes contribuições da cibernética aos dois problemas, a evolução e o cérebro, foi a ampliação do campo experimental: a cibernética permite abstrair processos e criar mecanismos, estruturas e ambientes análogos (mecânicos, eletrônicos, computacionais) àqueles que se quer estudar, superando a "intratabilidade" experimental de determinados fenômenos, como nos casos da evolução ou do cérebro. Desta forma, a teoria pode testar esquemas e modelos, algo inviável anteriormente.

Há alguns tipos de sistemas cibernéticos notáveis neste sentido. Inúmeros fenômenos biológicos guardam analogias fortes com máquinas dotadas de mecanismo de retroação (feedback). Papert se concentra na retroação negativa, aquela em que um aumento na grandeza de uma variável de saída (um produto do mecanismo) é transmitido como informação ao ponto de entrada e causa uma diminuição na grandeza das variáveis de entrada. Há inúmeros exemplos biológicos de mecanismos assim, tal como a regulação

da temperatura corporal, o ciclo da insulina e de outros hormônios, o próprio movimento de contração e dilatação da pupila em função da luz. Podemos lembrar também que nos últimos anos, especialmente no estudo microbiológico do aparato genético intracelular, foram identificados vários mecanismos de feedback positivo, em que, por exemplo, a presença de uma substância X, cuja produção é mediada pelo gene A, faz com que o gene A induza a produção mais X (muitas vezes inibindo a indução da produção de uma substância Y por um outro gene). Na verdade, cadeias de feedback negativo e positivo aparecem na base de diversos aspectos do funcionamento biológico, tanto na forma de controle de aparelhos macroscópicos (como o aparelho muscular) quanto nos fenômenos químicos, elétricos e mecânicos celulares e intracelulares.

O problema central do texto, para além da finalidade, é a relação entre os fenômenos globais e os fenômenos locais ou, melhor dito, entre o determinismo causal de níveis inferiores (por exemplo, o funcionamento dos neurônios) e a intencionalidade do macro-níveis (como por exemplo, o comportamento do organismo).

As máquinas dotadas de mecanismos de feedback são englobadas por outras, capazes de operações muito mais sofisticadas, os sistemas adaptativos. Estes são sistemas capazes de, através do uso de informação sobre o estado geral do ambiente (informação em geral representada por uma função cuja solução se quer maximizar e cujo resultado final depende de inúmeras variáveis), manipular as variáveis de entrada até obter uma solução ideal.

Para além dos sistemas físicos capazes de se adaptarem ao seu meio pela manipulação de variáveis, colocam-se os simuladores, sistemas que, em termos cibernéticos, compartilham um diagrama cibernético com outro sistema (e assim, o simulam). As vantagens são evidentes, visto que um simulador analógico, eletrônico ou computacional se livra das amarras físicas, tanto mecânicas quanto temporais, permitindo a experimentação em velocidades muito superiores às dos sistemas físicos correspondentes. Óbvio que tais modelos simulados têm deficiências:

> "Os simuladores pseudo-universais (utilizados pelo engenheiro preocupado com problemas práticos) comportam, a maior parte das vezes, duas deficiências enquanto modelos biológicos: a complexidade de sua estrutura inicial, e sua carência de uma autêntica universalidade (devido ao facto de o engenheiro possuir e utilizar um conhecimento a priori acerca da forma matemática do sistema a simular." (Papert, 1981b,

p. 220)

Este é o caso dos simuladores construídos com fins eminentemente práticos, com o objetivo de resolver problemas reais de engenharia. Entretanto, do ponto de vista experimental, é possível construir redes universais, modelos que ultrapassam estas deficiências através da simplificação de seus elementos e da ausência de pressupostos. Tais redes podem modelar todo tipo de processos complexos, desde o funcionamento de uma rede de neurônios (problema para o qual foram originalmente imaginadas) até reações químicas complexas, interações genéticas, etc.

Por fim, Papert discorre brevemente sobre a emergência da complexidade a partir da interação de elementos físicos razoavelmente simples (neurônios, genes, enzimas) ligados em uma rede. Como exemplifica Papert, vê-se tanto na teoria de Piaget quanto na Zoologia e em outros ramos da Biologia, a formação de estruturas complexas a partir da formação e segregação de subsistemas, isto é, subconjuntos funcionais dentro de um sistema mais amplo, cada subconjunto capaz de buscar e obter seu equilíbrio de forma mais ou menos independente dos demais.

Não há dúvida a respeito da influência do trabalho de C.H. Waddington sobre a teoria de Piaget. Voltarei a este ponto em outro momento, na discussão mais específica da teoria de Piaget, mas seria interessante aqui ressaltar como o vocabulário de Waddington é, todo ele, pautado pela Cibernética. Para tanto creio que bastará discutir alguns dos modelos desenvolvidos por Waddington para retratar a epigênese.

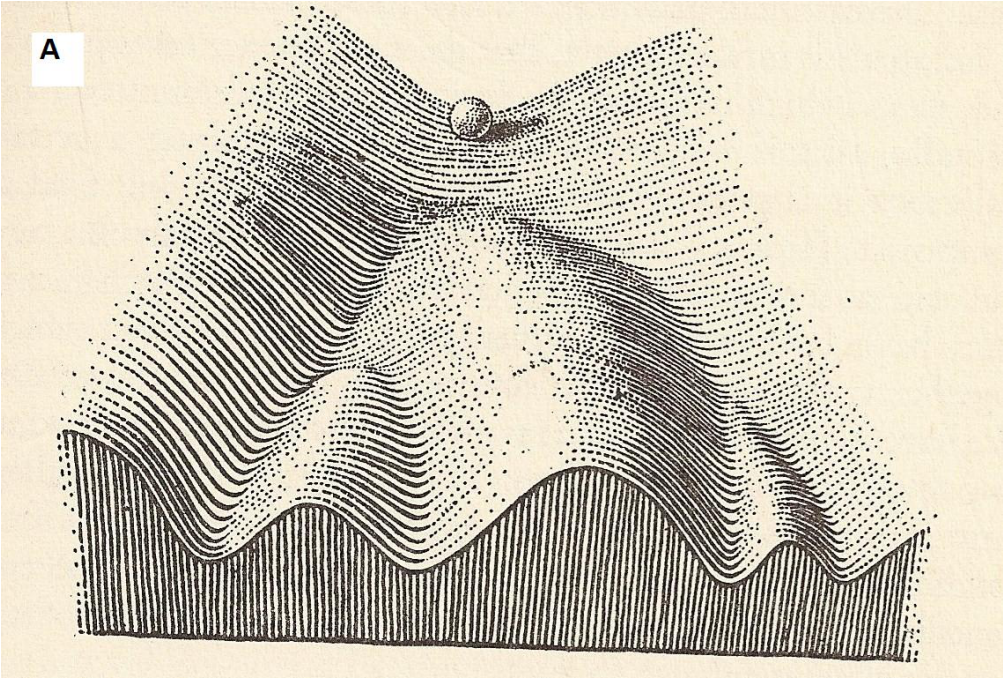

Figura 3: A paisagem epigenética

A figura acima[6] representa um vista parcial da "paisagem [7] epigenética". Waddington escreve:

> "Parte da Paisagem [ver nota anterior] Epigenética. O caminho seguindo pela bola, no momento em que ela rola em direção ao leitor, corresponde à história do desenvolvimento de uma parte específica do ovo. Há uma alternativa inicial, à direita ou à esquerda. No primeiro caso, uma segunda alternativa é oferecida; no caminho à esquerda, o canal principal continua à esquerda, mas há um caminho alternativo que, entretanto, só pode ser alcançado vencendo-se uma elevação."[8] (Waddington, 1957, p. 29)

Esse recorte de um mapa abstrato, mapa que poderia teoricamente representar todo o

6 Figura extraída de (Waddington, 1957, p. 29)

7 Waddington usa o termo "Epigenetic Landscape". Landscape traduz-se por paisagem, vista, panorama. Talvez a expressão "mapa topográfico tridimensional" seja uma explicação melhor para a natureza deste tipo de mapa, mas isso é mais uma explicação que uma tradução. Optei então pelo termo mais comum, paisagem. Mesmo porque o uso da representação topográfica aqui não se destina a informar o leitor das dimensões reais de cada depressão e elevação, mas sim representar de forma ilustrativa as influências de forças genéticas sobre o desenvolvimento do embrião, como ficará claro adiante.

8 "Part of the Epigenetic Landscape. The path followed by the ball, as it rolls down towards the spectator, corresponds to the developmental history of a particular part of the egg. There is first an alternative, towards the right or the left. Along the former path, a second alternative is offered; along the path to the left, the main channel continues leftwards, but there is an alternative path which, however, can only be reached over a threshold".

desenvolvimento do zigoto original ao organismo adulto, um mapa com quantas bolinhas fossem necessárias, rolando juntas por um terreno tão complexo quanto necessário, cada bolinha e sua trajetória representando a transformação de uma parte do zigoto em um tecido específico, é ele mesmo uma representação de outro artefato matemático, o diagrama do espaço de fases (ou fásico) [9]. Estes diagramas são expressões algébricas de espaços multidimensionais, usados para representar o estado de sistemas com qualquer quantidade de componentes e cujo estado em um momento determinado é dado pelo valor atribuído a todos os componentes naquele momento.

Naturalmente, o espaço de fases não pode ser representado tridimensionalmente de forma integral, para além de um certo número de parâmetros. Entretanto, o objetivo de Waddington aqui não é proporcionar um tratamento matemático preciso ao problema:

> "Apesar da paisagem epigenética só fornecer uma imagem rápida e grosseira do embrião em desenvolvimento, e não poder ser interpretada de forma rigorosa, ela tem certas vantagens para aqueles que, como eu, acham reconfortante ter uma imagem mental, ainda que vaga, daquilo sobre o que estão tentando pensar." [10] (Waddington, 1957, p. 30)

O objetivo é antes fornecer uma analogia geométrica que permita visualizar de forma simples e rápida as forças em jogo. Na figura acima, a analogia condensa as forças envolvidas no desenvolvimento embrionário em uma força gravitacional abstrata, que obriga a bolinha a percorrer a encosta do terreno até seu final. O terreno já tem caminhos definidos, preferenciais. Alguns destes caminhos têm alternativas. Assim, diz Waddington:

> "Por exemplo, ela [a paisagem epigenética] nos faz pensar se há regiões nos níveis superiores que sejam planaltos quase planos, a partir dos quais dois ou três vales partem para baixo. Isto corresponde, de fato, ao que conhecemos como estados de competência, nos quais tecidos embrionários se encontram numa condição a partir da qual eles podem ser levados a se desenvolverem de uma ou outra de um número de alternativas." [11] (Waddington, 1957, p. 30)

9 Phase-state diagram.

10 "Although the epigenetic landscape only provides a rough and ready picture of the developing embryo, and cannot be interpreted rigorously, it has certain merits for those who, like myself, find it comforting to have some mental picture, however vague, for what they are trying to think about".

11 "For instance, it makes one reflect that may be regions in the upper levels which are almost flat

O desenvolvimento embrionário envolve três grandes processos: a regionalização, processo pelo qual grupos de células do embrião, que antes pareciam similares, passam a exibir diferenças notáveis; a histogênese, processo de formação dos tecidos; e a morfogênese, a transformação de uma região do embrião para uma forma definida.

Cada um desses processos e cada passo de cada um deles está sujeito ao processo ilustrado pela paisagem epigenética, tendo desde o início caminhos preferenciais, alternativas e uma forte tendência a retornar às trilhas pré-determinadas. Tudo no processo de embriogênese se reporta à busca de um equilíbrio em movimento, um caminho em direção a um objetivo ótimo em um processo interativo com as condições locais. Ou seja, tudo aqui fala a linguagem da cibernética. O outro diagrama clássico apresentado por Waddington, ilustrando a forma como os genes moldam a superfície da paisagem epigenética, revela ainda mais a natureza cibernética da epigênese.

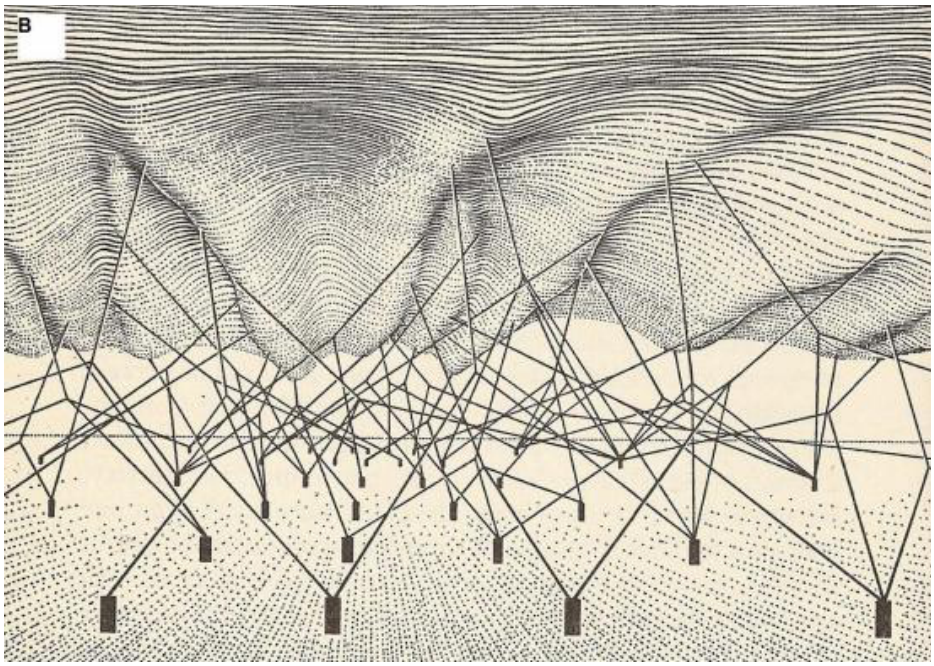

Figura 4: Os genes sob a paisagem epigenética

Sobre essa figura[12], Waddington escreve:

> "O complexo sistema de interações sob a paisagem epigenética. As estacas no solo representam os genes; as cordas saindo deles, as tendências químicas produzidas pelos genes. A modelagem da paisagem

plateaus from which two or three different valleys lead of downward. These, in fact, correspond to what we know as states of competence, in which embryonic tissues are in a condition in which they can be easily brought to develop in one or other of a number of alternatives."

12 Figura extraída de (Waddington, 1957, p. 36)

> epigenética, que desce desde um ponto acima da cabeça do observador em direção ao horizonte, é controlada pela tensão produzida por estes numerosos cabos, que estão ancorados nos genes."[13] (Waddington, 1957, p. 36)

Waddington usa esta figura para desvelar as forças em jogo no processo epigenético: as interações entre múltiplos genes "esculpem" o terreno a ser percorrido pelo embrião. Em 1957, Waddington podia apenas especular sobre a real natureza de tais interações, pois não havia sequer a tecnologia para observar os detalhes microbiológicos do funcionamento genético. Entretanto, sua visão global não está incorreta, mesmo vista de hoje. E a analogia expressa na figura ainda se sustenta, o processo de desenvolvimento embrionário é de fato presidido por interações entre múltiplos genes, alguns produzindo proteínas, outros controlando o funcionamento dos primeiros, outros ainda controlando o funcionamento de outros genes de controle. Ainda que seja um processo extremamente complexo e ainda não totalmente compreendido, a embriogênese é um emaranhado de processos cibernéticos, feedbacks positivos e negativos atuando o tempo todo na ativação e desativação de genes e grupos de genes, equilíbrios locais e parciais sendo buscados, estabelecidos e mantidos e a natureza teleonômica do processo todo plenamente visível.

Waddington cria dois conceitos que serão incorporados e utilizados posteriormente por Piaget: homeorrese e creodo. Sobre o tipo de equilíbrio observado no processo de embriogênese, ele escreve:

> "De fato, se um processo de desenvolvimento embrionário é perturbado, ele em geral voltará à normalidade algum tempo antes de atingir a condição adulta. Isto é, sua trajetória converge não apenas para o estado final normal, mas para um ponto anterior na trajetória que leva ao estado estável […] Um sistema assim exibe uma tendência na direção de um certo tipo de equilíbrio; mas esse equilíbrio não está centrado em um estado estático, mas em uma direção ou percurso de mudança."[14]

13 "The complex system of interactions underlying the epigenetic landscape. The pegs in the ground represent genes; the strings leading from them the chemical tendencies which the genes produce. The modeling of the epigenetic landscape, which slopes down from above one's head towards the distance, is controlled by the pull of these numerous guy-ropes which are ultimately anchored to the genes"

14 "As a matter of fact, if a process of embryonic development is disturbed, it usually returns to normality some time before reaching the adult condition. Its trajectory, that is to say, converges not merely to the normal end state, but to some earlier point in the trajectory leading towards the steady

(Waddington, 1957, p. 32)

Waddington lembra que a paisagem epigenética ilustra bem este processo de retorno a um caminho marcado: se a bola, descendo por um vale, for por algum motivo deslocada para as encostas do vale, sua tendência natural será voltar ao fundo do vale. O equilíbrio a que nos referimos aqui, então, não é o equilíbrio estático de um processo mecânico ou químico, mas um equilíbrio "em movimento". Assim:

> "Nós podemos expressar este tipo de equilíbrio como uma 'homeorrese' (ῥεῖ/rhei, fluir), tomando a analogia da conhecida expressão homeostase, que é apropriada quando o que se mantém é um estado imutável."[15] (Waddington, 1957, p. 32)

E este equilíbrio em movimento resulta da existência de caminhos preferenciais. Waddington cria o neologismo "creodo" (a partir das palavras gregas χρη/chre, "é necessário" e όδος/hodos, "caminho, trilha, rua") para designar estes caminhos necessários :

> "Um creodo, então, é a representação (e.g. por uma trajetória no espaço de fases) de uma sucessão temporal de estados de um sistema, caracterizada pela propriedade do sistema de, caso seja forçado a se afastar do creodo, tenderá a retornar a ele. O caminho seguido por um míssil teleguiado, que busca atingir um alvo estacionário, é um creodo."[16] (Waddington, 1957, p. 32)

Piaget vai incorporar os dois conceitos. Aliás, como ficará claro, as ideias de Waddington terão grande influência não apenas sobre os aspectos mais diretamente biológicos da teoria piagetiana, mas serão também incorporados à forma final de sua teoria do desenvolvimento cognitivo e à própria teoria do conhecimento. Após explicar

---

state […] Such a system exhibits a tendency towards a certain kind of equilibrium; but this equilibrium is not centered on a static state but rather on a direction or pathway of change."

15 "We might speak of such an equilibrium-property as a condition of 'homeorhesis' (ῥεῖ, to flow), on analogy with the well known expression homeostasis, which is appropriate when it is an unchanging state which is mantained."

16 "A creode, then, is a representation (e.g. by a trajectory in the phase space) of a temporal succession of states of a system characterized by the property that the system, if constrained to move slightly away from the creode, will tend to return to it. The path followed by a homing missile, which finds its way to a stationary target, is a creode."

brevemente as noções de creodo e homeorrese, Piaget conclui:

> "Ora, é impossível tomar em consideração um quadro desta espécie sem pensar imediatamente em suas analogias profundas com o desenvolvimento dos esquemas ou noções da inteligência e com o desenvolvimento das estruturas operatórias." (Jean Piaget, 2003, p. 30)

O "quadro" mencionado é exatamente aquele que descrevemos brevemente acima. Como observou Piaget anteriormente,

> "Mas o interesse da noção não está nestes batismos (nem nos desenhos simbólicos, que nos são apresentados, de canais mais ou menos largos ou apertados, que os processos são obrigados a seguir. O interesse está em uma nova concepção do equilíbrio, de certa forma cinemático, que determina estes processos, e que é muito distinto da homeostase: há 'homeorrese' se o processo formador, desviado de sua trajetória por influências exteriores, é conduzido a voltar a ela, por um jogo de compensações coercitivas." (Jean Piaget, 2003, pp. 29–30)

E esta nova forma de equilíbrio será de grande interesse para Piaget, por conseguir indicar o equilíbrio dinâmico de um processo genético de desenvolvimento. O desenvolvimento cognitivo terá seus creodos:

> "Parece-nos que a verdade consiste em que toda construção conceitual ou operatória supõe uma duração ótima, expressão das mais propícias velocidades de transformação ou de assimilação, porque esta construção admite um certo número de etapas necessárias, cujo itinerário é o equivalente de um creodo." (Jean Piaget, 2003, p. 31)

Isto é, os estádios de desenvolvimento cognitivo apenas explicitam os caminhos necessários pelos quais a epigênese intelectual precisa passar. Essa trajetória pode sem dúvida ser perturbada, observa Piaget a seguir, por vezes o desenvolvimento pode até ser acelerado. Mas as construções necessárias têm, indubitavelmente, uma ordem e um caminho, para o qual tendem naturalmente.

Não precisamos aqui ir muito além de algumas passagens de "Biologia e

Conhecimento" para exemplificar a influência da cibernética na visão piagetiana da Biologia. Toda a linguagem das regulações e da equilibração é fundamentalmente cibernética. A própria construção das estruturas orgânicas só se explica por um processo contínuo de autorregulação. Seguindo a hipótese principal daquele texto, que vê os processos cognitivos tanto como resultante das regulações orgânicas quanto como órgãos diferenciados de regulação das trocas com o meio, Piaget caracteriza a relação inseparável entre a regulação e construção:

> "Para compreender a natureza comum das regulações orgânicas e cognoscivas (e é dela que é preciso partir para extrair em seguida as diferenças), convém, em primeiro lugar, insistir no fato de que a regulação não é acrescentada à construção de formas e das trocas, mas participa desta construção a título de instrumento principal, no sentido de que esta construção não somente resulta dela, mas ainda *é* em si mesma uma autorregulação." (Jean Piaget, 2003, pp. 233–234)

Piaget aqui ecoa de forma clara a descrição de Waddington da epigênese orgânica. Se lembrarmos da paisagem epigenética (Figura 3), a regulação é quase um atributo mesmo do processo de construção. Isto quer dizer que não existe uma construção à qual posteriormente é acrescida uma regulação mas sim que "...cada um destes mecanismos [de autorregulação] faz parte de um mecanismo construtivo, cuja condição essencial de funcionamento é ser autorregulador..." (Jean Piaget, 2003, p. 234). Enquanto a construção atua no sentido da organização (na morfogênese embrionária, por exemplo), a regulação atua no sentido do controle do processo. De qualquer forma, esse processo "só é inteligível na qualidade de novo equilíbrio". O organismo em desenvolvimento, aberto para o mundo, sofre as pressões do meio e precisa se reequilibrar – o processo de regulação trabalha então continuamente no sentido da conservação do funcionamento. No caso do desenvolvimento embrionário (ou, na verdade, de qualquer processo de desenvolvimento), mais ainda que no caso do organismo adulto, essa conservação é sempre teleonômica, buscando retornar o processo de construção a seu creodo original ou, pelo menos, garantir que a forma final a ser gerada pela nova homeorrese seja capaz de cumprir a mesma função ou uma função análoga à forma original. Isto é:

> "Dito isto, o caráter geral das regulações propriamente orgânicas e

> das regulações cibernéticas, no sentido corrente do termo, é constituir, graças ao controle retroativo, correções e moderações do erro. Ou a regulação se exerce sobre o resultado de um processo, e equivale então a aceitar a marcha normal e o êxito ou a compensar e corrigir o erro; ou o mecanismo regulador atua sobre o processo em curso ou sobre a própria ação, em vez de fazê-lo sobre o seu resultado, e admite assim uma dimensão antecipadora, e consiste numa orientação, o que também equivale a confirmar as boas direções e corrigir ou compensar as direções errôneas." (Jean Piaget, 2003, p. 238)

O controle do funcionamento de cada órgão, da interação entre os órgãos reunidos em sistemas, da interação entre os sistemas e do organismo como um todo dá forma, enfim, a um mecanismo autorregulado e controlado por órgãos diferenciados:

> "Logo que se manifesta a diferenciação dos órgãos reguladores, como os sistemas endócrinos e nervosos, este caráter de controle, alternadamente corretor e ativador, é ainda mais evidente e se revela em todos os domínios mediante reequilibrações ou pela manutenção de um equilíbrio aproximado. Aos feedbacks de todos os tipos superpõem-se feed-forwards, que lhes remediam as insuficiências de velocidade e os excessos de amplitude, constituindo assim uma espécie de regulações à segunda potência, ou regulagens da própria regulação." (Jean Piaget, 2003, pp. 238–239)

Observe-se que, na embriogênese, antes do surgimento dos sistemas reguladores, o desenvolvimento do organismo estava sob controle dos genes e dos produtos dos genes, submetidos eles mesmos a mecanismos de regulação mútuos da mesma ordem. É bastante claro hoje o que se começava a intuir naquela época, que o genoma funciona como um grande máquina cibernética com cadeias complexas de regulações internas, genes reguladores ativando e desativando outros genes reguladores, em grandes cadeias de interação, que a todo momento regula e modifica o produto das células de cada tecido e cada órgão.

Essa incorporação, por Piaget, da linguagem da cibernética e de seus conceitos será fundamental para compreender o modelo de adaptação biológica e de evolução elaborado por Piaget, que veremos mais à frente. Aquele modelo de certa forma retoma a

hipótese e o desenvolvimento encontrados em Biologia e Conhecimento, mas focalizado agora no aspecto puramente biológico do problema.

Porém, antes de chegar aos textos centrais de Piaget sobre o problema da Evolução, vamos examinar um conceito que emerge quase que naturalmente da natureza interativa da teoria piagetiana e que, por muito, foi apenas tangenciado, inclusive pelo próprio Piaget: a dialética.

2.3 A dialética da vida e do conhecimento: interação e desenvolvimento

Discutir de forma exaustiva a dialética em Piaget, ou na Epistemologia Genética, nos desviaria muito do caminho, mas me parece importante apontar aqui algumas relações entre a teoria piagetiana e a tradição dialética.

Que a teoria de Piaget seja dinâmica me parece consenso. Já mostramos como a oposição entre acomodação e assimilação põe em movimento processos de desenvolvimento interativos, regulados por mecanismos complexos de retroalimentação.

A questão mais básica que surge daí diz respeito à natureza deste movimento ou, melhor dizendo, até que ponto este movimento pode ser dito um movimento dialético. Em seguida, cabe tentar investigar a forma que esta dialética assume.

A ideia de que a dialética nasce das próprias leis da natureza e que o mundo natural é regulado por um tipo de dialética não é nova. Após a morte de Marx, Engels escreve "A Dialética da Natureza", obra que deixa inacabada. Apesar da parte estritamente factual do texto estar datada, pois Engels o escreve entre 1872 e 1882, a discussão sobre a dialética em si mostra como Engels pensava a relação entre a ciência ou a natureza e a dialética: "É, então, da história da natureza e da sociedade humana que as leis da dialética são abstraídas. Porque elas são apenas as leis mais gerais destes dois aspectos do desenvolvimento histórico, bem como do [desenvolvimento do] pensamento em si"[17] (Engels, 1882). Ou seja, a dialética não nasce, para Engels, do pensamento e então se projeta no mundo como uma capa explicativa, pelo contrário, a dialética existe primeiro na própria história da natureza e depois na história da humanidade, na forma das leis mais fundamentais de seu desenvolvimento. E essas leis, para Engels, se reduzem a três:

- A lei da transformação da quantidade em qualidade;
- A lei da interpenetração dos opostos;

17 "It is, therefore, from the history of nature and human society that the laws of dialectics are abstracted. For they are nothing but the most general laws of these two aspects of historical development, as well as of thought itself." .

- A lei da negação da negação

Engels atribui as três leis a Hegel, mas observa que este último erroneamente as desenvolve como leis do pensamento, isto é, nas palavras de Engels, "O erro está no fato destas leis serem impostas à natureza e à história como leis do pensamento, de não deduzidas dali [da natureza e da história]" (Engels, 1882). Deste erro resulta a aparência forçada e muitas vezes até ultrajante das tentativas de fazer com que o universo se encaixe em um sistema de pensamento "o qual é, ele mesmo, apenas o produto de um momento específico na evolução do pensamento humano".

Neste capítulo e em notas esparsas, Engels desenvolve a ideia destas três leis fundamentais através de exemplos retirados das ciências exatas, especialmente da Física e da Química. E as aplica em um capítulo que se tornou bastante conhecido, tanto por sua adequação ao método quanto por sua "presciência paleontológica", por assim dizer: "O Papel do Trabalho na Transição do macaco ao Homem" (Engels, 1876). Ali Engels defende uma ideia posteriormente comprovada pela evidência fóssil, o desenvolvimento paralelo da mão e do cérebro humanos.

As experiências e a discussão levada a cabo por Piaget em "As Formas elementares da Dialética" (Jean Piaget, 1996) se aproximam bastante da tese de Engels, da formação natural das leis da dialética. Ali Piaget tem por objetivo "...analisar a formação da dialética enquanto construção de novas interdependências que constituem o aspecto inferencial de equilibração e que procedem por implicações entre ações enquanto portadoras de significações." (Jean Piaget, 1996, p. 14)

Piaget separa as equilibrações sucessivas em uma fase inferencial, de construção de estruturas, e uma fase discursiva, de extração das consequências daquela nova estrutura, estando o sistema (aqui cognitivo) equilibrado em sua nova posição (Jean Piaget, 1996, pp. 197–198). Mas podemos observar que essas deduções que se podem extrair da nova estrutura, que caracterizam a fase discursiva, não podem ser elas mesmas inconsequentes em um sistema em equilíbrio dinâmico, sua função lembrando muito a primeira lei acima, a da transformação de quantidade em qualidade. Pois serão, no desenvolvimento, essas mesmas deduções, acompanhadas das novas assimilações que elas mesmas, por fim, propõem, as bases para um novo desequilíbrio e uma nova "fase dialética" de reequilibração.

Em "Biologia, Teorias do Desenvolvimento e Dialética" (Nowinski, 1981), Czeslaw Nowinski trata do papel da dialética na Biologia. Sua primeira aproximação se dá através do exame de aspectos epistemológicos e metodológicos da teoria de Darwin e da

de Piaget.

Nowinski observa que a teoria de Darwin apresenta elementos dialéticos incipientes ou, nas suas palavras,

> "A despeito, porém, dessas acentuações dialéticas (tão visíveis), a teoria de Darwin queda-se, por assim dizer, no limiar da dialética, e representa – de um modo geminativo – um tipo dessa metodologia" (Nowinski, 1981, p. 237)

Acentuações especialmente ligadas ao caráter histórico do objeto estudado, as espécies e sua evolução. Pois a singularidade do modelo de Darwin, segundo Nowinski, é a dualidade entre o abstrato e universal da teoria da seleção e o caráter histórico da aplicação desta mesma teoria a um momento dado. Trata-se então de uma transcendência da história seguida de um retorno à história concreta da vida, para reconstituí-la.

Piaget, por outro lado, construiu ao longo das décadas uma teoria onde não há espaço para a dualidade entre uma teoria universal supra-histórica e a reconstituição da genealogia, característica da teoria de Darwin, segundo Nowinski. A forma dinâmica que a teoria piagetiana assume após os anos 50, de equilibrações/reequilibrações das estruturas em um movimento contínuo se aproxima muito da metodologia dialética desenvolvida por Marx em "O Capital". Como nota Nowinski, mesmo o par invariante assimilação/acomodação, que se encontra na origem de todo o movimento de adaptação do organismo e, portanto, de todo desenvolvimento da inteligência, tem uma gênese, tanto no próprio organismo quando na espécie e além, na filogênese de todos os seres vivos do planeta. Observando o desenvolvimento cognitivo tal como preconizado por Piaget, nota-se que o jogo da equilibração não cessa ao final do desenvolvimento cognitivo, no estádio operatório-formal. O próprio Piaget observa:

> "Se qualificarmos como 'finais' certas estruturas, como a do grupo INRC, tal será exclusivamente válido no que diz respeito ao desenvolvimento II (ou seja, ao desenvolvimento psicogenético de uma criança) e, ainda, tal como o observamos no século XX nas nossas sociedades. Contudo, na medida em que a construção dessa estrutura coincide com o momento em que, entre nós, o indivíduo se torna intelectualmente adulto, essa estrutura final é, ao mesmo tempo, inicial no que diz respeito à sequência do desenvolvimento sócio-genético e

> cultural, que prossegue de geração em geração”. [18] (Apostel, Grize, Papert, & Piaget, 1963, p. 12)

Ora, neste pequeno trecho fica claro que o próprio Piaget via a construção das estruturas cognitivas não apenas como um processo genético e contínuo, mas também como um processo ininterrupto, ligado ao desenvolvimento sócio-genético e cultural da espécie da mesma forma que a inteligência está ligada aos processos orgânicos e instintivos. Mais que isso, esse desenvolvimento é histórico, determinado pela época e lugar onde ocorre. Fica então mais clara a analogia possível, que Nowinski tenta traçar, entre a dialética encontrada em Piaget e a dialética desenvolvida por Hegel e por Marx.

A anotação final de Nowinki é uma advertência à qual retornaremos em seguida:

> “Subsiste, no entanto, uma diferença importante. Para Piaget, a noção de equilíbrio - enquanto mecanismo central e vecção necessária do processo de desenvolvimento – conserva seu caráter característico, muito embora cada forma de equilíbrio suceda à precedente graças aos desequilíbrios que a engendram. Em contrapartida, para Marx, o mecanismo central do desenvolvimento é a destruição contínua do equilíbrio, com todas as consequências metodológicas que daí resultam”. (Nowinski, 1981, p. 242)

A noção de equilibração carrega consigo o germe da dialética: as estruturas equilibradas anteriores, submetidas ao confronto com o meio, sobre desajustes, inadequações, desequilíbrios enfim, num processo de movimento contínuo: a homeorrese, o equilíbrio em movimento mencionado anteriormente. Esse processo exige acomodações, engendra a construção de novas estruturas e resulta em um novo equilíbrio, mas num patamar superior. Um equilíbrio que condensa as estruturas anteriores, abarcando-as e superando-as, em um salto qualitativo que Piaget chamou de “equilibração majorante”, que em tudo lembra uma síntese que resolve as contradições entre assimilação e acomodação das estruturas anteriores. Resolve, porém, criando suas próprias e novas contradições. Não é necessária muita imaginação para perceber a

18 « Il va donc de soi que si nous qualifions de « finales » de structures comme celle du groupe INRC, c'est exclusivement par rapport au développement II, et encore tel qu'on l'observe au XXº siècle dans nos sociétés. Mais, pour autant que la construction de cette structure coïncide avec le moment où (chez nous) l'individu devient intellectuellement adulte, doc où le développement II rejoint un niveau déterminé Nt du développement I, cette structure « finale » est en même temps initiale par rapport à la suite du développement I, ultérieure à Nt »

analogia quase evidente entre este processo e a síntese em Hegel e em Marx. Mais ainda quando se leva em consideração que a homeorrese descreve um equilíbrio em movimento de um processo determinado, teleonômico. Uma busca de um fim não especificado a priori mas já inscrito na própria determinação do movimento que o gera.

Se Nowinski analisou a dialética em Piaget muito ainda do ponto de vista de uma filosofia do século XIX, lendo Hegel talvez com os mesmos olhos de Engels, Rolando García adota um ponto de partida diferente. Em "Dialética, psicogênese e história das ciências", posfácio de "As Formas Elementares da Dialética" (García, 1996, pp. 211–228) serão as anotações de Lênin à "Ciência da Lógica" de Hegel que servirão de base para a comparação entre a Epistemologia Genética de Piaget e a Dialética.

García lista inicialmente três objeções comuns à aproximação entre a epistemologia genética e a dialética derivada de Hegel e da tradição marxista: (1) a objeção dos que rejeitam Hegel e Marx, que a dialética em Piaget nada teria em comum com o trabalho destes dois filósofos; (2) a objeção dos marxistas não-ortodoxos, especialmente do marxismo europeu que nasceu da crítica à União Soviética, de que Piaget estaria desvinculado das dimensões sociais do conhecimento; e (3) a objeção marxista ortodoxa, que condena todo o desvio da tradição que une Marx, Engels, Lenin e talvez Mao, inclusive o desvio daqueles atores da objeção anterior.

Na visão de García, portanto, todas essas críticas carecem de substância, pois nenhuma delas se refere ao objeto em si, às semelhanças e diferenças entre a epistemologia genética e a tradição dialética iniciada em Hegel. Prendem-se, as críticas, às interpretações e preconceitos dos críticos, mais que a um exame desapaixonado dos textos. Segundo García:

> "… parece-nos possível situar Piaget na continuação de uma linha de pensamento epistemológico que atravessa Hegel e Marx (mas que começa bem antes deles), e isso sem lembrar o quanto as "respostas" piagetianas se afastam daquelas dos autores clássicos." (García, 1996, pp. 212–213)

Após apontar a semelhança entre a forma que Marx descreve as relações entre o "concreto" e o "abstrato" em "O Capital" e a forma como Piaget trata estes mesmos aspectos, García passa referir-se a algumas notas de Lenin sobre a dialética, presentes no final da terceira parte de sua "Sinopse do Livro de Hegel 'Lições de História da

Filosofia'" (Lenin, 1914). Lenin enumera primeiro três princípios da dialética de Hegel, na prática aqueles mesmos identificados por Engels, mas transcritos assim:

> 1. A determinação do conceito desde si mesmo [a coisa ela mesma deve ser considerada nas suas relações e no seu desenvolvimento];
> 2. A natureza contraditória da coisa em si (*das Andere seiner*), as forças e tendências contraditórias em cada fenômeno;
> 3. A união da análise e da síntese.

É fácil observar que estas são as mesmas três leis da natureza que Engels atribui a Hegel (enquanto leis do pensamento). Mas Lenin vai além, e detalha estes princípios em dezesseis elementos, aos quais Rolando García vai se referir:

> 1. a objetividade na consideração (não através de exemplo, ou de divergências, mas a Coisa-em-si).
> 2. a totalidade das múltiplas relações desta coisa com as outras.
> 3. o desenvolvimento desta coisa (do fenômeno, respectivamente), seu próprio movimento, sua vida.
> 4. as tendências (e facetas) contraditórias desta coisa.
> 5. a coisa (fenômeno, etc) como a soma e a unidade dos opostos.
> 6. a luta, desdobrando-se, destes opostos, os esforços contraditórios, etc.
> 7. a união da análise e da síntese – o colapso das partes separadas e da totalidade, a soma destas partes.
> 8. as relações de cada coisa (fenômeno, etc) não são apenas múltiplas, mas gerais, universais. Cada coisa (fenômeno, etc) está conectada com todas as outras.
> 9. não apenas a unidade dos opostos, mas as transições de todas as determinações, qualidades, características, lados, propriedades em todas as outras [nos seus opostos?].
> 10. o processo infindável de descoberta de novos lados, relações, etc.
> 11. o processo infindável de aprofundamento do conhecimento humano da coisa, dos fenômenos, processos, etc, da aparência à essência e da essência menos profunda à essência mais profunda
> 12. da coexistência à causalidade e de uma forma de conexão e

dependência recíproca a outra forma mais geral e mais profunda.

13. a repetição, em um estágio superior, de certas características, propriedades, etc, de um estágio inferior e
14. o retorno aparente do antigo (negação da negação).
15. a luta do conteúdo com a forma e vice-versa. O abandono da forma, a transformação do conteúdo.
16. a transição da quantidade em qualidade e vice-versa. (15 e 16 são exemplos de 9) (Lenin, 1914)

Não é difícil encontrar na lista acima inúmeras semelhanças com textos e afirmações de Piaget, em especial se se levar em consideração a diferença de vocabulário ao designar os mesmos fenômenos e processos e mais, a diferença entre as tradições filosóficas a que ambos se reportam. Serão estas semelhanças que García vai passar a sublinhar em seguida, agrupando de forma diferente de Lenin os itens da lista.

Há em primeiro lugar a caracterização dos objetos, fenômenos e processos como sistemas de inter-relações com níveis crescentes de complexidade. Cabe observar, níveis crescentes de complexidade "para si", em relação ao sujeito que conhece. Garcia aponta os itens 1, 2, 3 e 8 como núcleos desta caracterização: a consideração da própria coisa em suas relações e seu desenvolvimento (1), a totalidade das relações da coisa com as outras (2), o desenvolvimento e movimento da coisa (3) e a ligação de cada coisa com todas as outras coisas (8).

Ora, não me parece muito ousado propor que tal visão do conhecimento é bastante semelhante daquela que emerge do caminho traçado na Epistemologia Genética: a crescente complexidade do objeto, de suas relações internas e externas, o número crescente das relações possíveis entre um objeto e todos os outros.

García então anota que Lenin, como Hegel, caracteriza a dialética como a luta e a superação de opostos: como soma e unidade de opostos (5), a luta destes opostos (6) e a transição das propriedades da coisa em todas as outras (9). Piaget, por outro lado, diz "*… já há dialética quando dois sistemas, até então distintos e separados, mas não opostos um ao outro, fundem-se em uma totalidade nova, cujas propriedades os ultrapassam e até mesmo, às vezes, em muito*" (Jean Piaget, 1996, p. 197).

A aproximação possível aqui, diz García, é dupla. Em primeiro lugar, o item 9 na lista elaborada por Lenin relativiza a noção de "contrário". Não necessariamente estamos falando de objetos, fenômenos, processos diametralmente opostos, mas sim diferentes.

De forças que não necessariamente de opõem mas que apontam para direções ou sentidos díspares, direções e sentidos que eventualmente precisam ser coordenados e sintetizados em um novo todo.

Aqui talvez se possa concordar com o que García disse antes, a dialética em Piaget, que não nasce da tradição hegeliano-marxista mas do próprio estudo da construção do conhecimento, não tem um compromisso necessário com o vocabulário ou mesmo com a forma exata que aquela dialética assume em Hegel e Marx.

Ainda há as coincidências mais evidentes. Como observa García, o ítem 7 da lista de Lênin, a união da análise e da síntese, separação das partes e totalização destas partes juntas, corresponde a um processo de integração e diferenciação dos elementos de um todo, uma forma de equilibração. Os itens 10 e 11, tanto o processo de aprofundamento do conhecimento do sujeito sobre o objeto quanto o processo de aprofundamento do conhecimento humano sobre a natureza, são ambos temas piagetianos comuns. Como cita García, nas conclusões mesmas do volume a que seu artigo serve de posfácio, Piaget fala do eterno recuo do objeto em relação ao sujeito que o conhece, do afastamento a cada aproximação e do estatuto além do conhecimento de todo objeto.

O item 13, a repetição de certas características e propriedade de um nível inferior em um nível superior fala diretamente à re-elaboração do conteúdo de um nível em um outro nível, qualitativamente superior. E o item 15, que se refere às relações entre a forma e o conteúdo, a forma tentando assimilar um conteúdo e o conteúdo forçando a modificação da forma, a forma de um nível tornando-se conteúdo do nível seguinte. Dois temas recorrentes em Piaget.

García conclui:

> "Essas aproximações podem ser suficientes para fazer entender em que sentido pensamos, como Lucien Goldmann, que Piaget pertence – quer ele queira, quer não – a uma linha de pensamento à qual pertencem também aqueles que são considerados fundadores da mais importante escola dialética de nosso tempo." (García, 1996, p. 218)

Cabe talvez uma última observação: a já citada lei dialética da negação da negação, traduzida por Lenin nos itens 13 a 15, guarda uma analogia forte com um conceito fundamental em Piaget, a equilibração majorante. Piaget escreve:

> "Seria, pois, assaz insuficiente conceber-se a equilibração como uma

> simples marcha para o equilíbrio, pois que ela é além disso constantemente uma estruturação orientada para um *melhor* equilíbrio, não permanecendo num estado definido nenhuma estrutura equilibrada, mesmo se ela conservar em seguida suas características especiais sem modificações" (Jean Piaget, 1976, p. 35)

Ambos os processos, a negação da negação e a equilibração majorante, foram representados como uma espiral ascendente, cada volta retornando ao ponto inicial em um patamar superior. E o motor desse movimento ascendente são as contradições inerentes à própria posição presente (em Hegel, Marx, Lenin) ou os desequilíbrios engendrados pelo jogo de assimilação/acomodação (em Piaget).

O objetivo aqui, entretanto, não é o de Rolando García, é bem mais modesto. A menção à dialética aqui serve para mostrar o quanto o pensamento de Piaget resulta, ao fim e ao cabo, em uma Biologia e em uma Psicologia em constante movimento, numa interação contínua das partes entre si, das partes com o todo e também de interação das relações e propriedades das partes e do todo entre si. Chamamos de "dialética" essa forma de pensar e a teoria que daí resulta. Sendo a própria teoria uma forma histórica, em constante movimento ao longo do tempo, em nada muda o caráter dialético da teoria o fato de falarmos em desequilíbrios em lugar de contradições ou de diferentes no lugar de opostos. Porque não se pode esquecer, como Piaget não esqueceu, a natureza cibernética do organismo vivo. A introdução da cibernética na equação dialética permite transformar o par binário análise/síntese e o choque entre opostos ou contrários em uma matemática vetorial, onde as diferentes forças em jogo (na adaptação orgânica, na epigênese, no desenvolvimento cognitivo) sejam representadas não necessariamente como oposições diretas, mas como forças agindo em múltiplas direções e múltiplos sentidos, se somando em uma resultante final que dá a direção do desenvolvimento.

E sobre o caráter materialista desta dialética em Piaget, mais que evidenciado pelas raízes firmes e constantemente relembradas da Epistemologia Genética na Biologia, cabe talvez encerrar com um último trecho, saído também das trincheiras revolucionárias do século XX, mas que também fará lembrar vividamente a teoria de Piaget:

> "Nós chamamos nossa dialética de materialista, já que suas raízes não estão nem no céu nem nas profundezas de nosso "livre arbítrio", mas na realidade objetiva, na natureza. A consciência nasceu da

> inconsciência, a psicologia da fisiologia, o mundo orgânico do mundo inorgânico, o sistema solar da nebula. Em todos os degraus desta escada de desenvolvimento, as mudanças quantitativas se transformaram em mudanças qualitativas. Nosso pensamento, incluindo o pensamento dialético, é apenas uma das formas de expressão da matéria em transformação. Não há lugar neste sistema para Deus ou para o Demônio, para a alma imortal ou para leis e preceitos morais eternos. A dialética do pensamento, tendo nascido da dialética da natureza, possui assim um caráter completamente materialista." (Trotsky, 1939)

Como foi dito antes, não cabe aqui um exame aprofundado das relações entre o pensamento de Piaget e a dialética hegeliana, nem eu me propus tal tarefa. Por este motivo, circunaveguei Hegel através de alguns de seus comentadores mais proeminentes dentro de uma tradição dialética.

Do mesmo modo, e creio que com ainda mais razão, não abri espaço para o debate das raízes kantianas do pensamento de Piaget e sua confrontação com o pensamento de Hegel. Outros fizeram (Ramozzi-Chiarottino, 1984) e tem feito isto de forma melhor do que eu poderia fazer.

A finalidade, que acredito que as páginas anteriores atendem plenamente, é entender o movimento contínuo de construção, destruição e reconstrução de estruturas preconizado pela Epistemologia Genética, um movimento que perpassa explicitamente os terrenos orgânicos e cognitivos. Isto é, se há dialética em Piaget, ela emerge diretamente da Biologia e impõe um caráter específico ao desenvolvimento, seja ele orgânico ou cognitivo. E por fim, a dialética em Piaget preserva plenamente o caráter teleonômico do desenvolvimento, preconizando uma busca por um equilíbrio melhor a cada "volta" da espiral ascendente da equilibração majorante.

3. UM MODELO DE ORGANISMO VIVO

3.1 A adaptação ativa: epigênese e fenocópia

Certa vez, perguntado por Jean-Claude Bringuier se havia retornado à Biologia, Piaget respondeu: "Bem, eu não retornei à Biologia – eu nunca a deixei". E, de fato, a preocupação com a Biologia, com a epistemologia do conhecimento biológico e com as relações da Biologia com a Psicologia estão presentes em toda a obra de Piaget. Mas, apesar da resposta um tanto irônica, a pergunta de Bringuier guarda algum sentido. Desde os anos 30, a obra de Piaget se concentrara nas questões da Psicologia e da Epistemologia. A Biologia certamente estava lá, tanto como um pano de fundo quanto nos experimentos que Piaget nunca deixou de realizar. Mas é a partir do artigo "Biologie et Connaissance" (Jean Piaget, 1966) , um resumo das conclusões do livro de mesmo nome que seria publicado no ano seguinte (Jean Piaget, 2003), que Piaget passa a tratar de forma mais focalizada dos problemas centrais da Biologia, em especial dos problemas da adaptação e da evolução. Se a continuidade entre as estruturas orgânicas e cognitivas será o tema de fundo de "Biologia e Conhecimento", em "Adaptação vital e psicologia da inteligência" (Jean Piaget, 1974a) Piaget vai se concentrar especificamente no problema da adaptação, apresentando um modelo de interação entre organismo e meio capaz de responder tanto pelo funcionamento e desenvolvimento do organismo individual quanto da evolução das espécies.

No início desta discussão, Piaget introduz o conceito de fenocópia, o processo através do qual uma característica que aparece inicialmente apenas no fenótipo de indivíduos de uma espécie acaba, ao longo de gerações, por se fixar no (ou ser "copiada" pelo) genótipo:

> "O termo fenocópia designa, correntemente, a produção de uma modificação somática ou variação não hereditária (e portanto fenotípica), que imita de forma bastante precisa as características morfológicas de uma mutação ou variação hereditária (e portanto genotípica). Mas se está de acordo, em geral, que a formação destas variações fenotípicas momentâneas precede no tempo a [formação] da mutação correspondente."[19]. (Jean Piaget, 1974a, p. 5)

19 "On désigne couramment sous le terme de « phénocopie » la production d'une somation ou variation non héréditaire (donc phénotypique) qui imite, selon une correspondance assez précise, les caractères morphologiques d'une mutation ou variation héréditaire (donc génotypique). Mais on s'accorde en général à considérer la formation de cet accommodat comme ayant précédé dans le temps celle de la

Alguns aspectos dessa definição merecem ser discutidos. Em primeiro lugar, como Piaget menciona a seguir, o termo "fenocópia" pode dar margem a alguma confusão, visto que a produção fenotípica aqui precede no tempo uma fixação genética ou uma mutação. O fenótipo não poderia "copiar" uma mutação que só ocorrerá posteriormente. Em nota de rodapé, Piaget observa que Konrad Lorenz propôs o termo "genocópia" para um fenômeno em todo similar por ele observado entre espécies de patos, a fixação hereditária de certos comportamentos.

Como anota Francisco Sardo, tradutor dos capítulos sobre Epistemologia da Biologia em "Lógica e Conhecimento Científico" (ver a nota do tradutor à página 237 daquela obra), a palavra "acommodat" não tem uma tradução precisa ou consagrada na literatura científica em português. Portanto, cabe usar a definição que Piaget dá a tal termo em "Biologia e Conhecimento", "variações fenotípicas momentâneas".

Mas em qualquer caso, é importante observar que Piaget usa "acommodat" para se referir à fenocópia e este uso é preciso: uma fenocópia só o será se as pressões do meio que levaram a ele se sustentarem até que a modificação do genótipo a torne hereditária. Dito de outra forma, a fenocópia só pode ser reconhecida enquanto tal a posteriori. Variações fortuitas do meio que desapareçam rapidamente (no espaço de uma ou duas ou poucas gerações) podem até forçar determinadas adaptações fenotípicas, mas não serão fixadas no genótipo e não serão, portanto, "copiadas". Mas veremos em capítulos posteriores que tal adaptação, levada a cabo por mecanismos intracelulares, pode ter repercussões transgeracionais importantes, mesmo antes ou até sem a fixação final no genoma.

O grande interesse da fenocópia é a questão que ela nos coloca, como o mecanismo endógeno de modificação genética pode convergir para a modificação fenotípica, apesar de todos os níveis de intervenção ambiental que separam os dois estratos. Ou mais precisamente, como uma mutação ou grupo de mutações pode se dar nos locus e das formas exatas necessárias para que a variação fenotípica se torne geneticamente herdada.

Piaget examina a seguir a relação entre o genótipo e o sistema epigenético. O sistema epigenético, como vimos antes, é o nome dado por Waddington ao processo de desenvolvimento do zigoto em organismo adulto, nas palavras de Piaget, "as interações entre o meio e as sínteses bioquímicas em que consiste o crescimento regulado pela programação genética". O influente biólogo Ernst Mayr chamou este mesmo sistema de

mutation correspondante"

“epigenótipo”, nos diz Piaget.

A primeira questão que se coloca é a da função do meio durante a epigênese. Piaget lembra que o genoma tem duas funções fundamentais, assegurar a transmissão hereditária da informação contida no DNA, determinando assim as características das futuras gerações, e impor a mesma estrutura ao organismo individual durante seu desenvolvimento:

> “...por intermédio dos RNAs, etc, ele [o genoma] garante deste modo a síntese de proteínas segundo uma programação inata, que é assim aquela de seu DNA; e isto seguindo uma direção centrífuga, mas segundo uma configuração minuciosa, abarcando todos os níveis (célula germinal, conexões intercelulares, tecidos e órgãos), regulações múltiplas e delicadas, em particular alostéricas (através de mediadores que asseguram o ajuste espacial), e envolvendo a colaboração constante de todos os genes em uma operação conjunta.” [20] (Jean Piaget, 1974a, p. 13)

A visão cibernética aqui se torna fundamental. Os mecanismos de regulação que governam o crescimento, já presentes desde o início na célula germinal, vão se estender por todo o processo de desenvolvimento, tanto espacial quanto temporalmente. À medida que organismo se desenvolve, novos mecanismos surgem para dar conta da complexidade acrescentada a cada nível, interna e externamente. Dito de outra forma, cada novo nível construído durante o processo de desenvolvimento requer a regulação e o controle de seu próprio funcionamento interno, mas também impõe ao todo do organismo a regulação e o controle da interação entre este novo nível e os níveis inferiores e, posteriormente, com os níveis superiores. A imagem do organismo vivo como um sistema de níveis hierárquicos em constante interação entre si, com o todo e com o meio será importante para o entendimento do modelo de adaptação proposto por Piaget posteriormente.

Piaget descarta rapidamente a possibilidade de um pré-formismo, no qual a interação com o meio é uma via de mão única, o ambiente apenas fornecendo os materiais para uma construção já pré-determinada e imutável.

20 « ...par l'intermédiaire des ARN, etc, il assure ainsi la synthèse des protéines selon une programmation innée, que donc celle de son ADN; et cela selon une direction centrifuge, mais avec un réglage minutieux comportant à tous les niveaux (cellule germinale, connexions intracellulaires, tissus et organes) des régulations multiples et délicates, en particulier allostériques (avec médiateurs assurant les ajustements spatiaux), et impliquant une collaboration constante de tous le gènes en une activité concertée. »

O organismo certamente reage ao meio, e essa reação produz fenótipos diferentes em meios diferentes. Tais variações fenotípicas podem ser encaradas de duas formas: como "defeitos" ou "imperfeições", as imposições do meio impedindo o desenvolvimento pré-estabelecido no genoma, como quereriam os pré-formistas, ou como uma "resposta" do genoma às pressões externas.

Mas o meio não induz resposta direta do genoma (estamos ainda no contexto da epigênese, o desenvolvimento embrionário) e uma modificação neste último para produzir o fenótipo adaptado, pois nesse caso estaríamos apenas invertendo o quadro "pré-formista" e substituindo-o por uma situação "lamarckista" de modificação direta do genoma pelo meio.

Resta, diz Piaget, uma única possibilidade: "...não resta outra possibilidade senão interpretar a ação do meio e a "resposta" do genoma como situadas ambas em um certo nível da síntese epigenética". Entre a célula germinal e o estado adulto se interpõem inúmeras etapas e níveis hierárquicos (comparáveis, diz Piaget, a uma espécie de estádios). As sínteses que compõem estas etapas são dirigidas pela informação genética, mas com a integração contínua de contribuições do meio externo, cuja influência é mais presente e mais significativa quanto mais próxima dos níveis superiores. Isso leva a duas possibilidades: ou a influência do meio não muda nada e o desenvolvimento segue sem desvios o caminho indicado na programação hereditária ou há divergências e oposição entre a ação exógena do meio e o processo endógeno das sínteses epigenéticas. Quando este processo se modifica, reagindo e se acomodando às pressões externas, modificando assim a construção epigenética em um determinado nível, sendo este processo dirigido pelo genoma, tal reação pode então ser chamada de "resposta do genoma".

E tal resposta ocorre de maneira em tudo similar àquela elaborada por Piaget décadas antes, em "O Nascimento da Inteligência na Criança"(ver página 5 e seguintes, acima), no âmbito de um processo de equilibração: cada nível da síntese e do organismo é caracterizado por uma série de regulações, cadeias de reações causais, tanto interna quanto externamente. É necessário que, dentro de cada nível, o conjunto de reações formem um sistema aberto mas ao mesmo tempo fechado em um ciclo, algo no seguinte formato:

$(A \times A' \rightarrow C) \ldots (Y \times Y' \rightarrow B), (B \times B' \rightarrow Z), (Z \times Z' \rightarrow A),$

onde A', B'...Y', Z' são alimentos exteriores e A, B, C...Z os elementos do próprio ciclo.

Se o meio se modifica e não oferece mais A', mas sim A", há duas possibilidades: ou

o ciclo se desfaz, o crescimento é bloqueado e o organismo morre; ou a modificação é aceitável, com a condição de haver uma modificação interna: a mudança de A' para A" faz com que A se modifique em A2, mas A2 X A" continua a produzir C:

> "Em outras palavras, a resposta endógena, se positiva, constitui uma acomodação do sistema à nova situação exterior (o meio), mas conservando ao máximo sua coerência cíclica."[21] (Jean Piaget, 1974a, p. 17)

Essa acomodação é conservadora e mesmo limitadora, diz Piaget, pois exclui as variações inaceitáveis e tenta manter o máximo possível das sínteses "normais". Entretanto ela também é dinâmica e inovadora, pois garante o ajuste do sistema a condições novas e imprevistas. Claro, aqui ainda não se disse nada sobre o problema da hereditariedade, trata-se apenas da plasticidade da resposta genética local.

A grande variação genotípica entre indivíduos da mesma espécie, adaptados a meios diferentes, conduz à questão das normas de reação do genoma. A mudança de uma variável V no meio externo em V1, V2, V3, etc, conduz à formação dos caracteres fenotípicos F1, F2, F3, respectivamente. As normas de reação permitem determinar os limites tolerados por um genótipo, limites que não podem ser ultrapassados exceto se novas variações genotípicas surgirem (caso em que são construídas novas normas de reação e novos fenótipos).

Temos assim duas tendências antagônicas em ação dentro do próprio processo epigenético: a tendência a seguir a programação do genoma, a buscar sempre os creodos e compensar ou anular os desvios de trajetória, mantendo um equilíbrio dinâmico, uma homeorrese; e a flexibilidade ou plasticidade do processo, que permite aceitar em parte as modificações impostas pelo meio.

As variações fenotípicas possíveis no desenrolar do processo epigenético são, portanto, bastante complexas. Piaget identifica duas questões centrais: primeiro, é preciso reconhecer que tais variações não ocorrem da mesma forma nos mesmos níveis dos organismos e nos mesmos momentos da epigênese. Variações nos níveis superiores, na formação dos órgãos, estão sujeitas a uma maior influência do meio, incluindo também a influência de comportamentos. Mas nas variações nos níveis inferiores, nos

21 « En d'autres termes, la réponse endogène, si elle est positive, constitue bien une accommodation du système à la nouvelle situation extérieure (milieu), mais conservant au maximum la cohérence cyclique de celui-ci. »

tecidos, nas conexões celulares, etc, a influência da regulação hereditária é cada vez mais decisiva e a do o meio externo vai se tornando cada vez mais sutil, reduzindo-se a mensagens desencadeadoras sem muita orientação diretiva.

Em segundo lugar, cabe também examinar a natureza do novo equilíbrio alcançado pelas variações no processo de desenvolvimento. A distinção fundamental será entre uma simples conservação dos ciclos, que tende a retornar ao estado anterior assim que as pressões externas desapareçam ou se existe uma equilibração com otimização (ou melhora), a busca de uma forma melhor de equilíbrio. Para Piaget, quanto mais otimizado o fenótipo, quanto melhor o equilíbrio alcançado, menor será probabilidade de surgimento de uma fenocópia, visto que a própria variação fenotípica terá resolvido o desequilíbrio original.

Estabelecido que a influência do meio se dá de forma diferente em cada nível das sínteses epigenéticas, sendo mais e mais formadora nos níveis superiores, exigindo ali mais plasticidade do programa genético, e mais sutil, apenas desencadeadora, nos níveis mais básicos, cabe examinar as formas de equilíbrio exigidas pelo processo. De um lado, há o equilíbrio entre as pressões do meio e as sínteses, que predomina nos níveis superiores, como a formação dos órgãos. Porém há outra forma necessária de equilíbrio, que predomina nos níveis originários mas engloba todos os níveis: o equilíbrio referente às interrelações entre os níveis da síntese.

Cada nível, desde os processos intracelulares até a formação dos órgãos e sistemas de órgãos, apresenta suas regulações internas particulares. Entretanto, é também necessário que haja um equilíbrio entre as regulações e o funcionamento de cada nível e aqueles inferiores e superiores a ele:

> "…para que um fenótipo se constitua e seja portanto aceitável em função da norma de reação do genótipo em questão, é necessário que a modificação adaptativa alcance um equilíbrio, não somente em relação às sínteses endógenas do nível em jogo, mas também em relação ao conjunto de inter-regulações que unem os diferentes níveis uns aos outros."[22] (Jean Piaget, 1974a, p. 27)

Ora, estas modificações fenotípicas acontecem através de tentativas ou ensaios,

22 « …pour qu'un phénotype se constitue et soit donc acceptable en fonction de la norme de réaction du génotype considéré, it est nécessaire que la modification accommodatrice atteigne un équilibre, non seulement par rapport aux synthèses endogènes du niveau en jeu, mais encore par rapport à l'ensemble des inter-régulations reliant les différents niveaux les uns aux autres. »

explorando as possibilidades vindas da plasticidade do programa genético e estão submetidas a seleções, que vão determinar o êxito ou fracasso da modificação proposta. Mas com uma distinção importante quanto às duas formas de equilíbrio citadas acima: enquanto no caso do equilíbrio entre as modificações adaptativas e o meio a seleção será exterior, no caso do equilíbrio entre as variações fenotípicas e o sistema de interregulações epigenético ocorre o que se pode chamar de seleção orgânica.

Na seleção orgânica, termo devido a Baldwin (Baldwin, 1896), os fatores de seleção são as próprias regulações endógenas e o entorno interior da modificação. A seleção se dá pela menor ou maior capacidade adaptativa daquela mudança fenotípica ao sistema de regulações entre os diversos níveis do organismo e também, especialmente, pelas pressões advindas dos níveis imediatamente acima e abaixo daquele onde a modificação ocorre. Ou seja, na seleção orgânica, é o próprio sistema de interação interno do organismo o maior responsável pela determinação do sucesso ou fracasso de uma modificação fenotípica qualquer.

A hipótese de Piaget então será que uma fenocópia (isto é, a fixação genética de uma modificação antes apenas fenotípica) só ocorrerá quando a modificação fenotípica não restabelece ou obtém um equilíbrio ótimo (considerando os dois tipos de equilíbrio necessários):

> "… que um fenótipo que tenha obtido um equilíbrio ótimo entre as ações do meio e as regulações, incluindo as inter-regulações que caracterizam as sínteses epigenéticas, torna inútil a formação de fenocópias por novos genótipos, enquanto um fenótipo que deixa subsistirem os desequilíbrios internos (que correspondem em particular às formas de equilíbrio do tipo II), só pode abrir caminho para variações genotípicas que se orientem na direção das regiões nas quais o sistema funciona mal e nas quais um *scanning* com seleção orgânica ou interna resolverá os problemas para os quais o fenótipo não pode encontrar uma solução completa."[23] (Jean Piaget, 1974a, p. 29)

23 « … qu'un phénotype ayant réalisé un équilibre optimal entre les actions du milieu et les régulations, y compris les inter-régulations caractérisant les synthèses épigénétiques, rend inutile la formation de phénocopies par de nouveaux génotypes, tandis qu'un phénotype laissant subsister des déséquilibres internes (correspondant en particulier aux formes d'équilibre de type II), ne peut qu'ouvrir la voie à des variations génotypiques s'engageant dans la direction des régions où le système fonctionne mal et où un *scanning* avec sélection organique ou interne résoudra les problèmes dont le phénotype n'a pu trouver l'entière solution. »

Para entender essa hipótese é preciso recordar que o processo epigenético se desenrola, a partir da célula germinal, em etapas determinadas e constrói camadas superpostas de complexidade. Estas camadas, ou níveis, mantêm tanto uma regulação interna própria quanto participam de um sistema de interregulações que os liga e se referem à coerência e ao equilíbrio do sistema total. Ora, uma variação fenotípica que se desenvolve em resposta a uma pressão externa só funcionará se mantiver ou restaurar tanto o equilíbrio interno do nível ao qual a modificação se refere quanto o equilíbrio "externo", entre os diversos níveis formados ou em formação no processo de epigênese. Claro que este processo não é binário, uma modificação pode melhorar a situação de desequilíbrio a ponto de permitir um desenvolvimento aceitável sem, no entanto, resolver totalmente o problema, mantendo o organismo ou alguns de seus subsistemas em um estado de desequilíbrio parcial. A hipótese de Piaget então é que uma modificação fenotípica bem sucedida não produzirá uma fenocópia, pois o desequilíbrio gerador terá sido eliminado. Entretanto, se o desequilíbrio for apenas parcialmente solucionado, isto pode eventualmente canalizar mutações e levar a uma fixação genética da solução. É importante lembrar que a necessidade de equilíbrio entre os diversos níveis das sínteses epigenéticas é crucial neste processo. A epigênese começa no genoma e se estende até os órgãos e sistemas, numa hierarquia bem definida. Cada nível e cada elemento deste sistema mantém regulações interrelacionadas com os níveis inferiores e superiores. Entretanto, apenas o genoma tem influência e contato com todos os níveis. Assim, problemas que afetem a autorregulação entre os diversos níveis e não possam ser resolvidos dentro dos limites das normas de reação só poderão ser resolvidos na própria programação genética, pois é apenas ali que o equilíbrio geral do sistema poderá ser restabelecido, uma vez que o genoma é responsável pela regulação epigenética global e pode afetar todas as regulações de todos os níveis das sínteses epigenéticas.

Voltando ao problema da fenocópia, sendo esta concebida como a substituição ou imitação do fenótipo pelo genótipo, e não o contrário, cabe tentar compreender como isso seria possível.

Antes de apresentar seu modelo, Piaget examina as hipóteses possíveis para o surgimento de uma fenocópia:

> "A fenocópia pode dar margem a três classes de interpretações. A primeira é que não há nenhuma relação, a não ser uma relação fortuita, entre o fenótipo e o genótipo correspondente; dito de outra forma, que a

> noção de fenocópia é ilusória e está baseada em simples coincidências. A segunda é que o fenótipo imita ou copia o genótipo, mas neste caso é preciso distinguir entre duas possibilidades, dependendo se a formação do fenótipo precede a do genótipo ou o inverso. A terceira é que o genótipo imita um fenótipo prévio, sem que os termos "imitação" ou "cópia" signifiquem, necessariamente, uma filiação direta." [24] (Jean Piaget, 1974a, p. 41)

A primeira hipótese atribui o fenômeno ao acaso. Algumas vezes, um traço observado apenas no fenótipo se fixará no genótipo através de mutações aleatórias cuja frequência e locus de ocorrência não tem nenhuma relação com a existência anterior daquela adaptação fenotípica. Entretanto, pondera Piaget, se esta convergência se dá pela limitação das variações possíveis no genótipo, isto tira também o caráter puramente aleatório das mutações, pois neste caso é preciso admitir uma integração muito grande no meio interior das células germinais, levando a um quadro similar ao da seleção orgânica. Se um fenótipo é continuamente obrigado a se produzir devido às pressões do meio exterior, e se produz uma fenocópia, mesmo que se postule a ausência de uma ligação direta entre um e outro, a ligação indireta, devida aos desequilíbrios causados pelo meio exterior, é sem dúvida necessária.

Há sempre a possibilidade de uma adaptação estar "imitando" um genótipo existente porém até então inibido ou "adormecido". Ou ainda, que as pressões do meio de alguma forma induzam mutações nos locus que completem o processo de fenocópia. Ou ainda, a solução lamarckista:

> "Novamente existem duas possibilidades: uma das interpretações consistirá m considerar o genótipo como uma simples fixação hereditária do fenótipo, o que equivaleria mais ou menos explicitamente à transmissão lamarckiana de caracteres adquiridos." [25] (Jean Piaget, 1974a, p. 41)

24 « La phénocopie peut donner lieu à trois sortes d'interprétations. La première est qu'il n'existant aucun rapport, sinon fortuit, entre le phénotype et le génotype correspondant, autrement dit que la notion de phénocopie est illusoire et repose sur de simple coïncidences. La seconde este que le phénotype imite ou copie le génotype, mais en ce cas il faut encore distinguer deux possibilités selon que la formation du phénotype précède celle du génotype ou l'inverse. La troisième este que le génotype imite un phénotype préalable, les termes l'« imitation » ou de « copie » ne signifiant d'ailleurs pas nécessairement une filiation directe. »

25 « D'où à nouveau deux possibilités : l'une des interprétations consisterait à considérer le génotype comme une simple fixation héréditaire du phénotype, ce qui reviendrait plus ou moins explicitement à la transmission lamarckienne des caractères acquis. »

Essa solução não é aceitável, diz Piaget, por duas razões (Jean Piaget, 1974a, pp. 48–49). Em primeiro lugar, a causalidade simples concretizada na ação direta do meio sobre o genoma reduz a seleção a uma decisão entre tudo ou nada, sobrevivência ou morte. Por outro lado, a hipótese lamarckiana coloca o organismo em uma posição absolutamente passiva em relação ao meio, sem levar em consideração nem o sistema interno de regulações nem a importância do comportamento e da inteligência.

A solução de Piaget será diferente:

> "...a outra solução, que será a nossa, consiste , pelo contrário, em admitir que a suposta cópia é, na verdade, uma reconstrução fundada na seleção, porém orgânica, visto que o feedback que conduz do fenótipo aos genes reguladores das sínteses não lhes informa o que devem fazer, mas somente [informa] da presença de desequilíbrios, que então desencadeiam variações genéticas por " *scanning*", escolhidas e orientadas pela seleção orgânica."[26] (Jean Piaget, 1974a, p. 41)

É o caso de precisar melhor o que seja a "seleção orgânica". O temos se deve a James Baldwin e ficou na verdade conhecido como "efeito Baldwin" [27]. A seleção orgânica, na acepção de Baldwin, engloba todas as adaptações fenotípicas não hereditárias que ocorrem durante o desenvolvimento de um organismo, devido a pressões do meio. Baldwin (Baldwin, 1896) divide essas adaptações em três grandes classes, relacionadas aos seus agentes indutores. As modificações fenotípicas físico-genéticas se devem a efeitos físicos ou mecânicos tais como agentes químicos, contatos diretos, mudanças de temperatura, etc e são, na maior parte dos casos, fortuitas ou acidentais. As modificações chamadas neuro-genéticas se devem ao funcionamento normal do organismo e à plasticidade do processo de desenvolvimento. A terceira classe de adaptações são as modificações psico-genéticas, englobando todos os comportamentos conscientes ou intencionais, como a imitação, os comportamentos sociais, a aprendizagem, etc.

---

26 « l'autre solution, qui sera la nôtre, consiste par contré à admettre que la soi-disant copie est en réalité une reconstruction fondée sur la sélection, mais organique, le feedback conduisant du phénotype aux gènes régulateurs des synthèses ne le informant pas sur ce qu'il faut faire, mais seulement sur la présence de déséquilibres déclenchant alors des variations génetiques en scanning, triées et orientées par la sélection organique. »

27 A ideia que ficou conhecida como "efeito Baldwin" poderia ser chamada "efeito Baldwin-Morgan-Osborne, tendo sido apresentada quase que simultaneamente e de forma independente pelos biólogos James Mark Baldwin, Conway Lloyd Morgan e Henry Fairfield Osborne em 1895 e 1896 (DEPEW, 2003/2007).

Essas adaptações fenotípicas sofrem também um processo de seleção natural, fazendo com o que os fenótipos mais adaptados se repitam de geração em geração. E especialmente no caso das adaptações psico-genéticas, onde entram em jogo a intencionalidade e a inteligência, essas modificações tendem a se manter no fenótipo. Nas palavras de Baldwin, estas adaptações ontogenéticas acabam por determinar a direção geral das adaptações filogenéticas. Ou seja, eventualmente o fenótipo se fixa no genótipo (Baldwin não especifica o processo de passagem do fenótipo ao genótipo).

Piaget relê a seleção orgânica, tornando-a parte da solução mais complexa que examinamos em maiores detalhes a seguir.

Abaixo procuramos apresentar graficamente o modelo descrito por Piaget no capítulo "O modelo proposto" de "Adaptação Vital" (Jean Piaget, 1974b, pp. 53–70)(PIAGET, 1974, pp. 53–70), enfatizando especialmente sua natureza interativa e a sua formalização em vetores ou relações entre sistemas.

Piaget descreve assim seu modelo:

> "A solução a que chegamos é muito simples, já que consiste em invocar como fatores de canalização das mutações apenas as seleções tanto exteriores bem como, e principalmente, orgânicas, dentro do contexto e do meio interno herdados da adaptação, e como causa destas mutações apenas os desequilíbrios deste meio interno e as tentativas de reequilibração que resultam deles"[28] (Jean Piaget, 1974b, p. 53)

A necessidade de adaptação ao meio traduz-se, eventualmente, em mutações no genoma. Mas tais mutações não são, como quer a Biologia clássica, aleatórias. Elas são *canalizadas* por seleções exteriores e principalmente, por seleções *orgânicas.* Tanto o conceito de seleção orgânica quanto o de canalização se devem, em Piaget, a C. H. Waddington, a quem devemos também o conceito moderno de epigênese. A seleção orgânica é aquela originada no meio circundante imediato daquele órgão ou sistema ou gene que está sob pressão seletiva. Esta seleção próxima tem por resultado a canalização, isto é, a fixação de *locus* preferencial de mutação. Note-se que nem Piaget nem Waddington propunham que as pressões externas de alguma forma comunicavam, de forma estruturada ao genoma, qual deveria ser a modificação necessária para dar

28 « La solution à laquelle nous somme parvenu est très simple, puisqu'elle consiste a n'invoquer comme facteurs de canalisation des mutations que des sélections soit extérieures soit surtout organiques dans le cadre et le milieu interne hérités de l'acommodat et comme cause de ces mutations que les déséquilibres de ce milieu et les essais de rééquilibration qui en résultant. »

conta do desequilíbrio encontrado. Muito pelo contrário, o próprio desequilíbrio é a mensagem, e sua permanência a indicação de que o problema não foi resolvido. Isto seria o suficiente para canalizar a mutação para o local correto. Observe-se também que a linguagem de Piaget aqui é paralela à utilizada em "A Equilibração das Estruturas Cognitivas". Isto é, as adaptações orgânicas estariam submetidas exatamente às mesmas formas de funcionamento das adaptações cognitivas.

A primeira parte do modelo fala da construção sintética normal:

> "Um primeiro movimento ou vetor, que designaremos com a seta ↑a é aquele da construção sintética normal, de acordo com a programação hereditária: este movimento ↑a sai, portanto, do DNA do genoma, passa aos RNA, ao sistema completo da célula germinal com suas regulações de todas as classes (alostéricas e macrocelulares), e se transmite às conexões intercelulares, aos tecidos, aos órgãos e alcança, por último, o comportamento reativo e a sensibilidade, cada um destes sistemas comportando suas próprias leis de totalização ou de autorregulação, além das regulações intersistêmicas, que são fundamentais". (Jean Piaget, 1974a, p. 57).

A Figura 5 mostra esquematicamente estes vetores de construção sintéticas, que chamamos aqui de vetores epigenéticos.

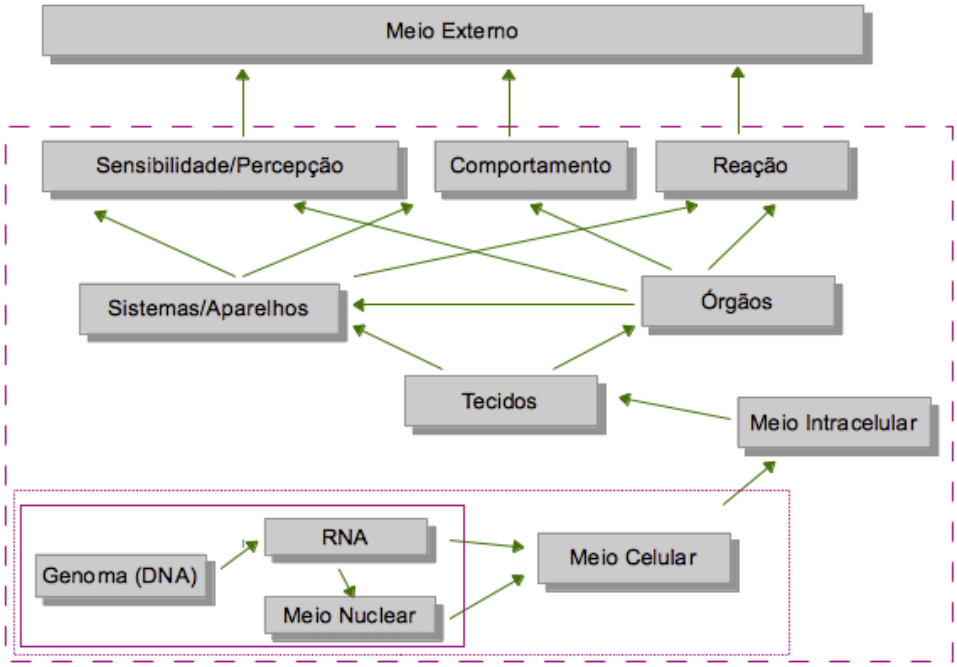

Figura 5: Os vetores epigenéticos (↑a)

Um segundo grupo de vetores representa as pressões impostas pelo meio:

> "Consideramos, além disto (e novamente de forma global), como um segundo vetor ↓b sentido inverso, o conjunto das modificações exógenas impostas pelo meio". (Jean Piaget, 1974a, p. 57)

A Figura 6 representa estes vetores, que chamaremos de vetores exógenos.

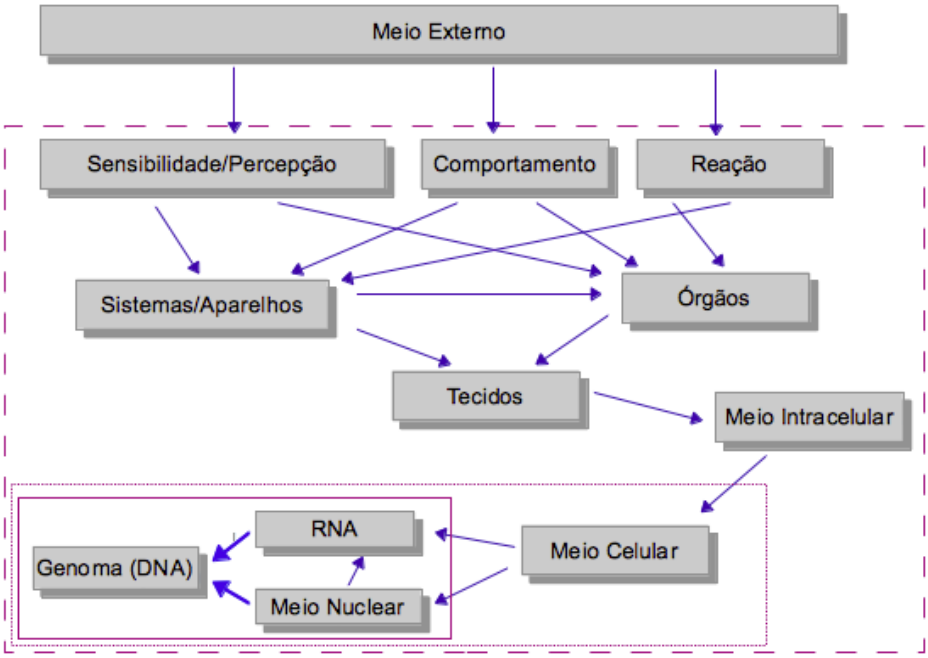

Figura 6: Os vetores exógenos (↓b)

Sobre os vetores exógenos, Piaget faz a seguir uma observação fundamental:

> "Mas é essencial precisar (e toda a nossa interpretação implica nesta limitação fundamental) que, ainda que os vetores ↑a concretizem a tradução de formas já construídas, posto que estão inscritas na informação do DNA, os vetores ↓b não contém nenhum programa, e são pura e simplesmente a sinalização, através de retroações, da existência de oposições e desequilíbrios". (Jean Piaget, 1974a, p. 58)

Ou seja, a resistência ou oposição do meio à construção epigenética "normal" não implica em uma comunicação estruturada ou em mensagens precisas, caso em que se caracterizaria um cenário correspondente ao modelo de adaptação de Lamarck, mas

apenas acarreta a propagação de desequilíbrios entre os diversos subsistemas do organismo.

Estes desequilíbrios forçam a busca, pelo organismo, de alternativas. Essa busca se concretiza no surgimento de um terceiro grupo de vetores, que chamamos vetores de reação, representados na Figura 7.

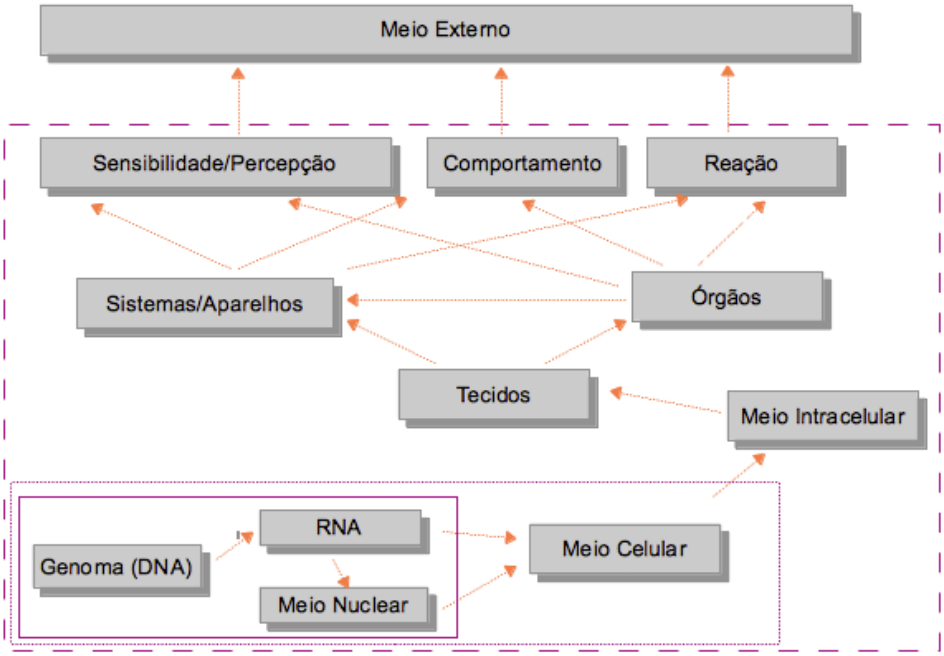

Figura 7: Os vetores de reação (↑c)

Nas palavras de Piaget:

> "...[os vetores exógenos] apenas intervêm desencadeando os ensaios exploratórios que denominaremos vetores ↑c. Dito de outro modo, os caracteres x', y' e z' são o produto da conjunção (↓b) X (↑c) e de forma alguma o [produto] de uma pré-formação programada pelo ambiente e transmitida pelos vetores ↓b" (Jean Piaget, 1974a, p. 58)

Isto é, a conformação final de um organismo depende da interação entre a programação genética, as pressões ambientais e a capacidade de reação ou adaptação do organismo a tais pressões. O ser não é dado nem pela programação inata de seu DNA nem por seu ambiente externo.

3.2 Além da síntese: comportamento e evolução

Em “Comportamento, Motor da Evolução” Piaget examina uma série de propostas descartadas pela Teoria Sintética da Evolução tal como defendida pelos principais evolucionistas de sua época (Huxley, 1942; Mayr, 1982).

Em capítulos sucessivos, Piaget trata das ideias de Lamarck, da seleção orgânica (o “efeito Baldwin”), das descobertas da etologia sobre o papel do comportamento na evolução, da assimilação genética demonstrada por Waddington (posteriormente assimilada à Teoria Sintética sob o nome de canalização) e das ideias de Weiss sobre a hierarquia dos sistemas para, a seguir, apresentar uma visão coerente da influência do comportamento aprendido sobre o genótipo e sobre a evolução das espécies.

Ao retomar e examinar cuidadosamente ideias descartadas pela ortodoxia, ao explorar os limites da Biologia corrente de sua época, Piaget não busca afrontar o *establishment* científico mas sim fazer ciência na sua mais pura concepção. Ele vai tentar determinar para além do discurso fácil da unanimidade quais elementos daquelas teorias desacreditadas pela ciência oficial podem ser úteis para uma construção alternativa, sempre baseando sua decisão na análise racional à luz dos fatos observáveis e de experimentos reproduzíveis.

Tome-se Lamarck, cuja teoria por um lado apresenta *insigths* muito interessantes sobre a relação entre o comportamento e a formação dos órgãos mas peca em considerar o comportamento um fenômeno unicamente externo, determinado exclusivamente pelo meio. Como diz Piaget, “ Estas dificuldades [em definir as causas do surgimento de um comportamento] provêm inteiramente da sua interpretação empírica do comportamento, concebido apenas como determinado pelo meio, sem fatores endógenos que fossem homogêneos com os de organização” (Jean Piaget, 1977, p. 29).

Baldwin, que era também psicólogo, “procura completar (mas não contradizer) o darwinismo através da noção de 'seleção funcional' e sobretudo 'orgânica'” (Jean Piaget, 1977, p. 34) . Em uma leitura contemporânea, o “efeito Baldwin” propõe que em determinadas condições os comportamentos aprendidos afetam a direção e a velocidade da evolução por seleção natural. Uma herança cultural através de um número indeterminado de gerações criaria um espaço no qual seria possível que o

comportamento aprendido se convertesse em adaptações genéticas (DEPEW, 2007, p.3). Piaget, comentando os textos de Baldwin em 1974, observa que Baldwin falha em ligar a nova acomodação representada por um comportamento inédito provocado por mudanças no meio a modificações correspondentes no meio interior e é insuficiente para explicar o processo de fenocópia (Jean Piaget, 1977, pp. 38–39).

O efeito Baldwin tem sido objeto de controvérsias desde sua proposição, sendo sucessivamente descartado e revivido inúmeras vezes ao longo do último século. Para uma revisão mais recente ver, por exemplo, (Young, 2013).

Em um artigo de 1953, C. H. Waddington (Waddington, 1953) relata um caso de assimilação genética em uma população da mosca de fruta *Drosophila megalogaster*. Pupas submetidas a altas temperaturas durante quatro horas desenvolveram uma quebra na veia transversal posterior. Após algumas gerações, o efeito fenotípico começou a surgir em indivíduos não submetidos às altas temperaturas durante o desenvolvimento. Depois disto o fenótipo se fixou em algumas linhagens e apareceu de forma consistente em indivíduos que se desenvolveram a temperaturas normais e mesmo em temperaturas abaixo do normal. Piaget observa que a explicação para o fenômeno de assimilação genética, incorporado à teoria através da canalização genética (tendência do genótipo a estabilizar o fenótipo dentro de determinada faixa de variação), exige que o genótipo contenha já genes alelos para as alternativas assimiladas (Jean Piaget, 1977, pp. 61–74). Mas é importante reter o fato de que este processo já mostra de forma conclusiva a influência direta do meio externo e da epigênese sobre o genoma.

Piaget examina a seguir as ideias de Paul Weiss (Jean Piaget, 1977, pp. 75–89), especialmente a visão do genótipo como uma parte integrante de uma estrutura maior que começa nos genes, passa pelo sistema epigenético que comanda o desenvolvimento e termina no próprio ambiente em que o organismo se desenvolve. O acréscimo fundamental aqui é a visão do organismo como "sistema", composto de partes em constante interação entre si e entre si e o todo. Diz Piaget:

> "Compreendemos agora o que significa a origem de um carácter inato na perspectiva de P. Weiss: ela não está contida em certos genes por si sós, mas consiste num processo que, começando neles, engloba

> ainda um sector determinado da epigênese com o qual os genes estão em interação e apresenta no seu trajeto uma certa unidade que o distingue dos outros, com os quais pode aliás se combinar." (Jean Piaget, 1977, p. 87)

A ideia central aqui é, vale repetir, a criação de novidades genéticas pela interação entre diversos subsistemas de um sistema maior, este último englobando desde o genoma até o ambiente que contém o indivíduo. Mais ainda:

> "Sucessos tão surpreendentes como os dos instintos e da inteligência só podem ser explicados de duas maneiras, se se rejeitar a generalidade das origens aleatórias canalizadas apenas pela seleção-sobrevivência (hipótese que desvalorizaria o próprio conhecimento científico): um constante adivinhar profético da parte de genômios chamados a prever a adequação dos seus produtos aos mais diferenciados meios, ou interações entre as diversas etapas da organização, e trata-se agora de saber em que é que essas interações podem consistir no caso dos comportamentos mais simples." (Jean Piaget, 1977, pp. 88–89)

Ao final da obra aqui examinada, Piaget constrói uma visão interativa do processo evolutivo, assentada no papel fundador do comportamento dos organismos como fonte de inovações. O comportamento agrega três características que o habilitam a este papel: sua finalidade, suas adequações especializadas e o papel particular das seleções exercidas pelo meio interno (intermediário entre o meio exterior e a orientação de novas variações).

Sobre a finalidade, Piaget já havia definido nas primeiras linhas desta obra o comportamento como "o conjunto das ações que os organismos exercem sobre o meio exterior para modificarem os seus estados ou para transformarem a sua própria situação, em relação a esse meio". Condutas sensório-motoras, por exemplo, são comportamentos. Também o são as condutas interiores, como as operações mentais. Mas a respiração (que modifica a atmosfera) ou as contrações musculares não são comportamentos, pois carecem da finalidade explícita e da intencionalidade implícita na definição dada.

Na conclusão, a finalidade é um dos elementos incorporados ao papel do comportamento no processo evolutivo:

> "[…] sendo o comportamento uma ação exercida *sobre o meio* e visando desde a sua ativação atingir um resultado exterior, ele não pode ser assimilado a uma mutação qualquer, que se produza com toda a independência em relação ao ambiente, que este aceitará ou rejeitará tardiamente tendo em vista os resultados não previstos no programa." (Jean Piaget, 1977, p. 167)

Segue que um comportamento exige informações detalhadas sobre o meio onde ele vai se dar, não podendo (a menos que retornemos à mais simples leitura empiricista de Lamarck) ser gerado aleatoriamente. Pense-se aqui nos instintos.

O comportamento também conduz a adaptações por adequação:

> "Donde o segundo aspecto do caráter intrínseco das adaptações do comportamento: é conduzir a um " *saivor-faire*" isomorfo a um sistema cognitivo. […] a adaptação por adequação seleciona os ensaios ou ações em função de seu sucesso, sendo esse sucesso relativo às finalidades perseguidas. Ora, embora estas resultem sempre em conservações e sobrevivências, são além disso ricas em acomodações particulares e sobretudo cheias de adiantamentos possíveis." (Jean Piaget, 1977, p. 168)

Cabe destacar a analogia que liga o comportamento e por extensão o processo evolutivo, ao sistema cognitivo, analogia a qual já mencionamos logo na introdução.

Por fim, há o aspecto relativo ao meio interior:

> "Para explicar sem ações diretas lamarckianas a ligação entre as condutas específicas ou instintos e as particularidades dos meios sobre os quais agem, podemos recorrer a duas hipóteses: uma é que os comportamentos "elementares" se adquiram no plano fenotípico, e que o meio interior modificado por eles selecione depois as variações dos genes até à produção endógena de uma fenocópia que reconstrua as ações em função desse novo quadro; a outra é que os instintos complexos procedam de uma combinação de genes que compõe entre eles essas condutas "elementares", ultrapassando-os depois através de reforços completivos, o que supõe igualmente uma ação seletiva do meio epigenético." (Jean Piaget, 1977, pp. 168–169)

Piaget conclui, ainda que "a título especulativo", que a evolução se apresenta de duas formas, a forma variativa (aquela proposta na Síntese Moderna) e a organizadora, conduzida pelo comportamento e ligada à totalidade do sistema:

> De fato, se admitirmos esse "dualismo" entre as ações, aliás complementares, de uma dinâmica global e de subconjuntos de "unidades discretas", parece difícil fugir a duas consequências que provêm logicamente (embora, infelizmente, apenas a título especulativo) de uma evolução organizadora, além da variativa, e do papel motor desempenhado pelo comportamento no seio da primeira. (Jean Piaget, 1977, p. 177)

Observe-se que na própria conclusão Piaget deixa claro que aceita plenamente a evolução clássica nos moldes neodarwinistas e apenas acrescenta a necessidade de uma evolução organizadora, agindo em um patamar diferente, para explicar as insuficiências da primeira.

3.3 A teoria dinâmica de Jean Piaget: ação, adaptação, evolução

Como foi dito na introdução, escolhemos determinados conceitos e determinados momentos dentro da obra de Piaget, para tentar traçar um quadro mais ou menos preciso do ser vivo que emerge da Epistemologia Genética. Agora é um bom momento para examinar o ponto ao qual chegamos.

O organismo vivo forma um sistema. Não um sistema qualquer, um sistema hierárquico de níveis em constante interação entre si e com o todo, em constante movimento. No centro deste movimento está a interação com seu meio, adaptando-o e adaptando-se a ele ou, nas palavra de Ramozzi-Chiarottino, nas trocas com o meio:

> "Falar da atualidade da teoria de Jean Piaget é falar sobre suas concepções a respeito das "trocas" do organismo com o meio. Por "trocas com o meio", entenda-se desde aquelas que se operam na digestão dos alimentos até as trocas simbólicas das grandes realizações humanas, dentre elas as das várias linguagens que o homem criou no decorrer de sua história filogenética até a história ontogenética de cada

um.” (Ramozzi-Chiarottino, 2011)

No início destas trocas existem apenas as estruturas iniciais do ser, no limite apenas a célula fertilizada. E junto com as estruturas as duas funções primordiais, assimilação e acomodação. Delas nasce a possibilidade das trocas, nelas se baseia toda a interação.

O organismos se desenvolve, suas estruturas se diferenciam, e a assimilação e a acomodação não mais se dão apenas entre o organismo e o meio externo. Passa a existir a interação necessária das estruturas entre si e de cada estrutura com o todo do organismo.

Essas estruturas se organizam em camadas, em níveis, em distâncias. Cada nova estrutura termina por se tornar o meio externo imediato das estruturas que a compõe. Assim, o meio nuclear tem por meio o citoplasma da célula onde flutua. A célula, o meio intracelular que a liga a outras células do mesmo tecido. Os tecidos, os órgãos que compõe. Os órgãos, os aparelhos dos quais fazem parte. Estes, outros aparelhos ou o meio externo.

Assimilação e acomodação, inicialmente indiferenciadas, se separam em forças diferentes, por vezes contrárias. A assimilação dos elementos do meio gera desequilíbrios a serem resolvido pela acomodação.

Os desequilíbrios não resolvidos se propagam por aqueles diversos níveis do organismo, desde os aparelhos imediatos de contato com o meio externo até, eventualmente, o núcleo da célula germinativa e os genes ali contidos. Se propagam não como mensagens explícitas. Cada nível das estruturas aceita mensagens apenas em seus termos, por assim dizer, e os desequilíbrios não resolvidos nos níveis superiores chegam aos níveis inferiores apenas como uma informação vaga, genérica: algo não vai bem.

A cada nível existe a possibilidade de uma resposta que restaure o equilíbrio, local e eventualmente geral. Se se pensar nos desequilíbrios como forças incitando o organismo à reação, as resposta possíveis de cada nível são novas forças, de sentido contrário, reagindo à pressão externa.

Desta forma o organismo se desenvolve e vive. Seu desenvolvimento da célula-mãe ao organismo adulto, a epigênese como definida por Waddington, é um movimento teleonômico, guiado pelos genes mas em constante movimento. Por vezes, os caminhos de desenvolvimento estão bloqueados, forçando a abertura de novos caminhos até a estrutura final. Ou pelo menos até uma estrutura que possa minimamente dar conta das mesmas funções da estrutura originalmente prevista.

até serem eventualmente acomodados em um deles. Desequilíbrios vindos do meio e impossíveis de resolver levam à morte.

Desequilíbrios levam a respostas fenotípicas. Mantido o desequilíbrio, a resposta fenotípica pode atravessar gerações, cada organismo construindo uma resposta semelhante para pressões equivalentes. Essas respostas podem resolver o desequilíbrio de forma total ou parcial. Se a solução fenotípica para o desequilíbrio encontrado for ótima, a pressão deixa de existir e o sistema orgânico continua funcionando normalmente. Mas se a solução for apenas parcial, o desequilíbrio pode eventualmente levar a uma resposta do genoma, o único nível do organismo capaz de gerar uma resposta sistêmica permanente. Ocorre então um fenocópia, a fixação no genoma de uma característica até então fenotípica.

Se o sistema cognitivo tende, de acordo com Piaget, a uma equilíbrio melhor, a uma equilibração majorante, a acomodação levando a uma nova estrutura que engloba e supera as estruturas anteriores, também a adaptação vai buscar esse equilíbrio melhor. Sendo o organismo vivo um sistema aberto, o processo de adaptação será continuo. A busca do equilíbrio com o meio externo e com cada meio orgânico em cada nível da estrutura viva será uma busca contínua pelo fechamento do sistema.

Esse movimento eterno de reação às pressões do meio, de regulações em movimento e regulações de regulações, de ciclos de retroalimentação em todos os níveis e em todas as estruturas, tanto internamente quanto entre cada estrutura e as outras e cada estrutura e o todo, da margem a um processo dialético de destruição e reconstrução contínua de processos, estruturas e sistemas dentro próprio organismo. Destruição ou silenciamento, reconstrução ou realinhamento, a luta contínua entre as pressões da assimilação e as possibilidade da acomodação acabam por levar a uma espiral de desenvolvimento, a uma busca contínua de um novo equilíbrio em um patamar superior, da reconstrução em outro nível de estruturas e funções antigas.

E todo esse processo exige do organismo, na busca do equilíbrio melhor, a criação de novidades, tanto na ontogênese quanto na filogênese, resultando tanto na adaptação do organismo a seu meio quanto na evolução da espécie ao longo do tempo.

4. A EVIDÊNCIA DA BIOLOGIA CONTEMPORÂNEA

Como Piaget observou e como discutimos anteriormente, as ideias de Darwin e Mendel ofuscaram completamente o que de interessante e produtivo poderia haver nas descobertas e teorias de Lamarck. Na verdade, para além dos fatores estritamente científicos envolvidos, tanto a situação política francesa à época da morte de Lamarck quanto a competição interna no *establishment* científico europeu do século XIX e início do XX colaboraram para que as ideias de Lamarck se tornassem, mais até do que uma simples nota de rodapé na história da Biologia e da Evolução, praticamente um anátema científico, um exemplo de uma teoria comprovadamente errada e posteriormente superada por uma teoria "correta". A teoria de herança direta de comportamentos aprendidos tornou-se, para todos os efeitos práticos, o equivalente na Biologia do modelo geocêntrico de Ptolomeu e Aristóteles.

O uso da acusação de "lamarkismo" para designar qualquer ideia que fugisse do modelo predominante de evolução das espécies prevaleceu por mais de um século após Darwin, por décadas após a formulação da Síntese Moderna. Ainda no início dos anos 70, falando sobre a repercussão das ideias expostas em "Biologia e Conhecimento" no prefácio de "Adaptação Vital", Piaget observava uso de tal acusação:

> "Para vários colegas, as tese expostas naquele livro pareceram manchadas* de lamarckismo, porque insistíamos sobretudo na inverosimilhança de se atribuir ao genoma poderes de síntese extensos e bem organizados, sem que as múltiplas regulações em jogo o informassem dos sucessos ou fracassos destas construções endógenas."[29] (Jean Piaget, 1974a, p. 3)

Observe-se que, em *Biologia e Conhecimento*, Piaget não propôs nada parecido com a herança direta de comportamentos aprendidos, mas sim a possibilidade, mais que isso, a necessidade de uma interação entre a informação genética e meio circundante. Ainda assim suas teses foram consideradas "lamarckistas", talvez por falta de um termo melhor

29 « Pour plusieurs collèges, les thèses exposées en ce livre [Biologie et connaissance] ont paru plus ou moins teintées de lamarckisme, du fait que nous avons surtout insisté sur l'invraisemblance qu'il y aurait à prêter au génome les pouvoirs synthétiques les plus étendus et les mieux organisés, sans que les multiples régulations en jeu le renseignent en retour sur les succès ou échecs de ces constructions endogènes. »

* Piaget usa a palavra "teintées", "coloridas"ou "pintadas" - seguimos as traduções espanhola e americana, que escolhem "teñidas" e "tainted", respectivamente.

para descrever algo que se punha, proposital e declaradamente, entre o neo-darwinismo estrito e o lamarckismo, talvez pela generalização daquela acusação a tudo o que se desviasse da norma aceita.

Piaget não deixa de sublinhar a ironia de tal acusação:

> "Nous espérons que le présent essai, visant à fournir un modèle possible du remplacement de l'exogène par le endogène apparaîtra comme plus acceptable de la part d'un auteur qui a inlassablement combattu l'empirisme sur le terrain épistémologique et par conséquent le pur lamarckisme au plan biologique."[30] (AV, pp. 3)

É perfeitamente óbvio que Piaget esteve, o tempo todo, em confronto direto com o empirismo, tanto no terreno epistemológico quanto nos terrenos da Biologia e da Psicologia.

Na terceira parte da introdução de "O Nascimento da Inteligência na Criança", Piaget examina cinco posições epistemológicas possíveis para a questão das adaptação das estruturas hereditárias. Na época, como menciona Piaget (Jean Piaget, 2008, p. 24) este problema era insolúvel. As várias teorias correntes então se ligavam, de uma forma ou de outra, a visões distintas da Biologia e, por consequência, da Psicologia.

Piaget lista então o lamarckismo, o vitalismo, o pré-formismo, o mutacionismo e o relativismo. A seguir, tomando como exemplo a adaptação do molusco *Limnaea stagnalis* e da variedade encontrada nos grandes lagos, a *Limnaea lacustris,* uma espécie que o pesquisador suíço estudou por décadas, às condições do meio, águas paradas no primeiro caso, águas agitadas no segundo.

Após descartar o lamarckismo, o vitalismo e o pré-formismo, o primeiro por ser facilmente descartado por experiências em laboratório e os dois últimos por sua pura incapacidade explicativa, Piaget examina mais detidamente o mutacionismo e o relativismo.

O mutacionismo pode ser descartado, no caso das limnéias, por duas razões. Em primeiro lugar, há o problema das mutações supostamente fortuitas estarem muito delicadamente localizadas:

> "Em primeiro lugar, se as formas alongadas da espécie não poderiam

30 "Esperamos que o presente ensaio, que visa apresentar um modelo possível para substituição do exógeno pelo endógeno, pareça mais aceitável em um autor que combateu infatigavelmente o em pirismo no terreno epistemológico e, portanto, o lamarckismo puro no terreno biológico."

> subsistir como tais nas regiões lacustres onde a água está permanentemente mais agitada, pelo contrário, os genótipos contraídos podem viver em todos os meios onde a espécie está representada […] Portanto, se se tratasse de mutações fortuitas, esses genótipos deveriam estar indiferentemente espalhados por toda parte; ora, de fato, só aparecem nos meios lacustres e, ainda mais, só nos que estão mais expostos ao vento, justamente onde a adaptação individual ou fenotípica é mais evidente!" (Jean Piaget, 2008, p. 28)

Além disto, a seleção a posteriori não se aplica:

> "Em segundo lugar, a seleção a posteriori é, no caso das limnéias, inútil e impossível, pois as formas alongadas podem dar lugar, elas próprias, a variações contraídas não – ou ainda não – hereditárias". (Jean Piaget, 2008, p. 28)

"Resta-nos", conclui Piaget, "uma quinta e última solução: admitir a possibilidade de adaptações hereditárias que pressupõem, simultaneamente, uma ação do meio e uma reação do organismo...". E esta será a posição que Piaget defenderá por toda a vida. Note-se que ele escreve as palavras acima antes mesmo da publicação das obras seminais que consolidaram a Síntese Moderna neo-darwinista, obras que seriam publicadas apenas a partir do final da década de 30. E escreve baseado não em uma posição filosófica ou ideológica, mas em evidências físicas obtidas em experimentos levados a cabo por ele mesmo e relatados em detalhes em outros momentos (Jean Piaget, 1929).

Como já pudemos verificar anteriormente, Piaget elaborará ao longo dos anos uma teoria interativa e cibernética para a adaptação e a evolução das espécies.

Nas próximas páginas ficará claro o quanto a teoria de Piaget tem sido comprovada nos últimos anos, ainda que pouco ou nenhum crédito lhe seja atribuído.

4.1 A evolução para além dos genes

Em 2006, Eva Jablonka e Marion Lamb publicam "As quatro dimensões da Evolução" (Jablonka & Lamb, 2006), no qual compilam uma longa lista de evidências contra o neo-darwinismo e em favor de uma teoria da evolução das espécies extremamente próxima daquela propugnada por Piaget. Até onde se sabe, as duas biólogas não têm notícia da obra de Piaget e, apesar da extrema semelhança entre aquilo que buscam comprovar e aquilo que Piaget escreveu, é razoável supor que elas chegaram de forma independente ao quadro que apresentam. Não deixa de ser notável a importância da emergência independente, de dentro da Biologia, de uma visão da evolução que em tudo se assemelha àquela proposta décadas antes por Piaget.

A proposta de Jablonka e Lamb, expressa no Prólogo, se resume a quatro afirmações simples:

> "Nós vamos argumentar que:
> - há hereditariedade depende de outros fatores além dos genes;
> - algumas variações hereditárias tem origem não-aleatória;
> - algumas informações adquiridas são herdadas;
> - mudanças evolucionárias podem ser resultado de instruções bem como de seleção[31]." (Jablonka & Lamb, 2005, p. 1 loc 38/5990)

Qualquer destas afirmações sozinha já soaria herética do ponto de vista do neo-darwinismo estrito, ou mesmo aos ouvidos daqueles de nós que tivemos contato com a Teoria da Evolução durante a segunda metade do século XX. As próprias autoras vem de uma tradição "lateral", por assim dizer, tendo ambas começado a insistir na necessidade de uma reformulação da Síntese Moderna no final do século XX, especialmente no que diz respeito à herança e à produção de novidades genéticas. Ver, por exemplo, (Jablonka & Lamb, 1995).

Jablonka e Lamb propõem que a Evolução das Espécies, longe de depender apenas da seleção natural (a posteriori, como enfatizou muitas vezes Piaget) de mutações aleatórias

31 "'We will be arguing that:
- there is more to heredity than genes;
- some hereditary variations are non-random in origin;
- some acquired information is inherited
- evolutionary change can result from instruction as well as selection."

no genoma, perpassa pelo menos quatro grandes dimensões: além da já citada dimensão genética, há a dimensão epigenética (que aqui assume uma definição contemporânea diferente daquela usada por Piaget e Waddington), a dimensão comportamental (ou cultural) e a dimensão simbólica. Cada uma destas dimensões transmite informações às gerações seguintes, de formas diferentes e com consequências diferentes. Algumas destas dimensões estão presentes apenas em algumas espécies: notavelmente, a dimensão simbólica só ocorre na espécie humana. E cada dimensão tem formas diferente de transmissão, desde a informação genética transmitida diretamente à prole até a transmissão simbólica socialmente disponível na sociedade humana, passando por mecanismos epigenéticos intra-celulares e pelo aprendizado cultural presente em inúmeras espécies de mamíferos e pássaros.

Ao final, Jablonka e Lamb levam o leitor a uma visão não da passagem de características orgânicas ou químicas ou mecânicas através das gerações, mas da passagem de informação de uma geração para a seguinte.

A informação pode assumir muitas formas e ser passadas por vários sistemas diferentes. O sistema genético passa informações através do DNA. Essa informação é sobreposta e editadas pela informação contida no sistema epigenético. O ambiente social, a aprendizagem, as tradições e a cultura (no sentido usado pela Etologia, de aprendizados socialmente disponíveis em um grupo de animais e transmitido de geração em geração) usam mecanismos próprios de armazenamento e passagem da informação e se integram aos dois sistemas anteriores. Por fim, o sistema simbólico, presente apenas na espécie humana, cria suas próprias formas de anotação e herança, englobando todos os sistemas anteriores.

A seleção natural, então, vai agir não sobre os genes, mas sobre este sistema integrado e flexível de herança genética, epigenética, cultural e simbólica. Um sistema obviamente cibernético e teleonômico, capaz de reagir ativamente às pressões do meio, indo muito além dos lances de dados de mutações aleatórias e da derivação genética.

Não deveria escapar ao leitor a semelhança deste quadro com a teoria de Piaget descrita anteriormente. A linguagem é diferente, a informação científica é mais atual e precisa, mas o efeito final é o mesmo, a visão de um organismo vivo que se adapta ativamente a seu meio, interagindo com este meio e modificando-o através de seu comportamento intencional.

4.2 Os mecanismos intracelulares de interação genética

Piaget não tinha disponível, em sua época, a tecnologia para recolher evidências sobre processos intracelulares [32]. Suas observações foram feitas a partir de fenótipos observáveis, bem como suas deduções. Isto é, observando o que acontecia com os organismos, Piaget deduziu que deveria existir um processo que transmitisse informações sobre o estado do meio para o aparato genético e permitisse acomodações também neste nível. Deixando claro que este processo não era de forma alguma direto ou "lamarckista", Piaget propôs que o genoma era, sim, capaz de reagir e se modificar em função de eventos externos, tornando a adaptação do organismo ao meio um processo interativo e dependente de feedbacks e pressões que perpassam todo o organismo.

Na época tais ideias e suas consequências foram ignoradas. Como um dos objetivos centrais desta tese é justamente mostrar a teoria de Piaget é compatível com a Biologia atual e então examinar as consequências disto, é essencial examinar o estado do problema hoje.

Em um artigo de 1958, Francis Crick, um dos descobridores da estrutura do DNA, escreve:

> "...uma vez que uma 'informação' seja transferida para uma proteína ela não pode sair da proteína. Detalhando melhor, a transferência de informação de um ácido nucléico para outro ácido nucléico ou de um ácido nucléico para uma proteína pode ser possível, mas a transferência de uma proteína para outra proteína ou de uma proteína para um ácido nucléico é impossível. Informação aqui significa a determinação *precisa* da sequência, quer das bases no ácido nucléico ou dos resíduos de aminoácido na proteína." (Crick, 1958)

O nome dado por Crick a este princípio foi "O Dogma Central da Biologia Molecular" e ele traduz bem o modelo de funcionamento do genoma proposto pela Biologia clássica da Síntese Moderna[33].

---

32 A título de curiosidade, hoje pode-se falar até mesmo em quantificar a "paisagem epigenética" de Waddington. (Wang, Zhang, Xu, & Wang, 2011)

33 Sobre a escolha da palavra "dogma", Horace Judson Freeland registra as palavras de Crick no livro "The Eighth Day of Creation: The Makers of the Revolution in Biology": "My mind was, that a dogma was an idea for which there was *no reasonable evidence*. You see?!" And Crick gave a roar of delight. "I just didn't *know*what dogma *meant*. And I could just as well have called it the 'Central Hypothesis,' or — you know. Which is what I meant to say. Dogma was just a catch phrase." (Freeland, 1996)

A Figura 8 esquematiza de forma simplificada este modelo.

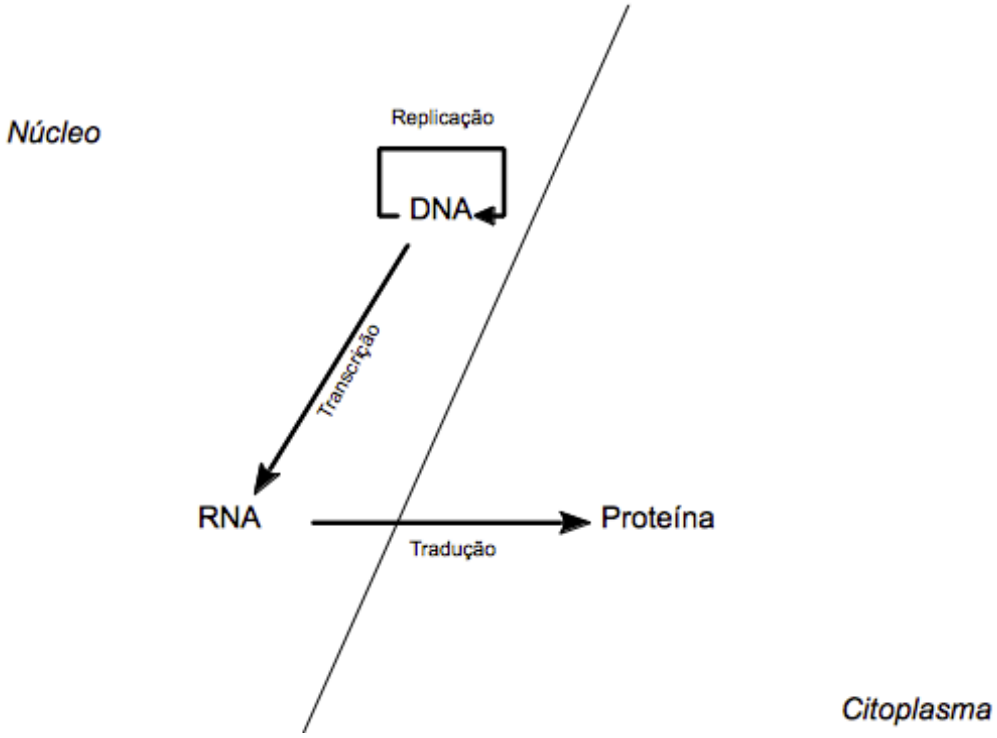

Figura 8: O modelo clássico

A figura acima é certamente familiar a todos que foram apresentados à genética e ao funcionamento da célula durante a segunda metade do século XX. Ali está representado o processo fundamental que leva da informação contida no DNA (DeoxyriboNucleic Acid, ácido desoxirribonucleico) à construção e manutenção de qualquer organismo. É um caminho de mão única, saindo do DNA e levando às proteínas.

O DNA é uma molécula em espiral com dois braços unidos por ligações químicas fracas. Cada braço é uma longa sequência de quatro nucleotídeos: Adenina, Timina, Citosina e Guanina. Um braço também "espelha" o outro de forma definida: uma adenina em um braço sempre se liga a uma timina em outro, uma citosina a uma guanina.

A molécula de DNA pode ser replicada ou transcrita. A replicação cria duas novas moléculas de DNA idênticas à original, e é a base da replicação da célula como um todo (e, portanto, da criação e manutenção de tecidos, órgãos, sistemas).

A transcrição é o nome do processo que cria uma molécula de RNA (RiboNucleic

Acid, ácido ribonucleico) equivalente a uma parte da molécula de DNA. Essa molécula de RNA, representando uma fração específica do DNA original, servirá de "planta baixa" para a criação de uma proteína.

O RNA também é uma molécula linear formada por nucleotídeos, mas com apenas um "braço". No RNA, ao invés da Timina, está presente a Uracila.

A informação para a produção da proteína é então transferida do núcleo da célula para o citoplasma e "lida" por uma estrutura chamada ribossomo, que funciona como uma espécie de "fábrica de proteínas", lendo a informação contida no RNA e traduzindo essa informação na sequência de aminoácidos que formam uma proteína.

O RNA tem uma estrutura mais simples porém equivalente ao DNA, isto é, a transcrição faz a informação mudar de meio, mas preserva a linguagem. No ribossomo, por outro lado, essa informação é traduzida (ou decodificada) de forma a permitir estabelecer uma equivalência entre as partes do RNA e os aminoácidos que formam a proteína. Como existem mais de 20 tipos diferentes de aminoácidos e apenas 4 nucleotídeos diferentes no RNA, o ribossomo "traduz" a informação do RNA estabelecendo uma equivalência entre grupos de três nucleotídeos e um aminoácido específico.

Neste modelo, mudanças na cadeia de nucleotídeos do DNA podem causar mudanças na proteína produzida. Entretanto, o caminho inverso não existe. Modificações sofridas pelas proteínas, causados por erros de tradução, agentes externos do meio ou qualquer outra interferência jamais retornam ao DNA e, portanto, jamais são transmitidas para outras células na divisão celular e, muito menos, para outras gerações na reprodução.

Mas quase que imediatamente após este processo se tornar a ideia dominante entre os evolucionistas, problemas começaram a ser apontados. Um modelo é sempre uma simplificação da realidade. Por vezes, simples demais.

A produção de proteínas ocorre em meio a um ambiente extremamente complexo e está sujeita a inúmeras interferências de outros processos intracelulares. Interferências que afetam todos os processos descritos, tanto no núcleo quanto no citoplasma. Cada forma de interferência já identificada atua sobre determinadas partes desta sequência. Algumas afetam a forma como o RNA é transcrito. Outras afetam a produção de proteínas. Outras atuam diretamente sobre o DNA. E vários destes processos causam mudanças na célula que podem ser transmitidas tanto a células replicadas quanto às gerações futuras.

Mas vamos examinar alguns destes processos

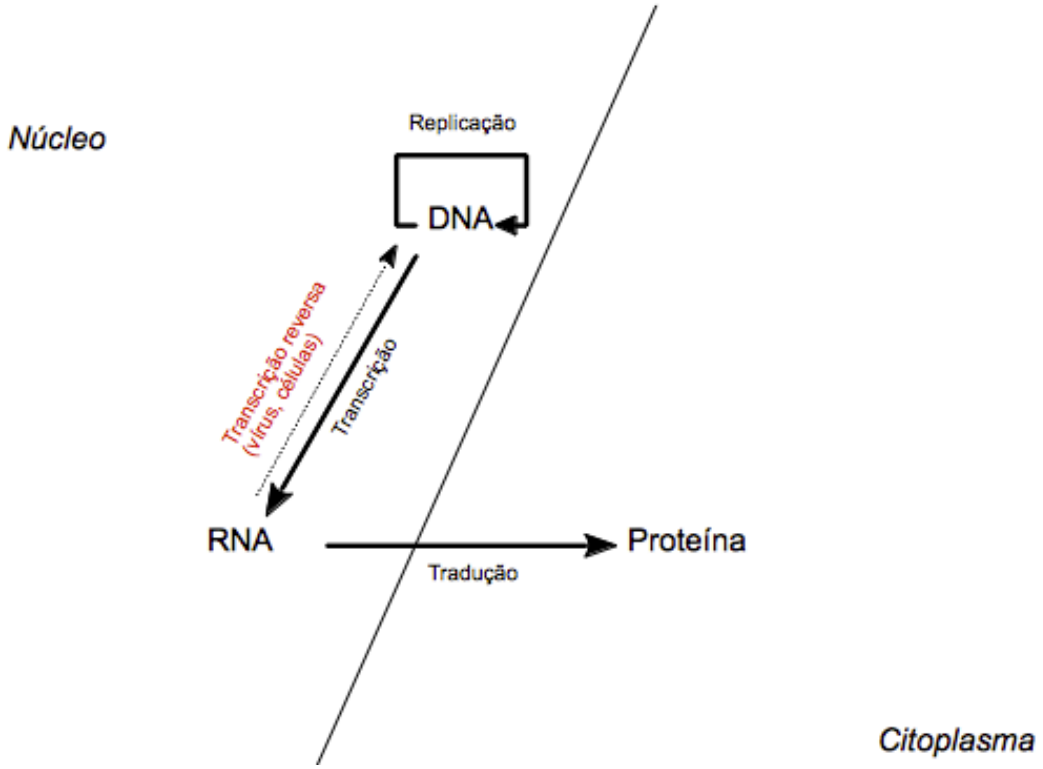

Figura 9: Transcrição Reversa

Em 1970, Howard M. Temin e Satoshi Mizutani revelam o mecanismo usado por determinados tipos de vírus para atacar as células do hospedeiro (Temin & Mizutani, 1970). Grosso modo, através da ação de uma enzima chamada "transcriptase reversa", estes vírus produzem, a partir de seu RNA (muitos vírus contém apenas RNA), pedaços de DNA que são então incorporados ao DNA da célula hospedeira. Como resultado deste processo, a célula passa a ser controlada pelo "DNA viral" invasor e utilizada para produzir novas cópias do vírus. Este processo é encontrado normalmente nos retrovírus, incluindo algum microorganismos bastante conhecidos como, por exemplo, o HIV-1 (responsável pela AIDS).

Nas décadas subsequentes foram identificados vários processos de transcrição reversa, tanto em animais e plantas quanto em bactérias.

Retrotransposons são partes do material genético capazes de se replicar e se mover para outras regiões do DNA. Eles já foram identificados em várias espécies de organismos eucariontes, incluindo a espécie humana, e são abundantes nas plantas. Os

retrotransposons são copiados para o RNA e depois de volta para o DNA, podendo ser reinseridos no genoma por uma transcriptase reversa (codificada pelo próprio retrotransposon). Especula-se que esses elementos podem ser resultado da co-evolução de vírus incorporados ao genoma dos hospedeiros e também que eles possam estar ligados à indução de mutação em *loci* específicos do genoma.

Um outro processo conhecido de transcrição reversa é aquele induzido pela enzima conhecida como telomerase (telomere terminal transferase) . Há um problema na replicação do DNA nos eucariontes: devido à forma como se dá a replicação do DNA, as enzimas responsáveis pela criação da fita complementar não conseguem copiar uma região de 100 a 200 nucleotídeos no final da molécula de uma fita. Isto significa que ao final de cada ciclo de duplicação, o cromossomo seria reduzido. A telomerase adiciona DNA inerte e repetido (nos vertebrados a sequência de nucleotídeos adicionados é sempre "TTAGGG") ao da fita a ser duplicada, impedindo a perda de material genético importante. Esta regiões são chamadas de telômeros e o encurtamento dos telômeros está ligado ao envelhecimento e ao desenvolvimento de determinados tipos de câncer.

Piaget anotou a descoberta de Temin e Mizutani em "Comportamento, motor da Evolução" (Jean Piaget, 1977) e em "Adaptação Vital" (Jean Piaget, 1974b) , observando que na época ainda não se sabia o quão geral seria ser esse mecanismo. A transcrição reversa direta também não era essencial ao modelo de Piaget. De qualquer forma, o RNA guardava mais surpresas.

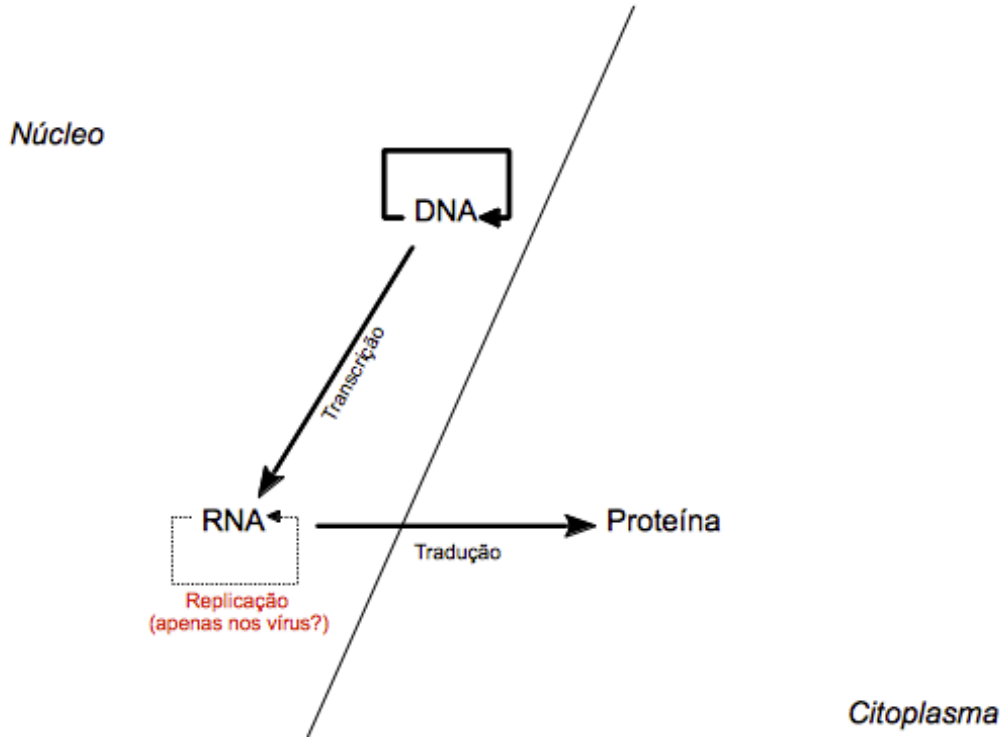

Figura 10: Replicação de RNA

A replicação do RNA não mediada pelo DNA foi descoberta em alguns vírus na década de 60 do século XX, notavelmente no vírus da poliomielite. Esse processo é mediado pela enzima chamada RNA-dependent RNA polymerase (RdRp), também conhecida como RNA replicase.

Além de sua importância nos vírus, esta mesma enzima também está envolvida na amplificação dos RNAi (ou RNAs intereferentes), ou seja, nos processos de defesa celular, de silenciamento e de amplificação da transcrição do DNA.

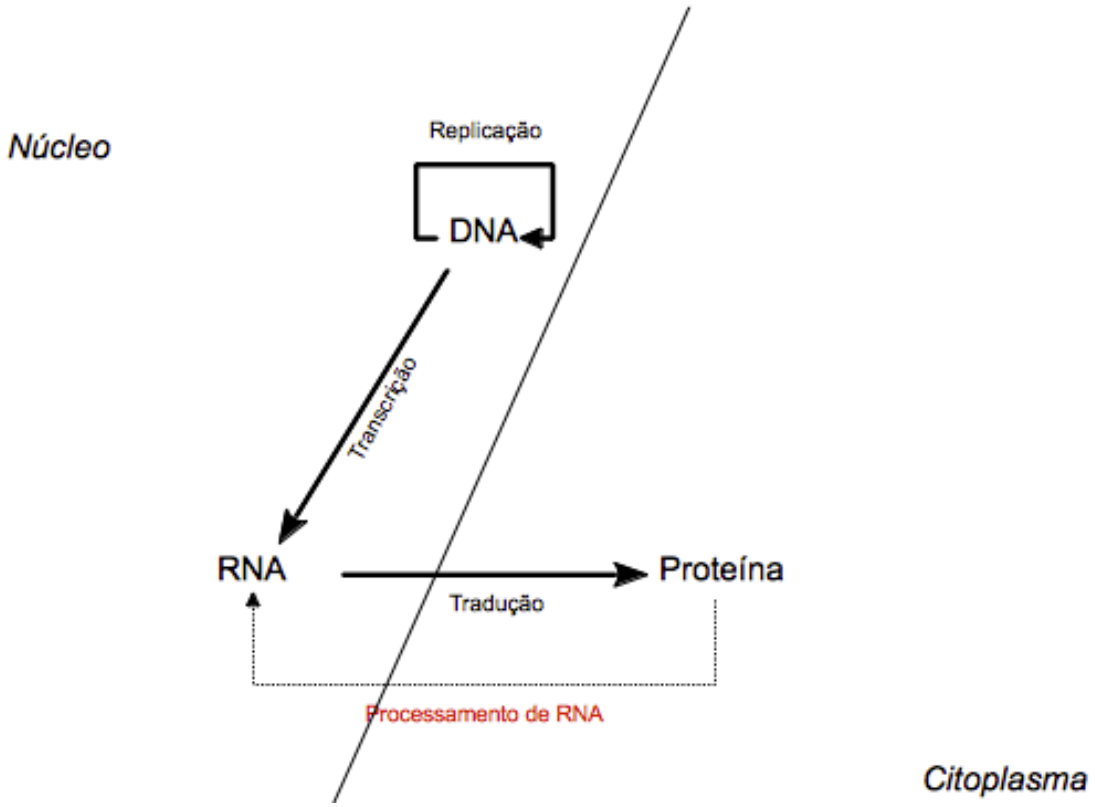

Figura 11: Processamento de RNA

O processamento do RNA é outro fenômeno importante na atividade celular. O RNA mensageiro (mRNA) transcrito do DNA precisa ser processado antes de poder ser utilizado na produção de uma proteína pelo ribossomo. Este processamento ocorre no núcleo e consiste na retirada dos "introns" (regiões do mRNA, correspondentes a regiões do DNA original, mas que não são traduzidas) e na união dos "exons" (regiões do RNA que serão traduzidas em aminoácidos para produzir a proteína correspondente). Esse é um processo normal e necessário nas células eucariontes (e em vários vírus) e é parte importante do funcionamento celular.

Há dois dados que valem a pena serem mencionados aqui a respeito do processamento do RNA.

Primeiro, o mecanismo celular pode produzir, através da "edição" dos exons do mesmo mRNA, inúmeras proteínas diferentes. Ou seja, a mesma sequência genética pode levar à produção de inúmeras proteínas diferentes. Quando se leva em consideração que o genoma humano tem apenas cerca de 20.000 genes codificadores de proteínas, este processo, conhecido como *splicing* alternativo, presente em todos os eucariontes, pode ser extremamente importante na adaptação das espécies. Como a edição está regulada por processos e proteínas cuja presença ou ausência, ativação ou

silenciamento, dependem das condições ambientais da célula, ela também se enquadra na gama de respostas do genoma às exigências do meio. Mais ainda, os mecanismos de regulação da edição de mRNA são herdados e, portanto, parte integrante da cadeia evolutiva das espécies onde este processo ocorre.

Há um segundo aspecto, sobre o qual nosso conhecimento ainda é incipiente, no processamento de RNA. Em 2011, Mingyao Li et alli publicaram uma descoberta interessante (Li et al., 2011) : há diferenças importantes entre a sequência original do DNA no gene e nos exons RNAs correspondentes, isto é, nas regiões do RNA que serão efetivamente utilizadas na produção de proteínas. Os autores não identificaram os processos envolvidos na produção de tais diferenças, mas confirmaram diferenças sistemáticas entre o DNA original e o mRNA correspondente. Além disto, também foi observado que muitos destes RNAs eram efetivamente utilizados na produção de proteínas. Ou seja, não é produzida a proteína codificada no DNA, mas outra, diferente, codificada no RNA. Não é possível ainda identificar o processo que leva a tais diferenças, mas este é um outro campo, ainda inexplorado, de variação da expressão genética.

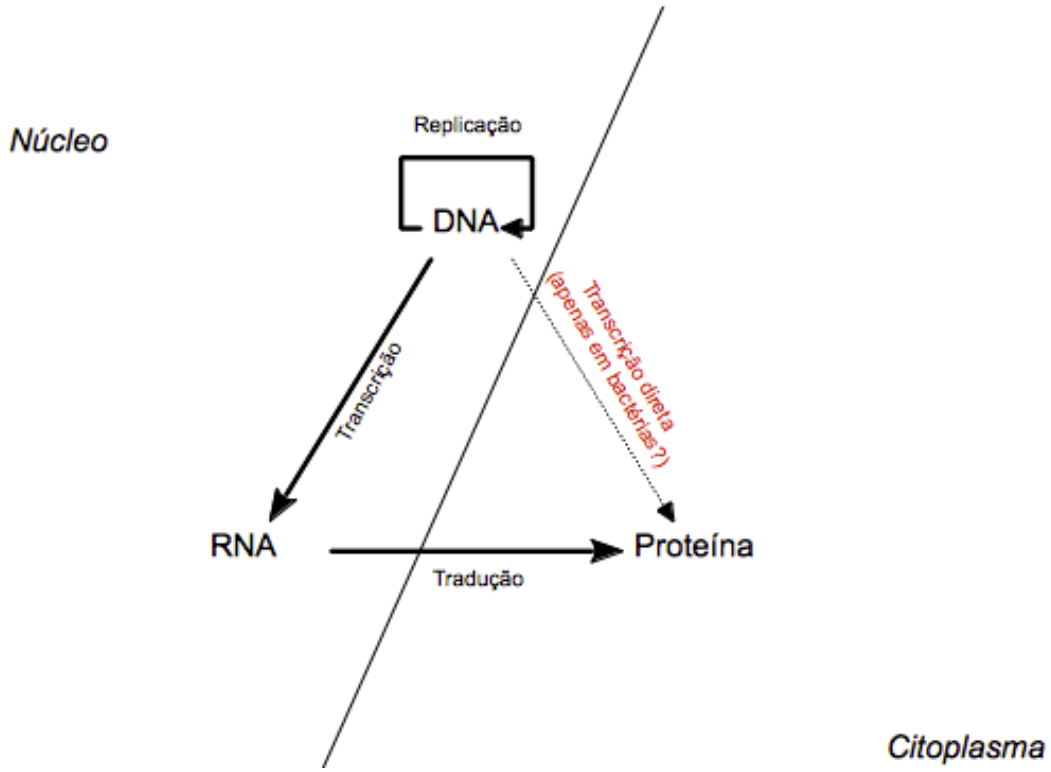

Figura 12: Transcrição direta

O processo de transcrição direta do DNA em proteína foi observado apenas em laboratório (Uzawa, Yamagishi, & Oshima, 2002) . Mas, mesmo que ocorra apenas em bactérias submetidas a condições extremas, a descoberta merece menção como mais uma exceção na hipótese original de Crick.

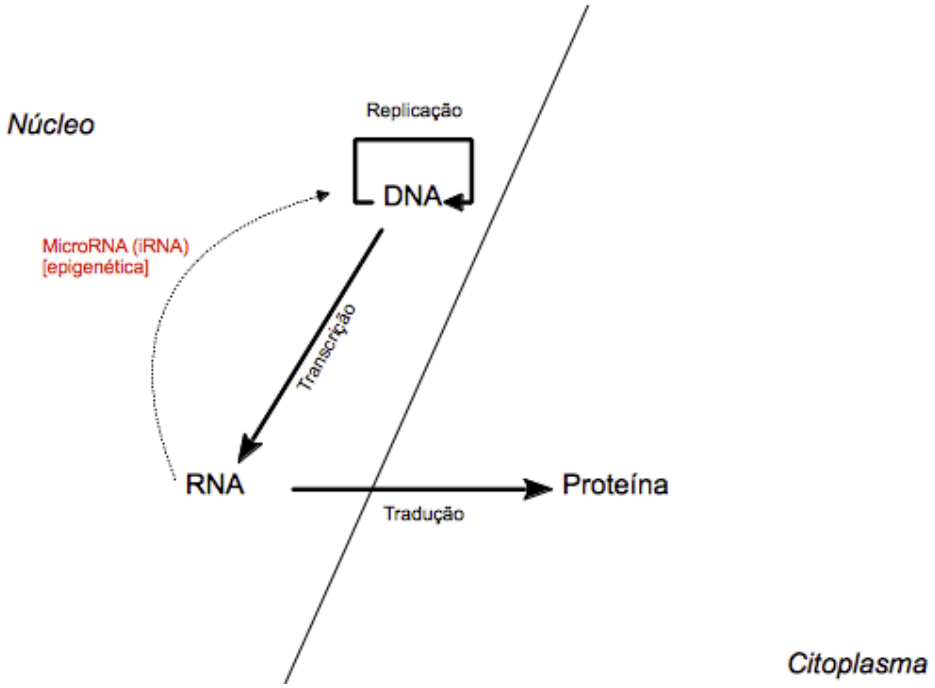

Figura 13: MicroRNAs ou RNAs de Interferência

Em 1998, Andrew Fire e Craig C. Mello publicaram o artigo "Potent and specific genetic interference by double-stranded RNA in Caenorhabditis elegans" (Fire et al., 1998), relatando um trabalho que eventualmente lhes valeu o Prêmio Nobel de Medicina de 1996. Ali eles demonstraram o papel de determinado tipo de RNA no silenciamento de genes. Desde então, inúmeros outros tipos de pequenos RNAs foram descobertos (Ghildiyal & Zamore, 2009) e seu papel na regulação da atividade genética começa a ser esclarecido.

O nome "pequenos RNAs" se deve ao tamanho das moléculas. Os microRNAs (miRNA) têm em torno de 22 nucleotídeos. Os "small interfering RNAs" (siRNA), que são RNAs de fita dupla (como o DNA), têm entre 20 e 25 pares de bases.

O processo básico de silenciamento de genes envolve a conexão entre estes pequenos RNAs e RNAs mensageiros (mRNA) específicos, inativando e degradando as moléculas de mRNA e efetivamente impedindo a produção da proteína nelas codificada.

Este processo de interferência parece estar envolvido tanto na resposta imune

(impedindo a propagação de vírus e de transposons) quanto na regulação direta dos genes. Durante a embriogênese, os miRNAs parecem modular o funcionamento de redes de genes reguladores (Bourc'his & Voinnet, 2010) . A interferência de RNA pode estar também envolvida na ativação de genes, possivelmente através da de-metilação das histonas.

Como tanto os microRNAs quanto os outros elementos do complexo de silenciamento induzido pelo RNA (RISC, em inglês) estão presentes no núcleo das células eucariontes, qualquer adaptação destes elementos e dos processos por eles conduzidos podem ser herdados, como notaram Fire e Mello já em 1998.

Uma última característica importante dos pequenos RNAs: eles parecem capazes de se mover de célula em célula, amplificando seus efeitos para grandes regiões ou mesmo para o organismo inteiro, a partir de um evento localizado que os ative. Esta capacidade de movimento tem implicações importantes para o desenvolvimento, a resposta ao stress e para a herança epigenética (Chitwood & Timmermans, 2010)

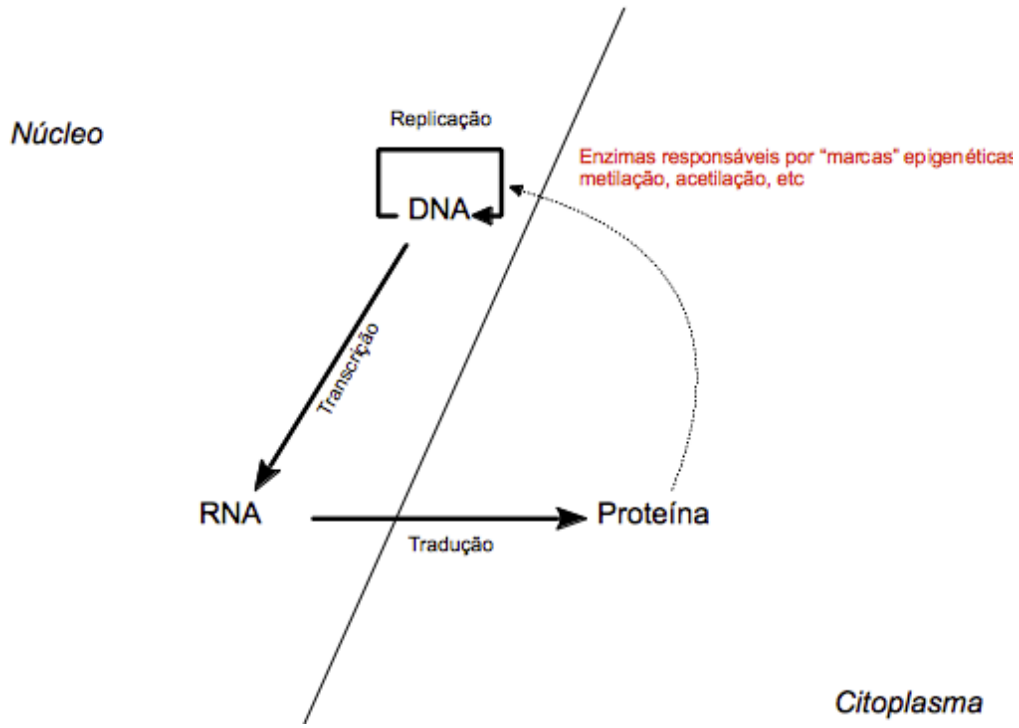

Figura 14: Marcação epigenética

A marcação epigenética é a supressão ou a ativação diretas de partes do DNA. Isto se dá através de dois processos, a metilação direta do DNA ou a modificação das histonas.

“Metilação” é a ligação de um composto do grupo químico Metila ao DNA ou às histonas da cromatina.

Pares de bases Citosina-Guanina no DNA podem ser diretamente metilados, e este processo regula a diferenciação e a replicação celulares durante o desenvolvimento embrionário, através do silenciamento de diversos genes.

No núcleo da célula, o DNA se encontra ligado a proteínas chamadas histonas. formando uma macromolécula chamada cromatina. A cromatina diminui o volume do DNA, reforça a molécula de DNA, evitando danos e permitindo a divisão celular, além de permitir a regulação da expressão genética.

O DNA “empacotado” com a histonas é inacessível para a transcrição, ou seja, está inativo. Os processo de regulação genética e epigenética pode “desempacotar” o DNA e permitir a expressão dos genes.

Em geral, a metilação das histonas torna o empacotamento da cromatina mais compacto e suprime a expressão dos genes envolvidos. A acetilação das histonas, ao contrário, solta a cromatina e expõe o DNA subjacente para transcrição.

O dado importante aqui é que esses processos, bem como a interferência de RNA (que também pode promover a modificação das histonas), são extremamente sensíveis a variações ambientais, formando uma resposta adaptativa no nível molecular.

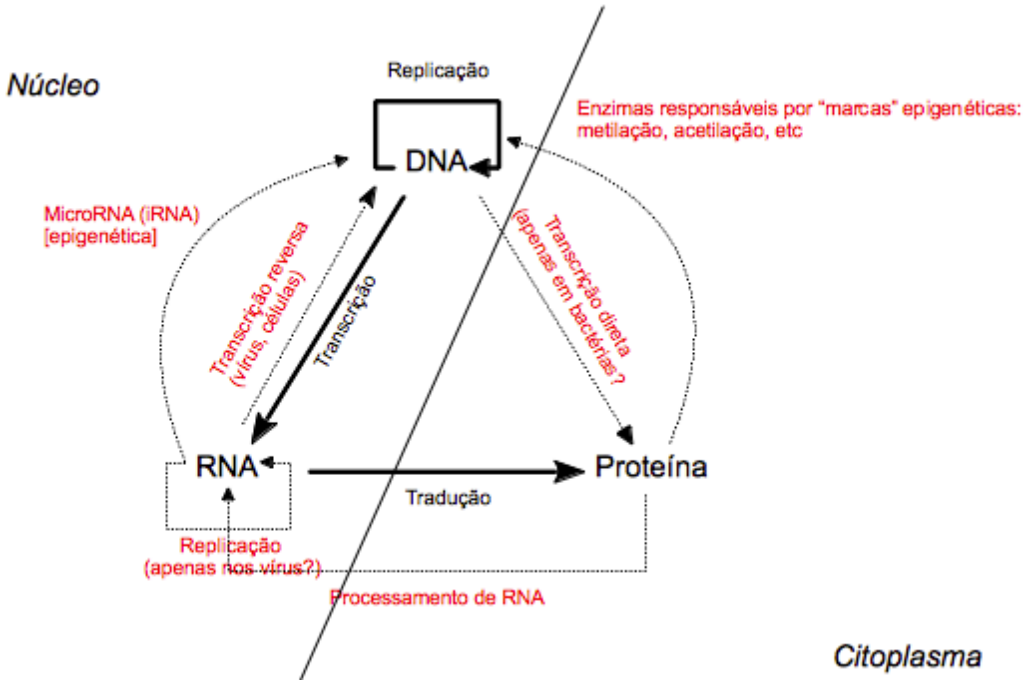

Figura 15: Processos intracelulares de interação genética

Em resumo, uma vez observados todos os processos de regulação e modificação da atividade genética, o modelo de Crick parece muito longe de um "dogma". Na verdade, é cada vez mais insustentável a visão do DNA apenas como um emissor de informação. Além de estar sujeito a inúmeras camadas de regulação, vários dos mecanismos de regulação genética estão ligados a variações ambientais, especialmente aqueles designados "epigenéticos".

Aliás, o termo "epigenética", cunhado por Waddington para designar o processo de desenvolvimento que leva do zigoto ao animal adulto, adquiriu nas últimas décadas um significado levemente diferente. Waddington definia a epigenética como "o ramo da Biologia que estuda as interações causais entre os genes e seus produtos que criam o fenótipo". Hoje a epigenética pode ser descrita como todo o processo de interações subjacente ao desenvolvimento do organismo ao longo de toda a sua vida. Um processo que envolve modificações nas funções do genes, modificações que podem ser herdadas por células do mesmo organismo (via mitose) e/ou por novas gerações (via meiose) e que não necessariamente causam mudanças diretas no DNA.

Desta forma, como veremos adiante, o papel das mutações aleatórias na adaptação dos organismos e na evolução das espécies se reduz, substituído por escolhas e resoluções de desequilíbrios de forma interativa, como preconizavam Piaget, Waddington e Weiss. Além disso, a seleção natural apenas "a posteriori" também sofre um impacto, uma vez que uma espécie de seleção orgânica, local, contínua e "imediata", começa a ganhar uma posição proeminente na explicação causal da evolução.

4.3 A transmissão transgeracional de caracteres adquiridos

Em 1953, Waddington publica "Genetic Assimilation of an Acquired Character" (Waddington, 1953), relatando a produção em laboratório de uma fenocópia, a fixação de uma característica fenotípica no genoma. O experimento mostra como a canalização do desenvolvimento (ver a seção 2.2 acima) pode ser rompida pelo stress do meio e como esta mudança no creodo pode ser ela canalizada. Neste caso, a resposta adaptativa do organismo se torna então hereditária, mesmo se as condições ambientais que levaram ao rompimento da canalização original deixarem de existir.

Para demonstrar tal hipótese, larvas de uma linhagem selvagem de Drosophila melanogaster foram submetidas a um choque de temperatura (mantidas a 40º C durante 4 horas) em um determinado estágio do desenvolvimento. Este evento levava ao

surgimento de asas nas quais estavam ausente todas ou parte das veias cruzadas posteriores. Após 14 gerações, começaram a surgir indivíduos com a característica selecionada (ausência das veias cruzadas posteriores) mesmo sem a exposição ao choque de temperatura. A partir deste ponto, a frequência do aparecimento do caractere adquirido continuava a subir ao longo das gerações derivadas dos indivíduos que exibiam o novo fenótipo. Isto é, a nova característica fora canalizada.

Waddington interpreta estes dados como uma evidência tanto do processo de canalização do desenvolvimento embrionário quanto da plasticidade do genoma, visto que a possibilidade da mudança genotípica ter sido causada por mutações aleatórias era praticamente nula.

No artigo já referido na introdução desta tese (Ramozzi-Chiarottino, 2011), Zélia Ramozzi-Chiarottino cita um trabalho que mostrando a herança de caracteres adquiridos.

Em "Transgenerational rescue of a genetic defect in long-term potentiation and memory formation by juvenile enrichment" (Arai, Li, Hartley, & Feig, 2009), Junko Arai, Larry Feig et al. mostram como a exposição a um ambiente enriquecido causa modificações neurológicas ligadas à melhorias na memória de longo prazo.

Ratos, machos e fêmeas, foram expostos a um ambiente enriquecido (um ambiente, em laboratório, onde os animais são expostos a objetos diversos, tem maior oportunidade de interação social e podem se exercitar) a partir dos 15 dias de vida, por seus horas durante duas semanas. Os efeitos neurológicos dessa exposição estão já estabelecidos em experimentos anteriores. Estes ratos "enriquecidos" foram então acasalados, tanto entre si como entre com ratos "não-enriquecidos".

Os ratos da segunda geração foram então mantidos em ambientes de laboratório normais (isto, gaiolas isoladas). Ainda assim, os mesmos efeitos neurológicos causados pela exposição ao ambiente enriquecido foram observados na segunda geração. Foi possível determinar também que a passagem transgeracional se dava pela linha materna, pois filhotes de machos enriquecidos e fêmeas não-enriquecidas não apresentavam o fenótipo em questão. Também foi possível determinar que a herança pode ter ocorrido durante o desenvolvimento embrionário e não após o nascimento, pois filhotes de ratas enriquecidas criados por mães adotivas não-enriquecidas também apresentavam o fenótipo da mãe. Neste artigo os autores não investigaram o processo de herança em detalhes, limitando-se a relatar o fenômeno observado.

Dois anos depois o mesmo grupo publicou um novo artigo, "Long-lasting and transgenerational effects of an environmental enrichment on memory formation" (Arai

& Feig, 2011), no qual eles revisam estes e outros resultados, atribuindo os efeitos observados a processo epigenéticos como a metilação do DNA e a modificação das histonas.

Os dois experimentos citados tratam de processos adaptativos de valor de sobrevivência bem diferentes. No caso do experimento de Waddington, o efeito medido é deletério e claramente artificial. No experimento de Arai & Feng, o efeito medido se remete à importância de um ambiente enriquecido na infância e permite especular sobre o seu contrário, os efeitos de um ambiente pobre no mesmo período do desenvolvimento. Naturalmente não se pode simplesmente extrapolar resultados obtidos com ratos em laboratório para toda a classe dos Mamíferos ou para a espécie humana, mas é possível traçar um paralelo com outros relatos, estes com humanos, sobre a importância do cuidado materno/paterno e da história de vida do pai e da mãe sobre o desenvolvimento da geração seguinte.

A evidência apresentada por Arai & Feng mostra uma forma de transmissão hereditária, supostamente (visto que os pesquisadores não examinaram especificamente o problema dos mecanismos de transmissão) epigenética mas apenas matrilinear. Ou seja, a reinserção da marcação epigenética poderia ocorrer no útero materno, durante o desenvolvimento fetal. Há evidência, entretanto, da transmissão de caracteres adquiridos pela via paterna em ratos [(Puri, Dhawan, & Mishra, 2010)].

Ainda quanto à herança pela via paterna, há indicações convincentes de sua ocorrência, em em ratos, em seres humanos, em mariposas e em inúmeros outros animais. Em humanos, dois importantes estudos históricos (Pembrey, 2010; Schulz, 2010) mostram os efeitos transgeracionais de eventos ambientais traumáticos, como a sub-nutrição materna durante a gravidez.

Até o final do século XX, pensava-se que a marcação epigenética adquirida durante a vida, especialmente a metilação da cromatina, era totalmente apagada nos gametas, sendo reconstruída no zigoto. Estudos feitos há mais de 30 anos (em ratos) mostraram que o nível de metilação do DNA é muito mais baixo logo após a fertilização do óvulo do que aquele encontrando tanto nos gametas quanto no óvulo implantado. Estudos recentes mostraram que vários genes retém a metilação trazida no gameta, escapando assim da reprogramação da metilação após a fertilização. A herança transgeracional através dos gametas já foi relatada inúmeras vezes, mas o mecanismo responsável por tal herança ainda não está estabelecido. Há alguma evidência a favor da herança da metilação do DNA, mas os melhores candidato atuais são os pequenos RNAs (presentes

nos gametas parentais), capazes de impedir ou aumentar a reconstrução da heterocromatina entre gerações (Daxinger & Whitelaw, 2012).

Uma longa revisão, publicada por Eva Jablonka e Gal Raz em 2009 (Jablonka & Raz, 2009), apresenta uma tabela com mais de 100 casos relatados de herança transgeracional de caracteres adquiridos. Os autores listam artigos que trazem evidência de herança não-genética em bactérias, fungos, plantas e animais, incluindo a espécie humana.

Não muita dúvida sobre a existência da herança epigenética de caracteres adquiridos. Além disto há alguma evidência sobre o direcionamento de mutações para além da simples canalização (Martincorena, Seshasayee, & Luscombe, 2012)

Resta refletir sobre o significado de todos estes novos dados para nosso entedimento da evolução das espécies.

Como seria natural, nos últimos anos o próprio modelo sintético de evolução das espécies começa a ser discutido com mais frequência (Handel & Ramagopalan, 2010; Hunter, Hollister, & Bomblies, 2012; Jablonka & Lamb, 1995; Ruden, 2011; Zeh, Zeh, & Ishida, 2009). Começa a ficar clara a necessidade de uma "nova síntese", capaz de dar conta da dimensão "lamarckista" da hereditabilidade e talvez de mutações não-aleatórias (Danchin et al., 2011; Ruden, 2011).

E, de fato, todas as novas descobertas listadas aqui, elas mesmas uma fração da literatura disponível, apontam para um modelo de evolução bem mais flexível, por assim dizer. Um modelo que se aproxima um pouco do "equilíbrio pontuado" defendido no século XX por Stephen Jay Gould, mas que se situa, muito mais do que aquele biólogo defendeu, das idéias de Lamarck.

Na verdade, parece cada vez mais claro que um modelo de evolução das espécies que leve em consideração a massa de descobertas recentes sobre o funcionamento do aparato genético vai, quase necessariamente, destacar a participação ativa do organismo na adaptação, expandir o conceito de seleção natural, retirando dali o caráter exclusivamente "*a posteriori*" e reduzir o papel dos elementos aleatórios.

Em suma, um novo modelo de evolução que de conta do quadro atual da Biologia aponta diretamente para o ponto intermediário entre Lamarck e Darwin, para o *tertius* que Piaget defendeu por toda a sua vida.

5. CONCLUSÃO: O GENOMA INTERATIVO

Piaget repete várias vezes, ao longo de sua obra, que sua hipótese para a adaptação se coloca, epistemologicamente, num ponto intermediário entre o lamarckismo e o neo-darwinismo. Mais precisamente, Piaget não pode aceitar nem o empirismo radical de Lamarck, que faz do organismo uma t*abula rasa* sujeita disponível para ser preenchida pelas pressões do meio externo nem o "pré-formismo" dos proponentes da Síntese Moderna e de seus sucessores mais proeminentes, que torna o organismo um veículo para a expressão do genes sem qualquer interferência na seleção natural e sem possibilidade de adaptação às mudanças ambientais.

Piaget não concordava com a natureza passiva do organismo que emerge de qualquer destas duas posições. Por trás desta discordância, além suas próprias observações de animais e plantas, especificamente do molusco lacustre *Limnaea stagnalis* e do arbusto de regiões temperadas e frias *Sedum sediforme*, estava a visão da interação como processo central do desenvolvimento, tanto orgânico quanto cognitivo.

Apesar de ter partido da Biologia, Piaget demora algumas décadas para desenvolver o modelo que unifica o desenvolvimento da inteligência e a adaptação orgânica. Apenas a partir da segunda metade da década de 1960 começam a surgir os textos seminais, que expõe uma teoria onde a interação do organismo e o meio assume o papel de fio condutor do desenvolvimento, da adaptação ao meio e, por extensão, da evolução das espécies.

Para chegar a esta teoria, Piaget incorpora ao jogo de assimilação e acomodação, familiar desde o início de seus estudos, os conceitos vindos da própria Biologia, como os creodos e a homeorrese de Waddington e da cibernética, como os ciclos de retroalimentação dentro de sistemas complexos. Tais conceitos são unificados em um modelo fundamentalmente interativo, que coloca o centro lógico da adaptação não nos genes nem no ambiente, mas na fronteira entre o organismo e o ambiente, no próprio comportamento intencional do ser vivo. Dali emergem tanto as pressões que obrigam o organismo a gerar novidade para dar conta de mudanças no meio quanto as pressões no sentido inverso, as escolhas e as mudanças ativas promovidas pelo ser vivo sobre seu ambiente.

O modelo de Piaget mobiliza o choque das forças em confronto na epigênese para expor seu caráter fundamentalmente teleonômico, isto é, a manutenção de um equilíbrio local em movimento acoplada à busca constante de um equilíbrio melhor, de novas

estruturas que englobem e superem as estruturas anteriores. Este modelo não chega a estender o conceito de equilibração majorante para toda a Biologia explicaitamente, mas deixa implícito que o sistema vivo vai sempre buscar um equilíbrio melhor, uma adaptação mais perfeita.

Ao propor-se como um modelo cibernético, no qual forças de sentido contrário se chocam em busca de um equilíbrio mais perfeito, o modelo de Piaget acaba por se tornar um modelo dialético. Uma dialética, podemos dizer, que emerge diretamente da Biologia.

Piaget não usava a linguagem da Biologia atual nem a linguagem da dialética materialista clássica. Piaget usava seus próprios conceitos em seus próprios termos. Entretanto, a proximidade de seu modelo de organismo vivo com qualquer modelo semelhante que possa ser traçado a partir do que sabe hoje sobre o funcionamento do genoma é inescapável.

Como vimos, as descobertas da Biologia Molecular nos último vinte anos, além de colocar em cheque inúmeros preceitos caros à Síntese Moderna, mostram como o organismo reage, a nível celular, nuclear e genético, a pressões externas. Os estudos examinados mostram correlações claras entre comportamentos e o funcionamento genético, entre a emergência de doenças e modificações diretas no material genético das células, entre pressões ambientais e a produção de proteínas.

Piaget conhecia a descoberta da transcriptase reversa por Temin quando escreveu "Adaptaçao Vital", mas foi bastante cauteloso ao discorrer sobre os efeitos daquele processo na adaptação do organismo. Por outro lado, os processos epigenéticos que vieram a ser conhecidos a partir do final do século XX estão muito mais próximos dos mecanismos preconizados por Piaget.

A supressão e a ativação ativas de genes, e portanto da produção de proteínas, seja através de modificações moleculares diretas na estrutura da cromatina, seja através do controle do RNA mensageiro, são processos análogos aos que Piaget, sem nomeá-los nem detalhar sua natureza exata, preconizou como necessários. Isto é, para Piaget era necessário que as estruturas genéticas fossem capazes de responder a pressões externas, modificando-se de forma coerente com as necessidades de sobrevivência do organismo, como ocorre com todas as outras estruturas do organismo vivo. Ora, os processos apresentados aqui parecem cumprir exatamente este papel.

Claro, a maior parte destes estudos hoje cria uma espécie de curto-circuito entre o fenótipo aparente e o núcleo da célula. Mas isso é apenas natural, dada a especialização

da ciência e a origem de tais experimentos. Biólogos moleculares não tem condições ou sequer interesse em percorrer, por exemplo, todo o caminho que leva da metilação do DNA aos vício em drogas. A lacuna aberta ali exigirá todo um esforço multidisciplinar até que seja possível preencher todas as camadas do modelo.

Retomando aqui meu objetivo, o sentido deste texto era estabelecer um nexo, uma congruência entre as hipóteses e modelos apresentados por Piaget com as descobertas recentes da Biologia Molecular.

Naturalmente, a evidência empírica nunca existe sem interpretação. Aliás, ela sequer existe sem escolhas claras de um campo de observação, também esse último dependente das interpretações e escolhas do cientista a respeito de seu objeto. O modelo, por outro lado, é tanto mapa do território quanto um ponto de chegada ideal.

O modelo de Piaget para a adaptação ontogenética e para a evolução filogenética, ignorado pela Biologia de sua época e esquecido por um par de décadas pelos estudiosos de sua obra, certamente mapeou um território, mas é como se o mapa houvesse sido perdido.

Por outro lado, a evidência que emerge da Biologia tem desenhado uma realidade cada vez mais próxima do modelo piagetiano. Os principais pressupostos e hipóteses de Piaget vem se confirmando: a influência do meio sobre o genoma, a natureza interativa dos mecanismos de regulação do funcionamento genético e epigenético, a adaptação dos processos intracelulares às pressões do meio e, por fim, a transmissão transgeracional das regulações genotípicas adaptativas

Não é pouco, considerando a frieza com que tais hipóteses foram originalmente recebidas.

Cabe, por fim, observar que o ser vivo que emerge hoje da Biologia se apresenta cada vez mais integrado. O organismo se apresenta como um sistema capaz de se adaptar a pressões do meio, respondendo de forma coerente em todos os seus níveis e através de todas as suas estruturas. O comportamento intencional começa a emergir como determinante tanto da adaptação quanto da evolução.

Essa nova visão trará algumas implicações importantes. Implicações, que se põe além do escopo deste texto, para a Psicologia, para a Ética, para as políticas públicas. Tratarei delas brevemente em minha considerações finais.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Num tempo em que a Neurociência avança a passos largos para modificar, de maneiras imprevisíveis, a forma como nos relacionamos com o mundo ao redor, redesenhando a fronteira entre a Biologia e a Psicologia, se torna quase obrigatório refletir sobre a própria natureza desta fronteira.

Foi Piaget quem primeiro mostrou como a inteligência emerge da própria vida orgânica. Como os processos primitivos do organismo surgem, se desenvolvem e levam à construção de estruturas mentais cada vez mais sofisticadas, como o ser humano é capaz de construir a matemática a partir dos reflexos e instintos.

Mas a teoria de Piaget vai além, mostrando como toda a adaptação, da qual a inteligência não é senão um exemplo, é resultado de um processo genético que se desenrola e se define na constante interação com o meio.

Interação como relação indissolúvel entre o organismo e o meio, entre o sujeito e o objeto, entre a vida e o mundo.

Interação também como uma luta sem fim entre as exigências e pressões externas e as possibilidades e resistências internas.

Da interação, da troca entre organismo e meio, nasce toda a possibilidade de adaptação.O mundo que desequilibra e desafia constantemente o organismo vivo é o mesmo mundo que incita o organismo a produzir novas formas de viver e a modificar o mundo neste processo. Isto vale igualmente para a bactéria, para a árvore e para o ser humano.

Desta forma Piaget torna a fronteira entre a Biologia e a Psicologia quase que uma mera convenção, uma divisão didática, por assim dizer.

Há razões cada vez mais importantes para se retornar a Piaget. A magnitude e a abrangência de sua teoria não podem ser negadas. E a validade de suas hipóteses se torna cada vez mais concreta.

Piaget dá à Psicologia não só uma teoria e um método, dá também um vocabulário e, mais ainda, uma visão global, um sistema a partir do qual é possível pensar o mundo e atualizar as questões a serem investigadas. Um plano de pesquisa.

E Piaget abre a porta para um “retorno” da Psicologia à Biologia. Não penso aqui em um retorno anacrônico, uma mera absorção de uma disciplina em outra. Falo de um retorno dialético, um retorno da Psicologia “sobre” a Biologia, por assim dizer. Uma possibilidade de repensar a Psicologia em função da Biologia e vice-versa. A

possibilidade de uma interação que reconstrua as duas disciplinas, ao permitir que cada uma se desequilibre e se reequilibre em função das pressões mútuas.

Enfim, Piaget estabeleceu o marco teórico fundamental, a própria possibilidade de existência da Psicologia como disciplina separada da Filosofia e da Biologia. O desafio hoje é enfrentar as pressões vindas das descobertas sobre o funcionamento do cérebro e sobre os efeitos do comportamento na célula, sem se perder nas explicações que reduzem todos os fenômenos ao meramente orgânico ou na negação da influência da Biologia sobre os fenômenos psicológicos e sociais. Para tanto, o mapa que Piaget nos deixou parece mostrar o melhor caminho.

Resta tratar, necessariamente de forma muito sucinta, das implicações do que foi exposto aqui. Sobre isto temos apenas questões, não afirmações nem muito menos certezas.

As implicações das descobertas relatadas aqui para a Psicologia estão sendo discutidas há algum tempo. Por exemplo, Rothstein et alli já apontavam há alguns anos (Rothstein, Cai, & Marchant, 2009) para certas implicações legais e éticas das evidências da epigenética. Ali eles apontam uma série de efeitos deletérios que podem ter como origem fatores epigenéticos ativados por mudanças ambientais. Dentre os fatores ambientais analisados estão a exposição a determinadas substâncias químicas, exposição à radiação, elementos ambientais da embriogênese e da primeira infância, o tabagismo, a dieta. Cada um destes fatores pode afetar a marcação epigenética do indivíduo e, potencialmente, de seus descendentes.

Os autores apontam que isso necessariamente terá reflexos em regulações ambientais e de saúde, nas leis e normas sobre alimentos e drogas, na saúde do trabalho, entre outras áreas.

Por outro lado, a discussão ética incipiente precisa levar em consideração desde aspectos ligados à justiça ambiental e à confidencialidade no manuseio de informações epigenéticas dos indivíduos até considerações sobre as possibilidades de eugenia abertas pela epigenética ou a necessidade da discussão de uma justiça transgeracional.

Pode-se especular, para além dos aspectos legais e regulatórios, sobre os efeitos deste novo paradigma de evolução e adaptação sobre nosso modo de encarar o mundo.

A adaptação do ser vivo a mudanças em seu ambiente é muito mais rápida do que se pensava antes. Mais ainda, essa adaptação ocorre de forma ativa, o organismo respondendo enquanto sistema organizado às pressões externas. E por fim, tais adaptações podem ser herdadas pelas gerações seguintes.

É preciso ter em conta que a adaptação ao meio, ocorrendo em bactérias, tomates, moscas, ratos e seres humanos, não é um processo moral, mas biológico. Não existe, para a adaptação e para a evolução, um caminho "certo" ou "virtuoso". Existem caminhos eficientes, caminhos que permitem a sobrevivência. O organismo vai se adaptar, da forma como for possível. Pois a alternativa é a morte.

A adaptação também é um processo sutil. A evidência apresentada aqui pode ajudar a pensar como a variação da adaptação dentro de uma mesma espécie pode ser muito maior do que se esperaria. O equilíbrio, pontuado ou não, é muito mais localizado.

Assim, podemos pensar como as sociedades humanas e as divisões das sociedades humanas afetam não só a vida, mas também os corpos e as possibilidades de seus participantes.

Não é o caso de se naturalizar, por exemplo, diferenças de classe, de cor, de nacionalidade ou de religião, como de certa forma o "darwinismo social" acabou fazendo. Mudanças epigenéticas são, por sua própria natureza dinâmica, reversíveis. Ou seja, a naturalização de certos fenômenos sociais e históricos continua sendo apenas um mecanismo ideológico.

Mas cabe pensar como a própria natureza vai, de certa forma, obrigar a uma internalização mais precisa do ambiente. Gerações criadas em ambientes violentos e instáveis produzirão novas gerações mais adaptadas a ambientes violentos e instáveis. E o contrário, gerações criadas em sociedades estáveis produzirão gerações melhor preparadas para a estabilidade. Especulando mais além, gerações criadas sob regimes autoritários terão descendentes melhor preparados para viver sob o autoritarismo. E vice-versa. Em todos os casos, cabe sempre a expressão "o que quer que isso signifique", pois como vimos, a adaptação que emerge nunca é direta ou linear. Um evento de fome intra-uterina se correlaciona ao sobrepeso na pré-adolescência duas gerações depois. Nem esperado, nem linear.

O mais importante, a meu ver, é enxergar o aspecto ativo da adaptação. Enxergar este aspecto tanto do ponto de vista do organismo individual quanto da sociedade como um todo. Se as adaptações podem ser rápidas, elas também são rapidamente reversíveis. Isto aponta diretamente para a importância de se pensar sobre as políticas públicas de educação, saúde, saneamento, etc.

Pois cada esforço no sentido de uma sociedade mais justa, por mais localizado e pequeno, pode acabar tendo reflexos muito mais duradouros que os esperados. Cada melhoria nas condições de vida, de saúde, de habitação da população terá efeitos

multiplicadores não só no nosso espaço e no nosso tempo de vida, mas pode ter reflexos por várias gerações.

E desta forma, fica mais clara ainda a responsabilidade de cada geração para com as gerações futuras. Responsabilidade é um termo certamente moral. E assim damos a volta completa no círculo, pois se a adaptação biológica nada tem de moral, a capacidade simbólica do ser humano nos dá a possibilidade única no planeta de uma autonomia moral que vai além da Biologia, se voltando sobre ela e abarcando-a. Daí deriva nossa responsabilidade, enquanto espécie, não apenas sobre as gerações futuras de nossa espécie, mas sobre todas as outras espécies e sobre a manutenção da possibilidade de vida no único planeta que temos.

Referências

Almeida, A. V. De, & Falcão, J. T. D. R. (2008). Piaget e as teorias da evolução orgânica. *Psicologia: Reflexão E Crítica*, *21*(3), 525–532. doi:10.1590/S0102-79722008000300022

Ampère, A.-M. (1856). *Essai sur la philosophie des sciences, ou explosition analytique d'une classification naturelle de toutes les connaissances humaines* (10ª ed.). Paris: Mallet-Bachelier.

Apostel, L., Grize, J.-B., Papert, S., & Piaget, J. (1963). *La Filiation des Structures*. (J. Piaget, Ed.) (1ª ed.). Paris: Presses Universitires de France.

Arai, J. a, & Feig, L. a. (2011). Long-lasting and transgenerational effects of an environmental enrichment on memory formation. *Brain Research Bulletin*, *85*(1-2), 30–5. doi:10.1016/j.brainresbull.2010.11.003

Arai, J. a, Li, S., Hartley, D. M., & Feig, L. a. (2009). Transgenerational rescue of a genetic defect in long-term potentiation and memory formation by juvenile enrichment. *The Journal of Neuroscience : The Official Journal of the Society for Neuroscience*, *29*(5), 1496–502. doi:10.1523/JNEUROSCI.5057-08.2009

Baldwin, J. M. (1896). A New Factor in Evolution. *The American Naturalist*, *30*(354), 441–451. Retrieved from http://www.jstor.org/stable/2453130

Becker, F., & Ferreira, R. dos R. (2013). Discussão Virtual sobre "Interação em Epistemologia Genética." *Schème - Revista Eletrônica de Psicologia E Epistemologia Genéticas*, *5*, 190–235. Retrieved from http://www2.marilia.unesp.br/revistas/index.php/scheme/article/view/3182/2495

Bourc'his, D., & Voinnet, O. (2010). A small-RNA perspective on gametogenesis, fertilization, and early zygotic development. *Science (New York, N.Y.)*, *330*(6004), 617–22. doi:10.1126/science.1194776

Chitwood, D. H., & Timmermans, M. C. P. (2010). Small RNAs are on the move. *Nature*, *467*(7314), 415–9. doi:10.1038/nature09351

Comte de Buffon, L. (1766). *Histoire Naturelle, Générale et Particuliére, avec la Description Du Cabinet Du Roy, Tome Quatrième*.

Crick, F. (1958). On protein synthesis. *Symposia of the Society for Experimental Biology*, *12*, 138–163. Retrieved from http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/13580867

Danchin, É., Charmantier, A., Champagne, F. a, Mesoudi, A., Pujol, B., & Blanchet, S. (2011). Beyond DNA: integrating inclusive inheritance into an extended theory of evolution. *Nature Reviews. Genetics*, *12*(7), 475–86. doi:10.1038/nrg3028

Dawkins, R. (1987). *The Blind Watchmaker*. New York: W. W. Norton.

Daxinger, L., & Whitelaw, E. (2012). Understanding transgenerational epigenetic inheritance via the gametes in mammals. *Nature Reviews. Genetics*, *13*(3), 153–62. doi:10.1038/nrg3188

Dobzhansky, T. (1964). Biology , Molecular and Organismic. *American Zoologist*, *4*(4), 443–452.

Dobzhansky, T. (1973). Nothing in Biology Makes Sense Except in the Light of Evolution. *The American Biology Teacher*, *35*, 125–129.

Engels, F. (1876). The Part played by Labour in the Transition from Ape to Man. Retrieved March 25, 2015, from https://www.marxists.org/archive/marx/works/1876/part-played-labour/index.htm

Engels, F. (1882). On Dialetics. In *Dialetics of Nature*. Retrieved from https://www.marxists.org/archive/marx/works/1883/don/ch02.htm

Fire, A., Xu, S., Montgomery, M. K., Kostas, S. A., Driver, S. E., & Mello, C. C. (1998). Potent and specific genetic interference by double-stranded RNA in Caenorhabditis elegans. *Nature*, *391*(6669), 806–811. doi:10.1038/35888

Freeland, H. J. (1996). *The Eighth Day of Creation: Makers of the Revolution in Biology*. Cold Spring Harbor, NY: Cold Spring Harbor Laboratory Press.

Futuyama, D. J. (1998). *Evolutionary Biology*. Sunderland: Sinauer Associates Inc.

García, R. (1996). Dialética, Psicogênese e História das Ciências. In *As Formas Elementares da Dialética* (p. 228). Casa do Psicólogo.

Ghildiyal, M., & Zamore, P. D. (2009). Small silencing RNAs: an expanding universe. *Nature Reviews Genetics*, *10*, 94–108. doi:10.1038/nrg2504

Handel, A. E., & Ramagopalan, S. V. (2010). Is Lamarckian evolution relevant to medicine? *BMC Medical Genetics*, *11*, 73. doi:10.1186/1471-2350-11-73

Hunter, B., Hollister, J. D., & Bomblies, K. (2012). Epigenetic inheritance: what news for evolution? *Current Biology : CB*, *22*(2), R54–6. doi:10.1016/j.cub.2011.11.054

Huxley, J. (1942). *Evolution: The Modern Synthesis* (1th ed.). London: George Allen & Unwin Ltd.

Jablonka, E., & Lamb, M. J. (1995). *Epigenetic Inheritance and Evolution: the lamarckian dimension*. Oxford: Oxford University Press.

Jablonka, E., & Lamb, M. J. (2005). *Evolution in Four Dimensions* (Kindle). Cambridge, Massachusetts: MIT Press.

Jablonka, E., & Lamb, M. J. (2006). *Evolução em Quatro Dimensões* (2010th ed.). São Paulo: Companhia das Letras.

Jablonka, E., & Raz, G. (2009). Transgenerational epigenetic inheritance: prevalence, mechanisms, and implications for the study of heredity and evolution. *The Quarterly Review of Biology*, *84*(2), 131–176. doi:10.1086/598822

Lenin, V. I. (1914). Volume 38 of the Lenin Collected Works: Philosophical Notebooks (1895 - 1916). Retrieved March 27, 2015, from https://www.marxists.org/archive/lenin/works/cw/volume38.htm

Li, M., Wang, I. X., Li, Y., Bruzel, A., Richards, A. L., Toung, J. M., & Cheung, V. G. (2011). Widespread RNA and DNA sequence differences in the human transcriptome. *Science*, *333*, 53–8. doi:10.1126/science.1207018

Martincorena, I., Seshasayee, A. S. N., & Luscombe, N. M. (2012). Evidence of non-random mutation rates suggests an evolutionary risk management strategy. *Nature*, *485*(7396), 95–98. doi:10.1038/nature10995

Mayr, E. (1982). *The Growth of Biological Thought*. Cambridge, Massachusetts: The Belknap Press of Havard University Press.

Meyer, F. (1981). Situação Epistemológica da Biologia. In J. Piaget (Ed.), *Lógica e Conhecimento Científico v.2* (pp. 157–190). Porto: Livraria Civilização - Editora.

Monod, J. (1970). *Le hasard et la necessite : essai sur la philosophie naturelle de biologie et la moderne*. Paris: Les Éditions du Seuil.

Nowinski, C. (1981). Biologia, Teorias do Desenvolvimento e Dialética". In J. Piaget (Ed.), *Lógica e Conhecimento Científico v.2* (pp. 228–254). Porto: Livraria Civilização - Editora.

Papert, S. (1981a). A Cibernética, entre a Física e a Biologia. In J. Piaget (Ed.), *Lógica e Conhecimento Científico v.2* (pp. 191–207). Porto: Livraria Civilização - Editora.

Papert, S. (1981b). Observações a respeito da Finalidade. In J. Piaget (Ed.), *Lógica e Conhecimento Científico v.2* (pp. 208–227). Porto: Livraria Civilização - Editora.

Pembrey, M. E. (2010). Male-line transgenerational responses in humans. *Human Fertility (Cambridge, England)*, *13*(4), 268–271. doi:10.3109/14647273.2010.524721

Piaget, J. (1929). Les races lacustres de la “Limnaea stagnalis.” *Bulletin Biologique de La France et de La Belgique*, *63*, 424–455.

Piaget, J. (1953). Structures opérationnelles et cybernétique. *L’Année Psychologique*, *53*(1), 379–388. Retrieved from http://www.persee.fr/web/revues/home/prescript/article/psy_0003-5033_1953_num_53_1_8725

Piaget, J. (1966). Biologie et Connaissance. *Diogenes*, (54), 3–26.

Piaget, J. (1974a). *Adaptation vitale et psychologie de l’intelligence*. Paris: Hermann.

Piaget, J. (1974b). *Adaptation vitale et psychologie de l'intelligence* (1ª ed.). Paris: Hermann.

Piaget, J. (1976). *A Equilibração das Estruturas Cognitivas*. Rio de Janeiro: Zahar Editores.

Piaget, J. (1977). *Comportamento, motor da evolução*. Lisboa: RÉS Editora Limitada.

Piaget, J. (1981a). *Lógica e Conhecimento Cientíifico v.2*. (J. Piaget, Ed.). Porto: Livraria Civilização - Editora.

Piaget, J. (1981b). Os dois problemas principais da Epistemologia Biológica. In J. Piaget (Ed.), *Lógica e Conhecimento Científico v.2* (pp. 255–281). Porto: Livraria Civilização - Editora.

Piaget, J. (1996). *Formas Elementares da Dialética*. (F. Mendes Luiz, Trans., L. Macedo, Ed.) (1ª ed.). São Paulo: Casa do Psicólogo.

Piaget, J. (2003). *Biologia e Conhecimento*. Petrópolis: Editora Vozes.

Piaget, J. (2006). *A Construção do Real na Criança* (3ª ed.). São Paulo: Editora Ática.

Piaget, J. (2008). *O Nascimento da Inteligência na Criança* (4th ed.). Rio de Janeiro: LTC.

Platão. (n.d.). Alcibiades I. Retrieved March 25, 2015, from http://www.gutenberg.org/files/1676/1676-h/1676-h.htm

Puri, D., Dhawan, J., & Mishra, R. K. (2010). The paternal hidden agenda: Epigenetic inheritance through sperm chromatin. *Epigenetics*, *5*(5), 386–391. doi:10.4161/epi.5.5.12005

Ramozzi-Chiarottino, Z. (1984). *Em busca do sentido da obra de Jean Piaget* (2a. ed.). São Paulo: Ática.

Ramozzi-Chiarottino, Z. (2011). A atualidade da teoria de Jean Piaget: a embriologia mental e a demonstração, nos EEUU, do RNA influindo sobre o DNA a partir das agressões do meio. In A. O. D. Montoya, A. Morais-Shimizu, V. E. R. Marçal, & J. F. B. Moura (Eds.), *Jean Piaget no século XXI: escritos de epistemologia e psicologia genéticas* (1ª ed., pp. 1–17). Marília: Oficina Universitária. Retrieved from http://www.marilia.unesp.br/Home/Publicacoes/jean_piaget.pdf

Rothstein, M. A., Cai, Y., & Marchant, G. E. (2009). The ghost in our genes: legal and ethical implications of epigenetics. *Health Matrix (Cleveland, Ohio : 1991)*, *19*(1), 1–62. Retrieved from http://www.pubmedcentral.nih.gov/articlerender.fcgi?artid=3034450&tool=pmcentrez&rendertype=abstract

Ruden, D. M. (2011). The (new) new synthesis and epigenetic capacitors of morphological evolution. *Nature Genetics*, *43*(2), 88–9. doi:10.1038/ng0211-88

Schulz, L. C. (2010). The Dutch Hunger Winter and the developmental origins of health and disease. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, *107*(39), 16757–16758. doi:10.1073/pnas.1012911107

Smocovitis, V. B. (1992). Unifying biology: the evolutionary synthesis and evolutionary biology. *Journal of the History of Biology*, *25*(1), 1–65. Retrieved from http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/11623198

Temin, H. M., & Mizutani, S. (1970). RNA-dependent DNA polymerase in virions of Rous sarcoma virus. *Nature*, *226*(5252), 1211–1213.

Trotsky, L. (1939). The ABC of Materialist Dialectics. Retrieved March 28, 2015, from https://www.marxists.org/archive/trotsky/1939/12/abc.htm

Uzawa, T., Yamagishi, A., & Oshima, T. (2002). Polypeptide synthesis directed by DNA as a messenger in cell-free polypeptide synthesis by extreme thermophiles, Thermus thermophilus HB27 and Sulfolobus tokodaii strain 7. *Journal of Biochemistry*, *131*(6), 849–853.

Waddington, C. H. (1953). Genetic Assimilation of an Acquired Character. *Evolution*, *7*(2), 118–126.

Waddington, C. H. (1957). *The Strategy of the Genes*. London: George Allen & Unwin Ltd.

Wang, J., Zhang, K., Xu, L., & Wang, E. (2011). Quantifying the Waddington landscape and biological paths for development and differentiation. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, *108*(20), 8257–8262.

Wiener, N. (1961). *Cybernetics : or control and communication in the animal and the machine*. *1947* (2nd ed.). Cambridge, Massachusetts: MIT Press.

Young, J. L. (2013). The Baldwin Effect and the persistent problem of Preformation versus Epigenesis. *New Ideas in Psychology*, *31*(3), 355–362. doi:10.1016/j.newideapsych.2012.07.002

Zeh, D. W., Zeh, J. a., & Ishida, Y. (2009). Transposable elements and an epigenetic basis for punctuated equilibria. *BioEssays*, *31*(7), 715–726. doi:10.1002/bies.200900026

Anexos

Anexo I – Uma breve história da Evolução das Espécies

Da criação à evolução

A ideia da evolução das espécies a partir de um ancestral comum não é nem simples nem óbvia, e não parece necessária mais evidência disso que o fato de a humanidade só ter começado a contemplar tal hipótese há pouco mais de 300 anos. Em "The Growth of Biological Thought" (Mayr, 1982), Ernst Mayr, ele mesmo um dos mais importantes biólogos do século XX, traça uma pequena história da evolução, dos gregos até nossos dias.

A filosofia grega, ainda que não comporte a noção de evolução das espécies, representa um primeiro afastamento das concepções sobrenaturais do mundo, em direção à explicação materialista. Referindo-se especificamente aos pré-socráticos, Mayr escreve:

> "Dois aspectos, em particular, caracterizam os conceitos de origem do mundo dos primeiros filósofos gregos. (1) Os atos de "criação" são des-endeusados, isto é, o mundo, a vida ou os organismos específicos não são os produtos da ação de um deus, como era universalmente aceito no período pré-filosófico, mas sim o resultado do poder generativo da natureza. (2) As origens não são teleológicas, isto é, não há um projeto ou objetivo subjacente; ao contrário, o que aconteceu foi o resultado da sorte ou de uma necessidade irracional." (Mayr, 1982, p. 303)

O tempo ilimitado, a geração espontânea, a variação do meio, a ênfase nas mudanças ontogenéticas do indivíduo: todas estas noções encontradas nos fragmentos pré-socráticos que, segundo Mayr, poderiam ter funcionado como ponto de partida para o desenvolvimento do pensamento evolucionário. Entretanto, tudo isso acabou esquecido em função do advento de Atenas e da filosofia de Sócrates, Platão e Aristóteles:

> "Quatro dos dogmas de Platão tiveram um impacto particularmente deletério sobre a biologia pelos 2000 anos seguintes. Um deles, como já visto, foi o essencialismo, a crença em uma *eide* constante, em ideias fixas, separadas e independentes dos fenômenos da aparência. O

> segundo foi o conceito de um cosmos animado, um todo vivo e harmonioso, que tornou muito difícil, posteriormente, explicar como uma evolução poderia ter ocorrido, já que qualquer mudança perturbaria a harmonia. Terceiro, ele [Platão] substituiu a geração espontânea por um poder criativo, um demiurgo […]. O quarto dos influentes dogmas de Platão foi sua grande ênfase na 'alma'." (Mayr, 1982, p. 305)

Mayr observa que estes dogmas platônicos seriam re-interpretados e absorvidos posteriormente ao cristianismo, e que o resultado seria uma grande dificuldade na aceitação da ideia de evolução, em especial da ideia de incluir o homem (e sua alma) em alguma forma de pensamento evolucionário.

Aristóteles, por sua vez, foi um grande estudante da natureza. Entretanto, toda sua metafísica era contrária à ideia de evolução e mudança. Como nota Mayr,

> "...é preciso notar que a gradação linear através da qual Aristóteles via o mundo era um conceito estritamente estático […] Há ordem na natureza e tudo na natureza tem um propósito. Ele afirmou claramente [Gen. A. 2.1.731b35] que o homem e os gêneros de animais e plantas eram eternos; eles não podem desaparecer ou ter sido criados" (Mayr, 1982, p. 306)

Mayr propõe, por fim, que os gregos talvez não tenham chegado a considerar a evolução das espécies por três razões: a ausência do conceito de tempo linear, o tempo aparecendo ora como uma eternidade imutável, ora como um ciclo de mudanças que sempre retornava o seu início e recomeçava; o conceito de um *kosmos* perfeito; e, finalmente, o essencialismo, completamente incompatível com os conceitos de variação ou mudança.

O Cristianismo, sucessor da filosofia grega no papel de forma dominante do pensamento ocidental, torna o problema da evolução ainda mais impensável, nos diz Mayr. Visto que a Bíblia é explícita quanto à criação de todos os animais por Deus e seu posterior salvamento (de pelo menos parte deles) por Noé, os pensadores católicos jamais tentaram explicar a diversidade a partir de uma evolução. Os fósseis foram considerados formações rochosas fortuitas ou, no máximo, restos de animais ante-diluvianos. Adicionalmente, a idade da Terra foi calculada, a partir do estudo detalhado das datas e períodos contidos nos textos bíblicos, em cerca de 4 ou 5 mil anos (a Criação tendo ocorrido em torno de 4000 A.C.), uma quantidade de tempo absolutamente

insuficiente para que qualquer evolução ocorresse. Mayr lamenta: "Os mil anos após a fundação do Cristianismo foram um tempo de uma estagnação intelectual deprimente" (Mayr, 1982, p. 308). Em especial para a Biologia, já que "Aristotélicos ou não, os acadêmicos católicos da Idade Média, apesar de suas constantes referências a uma cadeia de seres ["*scala naturae*"] ou a uma grande hierarquia dos fenômenos do mundo, mantiveram a crença de que todas espécies eram estritamente fixas" (Mayr, 1982, p. 308).

A partir dos séculos XVII e XVIII estas afirmações foram sendo gradualmente desmentidas por descobertas cada vez mais numerosas. Mais e mais exemplos de fósseis foram desenterrados ou simplesmente encontrados, tornando sua explicação a partir da coincidência cada vez mais improvável. Adicionalmente, fósseis de animais diferentes foram encontrados em camadas diferentes do solo, claramente separados. Além disso, com a expansão do império colonial europeu por praticamente todo o planeta, a real dimensão da diversidade de espécies de plantas e animais começou a ser conhecida pela primeira vez. Como seria possível explicar a diversidade e as diferenças gritantes entre os animais e plantas das diversas partes da Terra, se todos os seres vivos modernos tivessem tido origem no Dilúvio e se espalhado a partir do mesmo ponto geográfico? Por fim, a Geologia nascente demonstrou, a partir da descoberta das camadas geológicas, que a Terra era necessariamente muito mais antiga que o cálculo bíblico permitia.

É importante observar que o que mudava não era a evidência, em grande parte já existente – os fósseis, por exemplo, já eram conhecidos pelos antigos gregos. O que mudava era a forma e a direção do olhar. Como notaria Hegel posteriormente, pelo final da Idade Média o tempo da religião como força progressista havia passado. Ao lado, além e em torno das profundas mudanças sociais e econômicas pelas quais passava a Europa, havia uma nova forma de pensar, uma *nova scientia* que vai se desdobrar por séculos e nomes: Modernidade, Renascença, Iluminismo, Ilustração.

Neste contexto, a ideia de evolução das espécies a partir de um ancestral comum começa a circular pela Europa. No livro IV de sua "Historie Naturelle", Buffon, considerado um dos maiores naturalistas do século XVIII, escreve:

> "Desta perspectiva, não somente o burro e o cavalo, mas até os homens, os macacos, os quadrúpedes e todos os animais poderiam ser vistos como parte da mesma família; […] Se tais famílias existissem realmente, elas teriam sido formadas pela mistura, pela variação

> sucessiva e pela degeneração das espécies originais; e uma vez que se admita que há famílias de plantas e animais, que o burro pertence à família do cavalo, e só é diferente porque se degenerou, se poderá dizer igualmente que o macaco é da família do homem, que ele é um homem degenerado, que o homem e o macaco têm uma origem comum, como o cavalo e o burro, e que todas as famílias, tanto de animais como de vegetais, têm apenas uma única linhagem, **e mesmo que todos os animais vieram de um único animal** que, no decorrer do tempo, produziu, por aperfeiçoamento ou degeneração, todas as raças de outros animais." (Comte de Buffon, 1766, pp. 381–382)

Buffon dedica as páginas seguintes do mesmo texto a demonstrar como a ideia de um ancestral comum a todos os animais era impossível. Entretanto, o mero fato dele considerar necessário levantar tal hipótese para então negá-la é, por si só, um indicador bastante claro de que a hipótese da evolução já era, naquele momento, algo possível de ser pensado, testado e argumentado. Na verdade , Mayr observa que se deve a Buffon a inserção da ideia de evolução no pensamento científico (Mayr, 1982, p. 336). Também se deve em grande parte a Buffon o início da busca por uma cronologia científica da Terra. Em seus escritos publicados em vida, Buffon estimou a idade do planeta em cerca de 170.000 anos. Anotações descobertas após sua morte falavam em mais de 500.000 anos.

Ao mesmo tempo, o outro grande naturalista do século XVIII, Carl Linnaeus, foi o grande responsável pelo início da discussão da origem das espécies. Sua classificação dos seres vivos por gênero, ordem e classes acabou por demonstrar uma descontinuidade inexplicável, tornando necessário investigar como as espécies puderam um dia surgir.

A evolução no centro da Biologia

"Nada na Biologia faz sentido exceto à luz da Evolução" (Theodosius Dobzhansky)

A frase de um dos maiores biólogos do século XX que abre este capítulo, título de um pequeno artigo de 1973 (Dobzhansky, 1973), exprime bem a centralidade da evolução das espécies na Biologia.

O próprio Dobzhansky já havia detalhado melhor esse princípio antes, em um artigo de 1964: "Se a vida não surgiu de um ancestral comum através de um processo evolucionário, então a unidade fundamental das coisas vivas é uma fraude e sua diversidade é uma brincadeira. A unidade pode ser entendida como uma consequência da descendência comum e de necessidades universais impostas pelos materiais existentes. A

diversidade é inteligível como o resultado da adaptação da vida a ambientes diferentes...” (Dobzhansky, 1964, p. 449). Ou seja, mais que apenas uma frase de efeito, tomar a evolução como o processo unificador fundamental de toda a vida é um elemento absolutamente necessário para validar o estatuto científico da própria Biologia.

Essa certeza pode ser estendida sem maiores preocupações a todos os campos derivados da Biologia, o que naturalmente inclui toda a Psicologia.

No caso da teoria de Piaget isso é ainda mais claro, pois a relação entre a Biologia e a Psicologia aparece tanto entre as premissas do trabalho como entre seus resultados. Assim, lemos já na abertura da introdução de “O Nascimento da Inteligência na Criança” que “O problema das relações entre razão e organização biológica surge, necessariamente, no início de um estudo sobre o nascimento da inteligência” (Jean Piaget, 2008, p. 13) e mais adiante na mesma introdução que “Afirmar que a inteligência é um caso particular da adaptação biológica equivale, portanto, a supor que ela é, essencialmente, uma organização e que sua função consiste em estruturar o universo tal como o organismo estrutura o meio imediato” (Jean Piaget, 2008, p. 15). Trinta anos depois, em “Biologia e Conhecimento”, a mesma ideia retorna quase que da mesma forma (ainda que agora, na obra mais recente, Piaget evite o termo “razão” e coloque várias condicionais ao termo “inteligência”): “Os processos cognoscitivos aparecem então simultaneamente como a resultante da auto-regulação orgânica, da qual refletem os mecanismos essenciais, e como os órgãos mais diferenciados dessa regulação no âmbito das interações com o exterior...” (Jean Piaget, 2003, p. 38).

Dado esse papel básico e fundamental da Biologia em sua teoria e dada também a importância fundamental da evolução para a Biologia, não é em nada surpreendente que a evolução tenha ocupado as preocupações de Piaget durante toda sua obra. Mas antes de tratarmos da visão piagetiana de evolução, iremos primeiro examinar como a Biologia entendia a evolução durante a vida de Piaget, para podermos então contemplar a verdadeira natureza e profundidade das suas críticas ao neo-darwinismo.

Os arquitetos da síntese

Julian Huxley abre “Evolution: The Modern Synthesis” (livro cujo título deu nome ao consenso científico que se formou em torno da evolução natural entre o final dos anos 30 e o início dos anos 50) com uma afirmação praticamente idêntica à de Dobzhansky: “A

Evolução pode ser considerada o mais central e o mais importante dos problemas da biologia. Para atacar tal problema nós precisamos de fatos e métodos de todos os ramos dessa ciência – ecologia, genética, paleontologia, distribuição geográfica, embriologia, sistemática, anatomia comparada – isso sem mencionar reforços de outras disciplinas tais como a geologia, a geografia e a matemática" (Huxley, 1942, p. 13). Isso apenas confirma que os principais envolvidos na construção da teoria moderna da evolução natural sempre tiveram plena consciência do seu papel e da magnitude da tarefa na qual estavam envolvidos.

Huxley foi um grande divulgador da unificação da biologia, mas há algum consenso entre os historiadores da ciência que os principais nomes responsáveis pela síntese efetiva da biologia em torno da ideia do gene como unidade básica da hereditariedade e da evolução por seleção natural foram os evolucionistas americanos, especialmente Theodosius Dobzhansky, Ernst Mayr, G.G. Simpson e G.L. Stebbins.

Na interpretação de Smocovitis (Smocovitis, 1992), a síntese pode ser entendida como o alinhamento da causa mecânica da evolução, a seleção natural, com sua base material, o gene. O primeiro passo nessa direção foi dado por Dobzhansky com o livro "Genetics and the Origin of Species", de 1937, a partir do qual a evolução pode ser redefinida como uma "mudança na frequência dos genes". Já a seleção natural, a mutação, a estrutura da população, a derivação genética aleatória, o isolamento geográfico, entre outros fatores, tornam-se aqui explicações causais para mudanças evolucionárias. Dobzhansky efetivamente transforma a Biologia em uma ciência experimental fundada em princípios mensuráveis e firmemente suportada pelos modelos matemáticos que descrevem o comportamento dos genes. A Biologia passa a ocupar um lugar equivalente ao da Física e da Química entre as ciências.

A genética evolucionária proposta por Dobzhansky se tornaria o solo comum onde todas as outras disciplinas da Biologia seriam reformuladas e reunidas.

Ernst Mayr publica "Systematics and the Origin of Species", estendendo os conceitos propostos por Dobzhansky à sistemática (o estudo da biodiversidade e das relações filogenéticas entre os organismos vivos), com o objetivo principal de permitir que a nova teoria da evolução desse conta das preocupações centrais dos sistematistas, as descontinuidades do mundo orgânico e a origem das espécies.

G. G. Simpson, em "Tempo and Mode in Evolution" , usará a base genética exposta

por Dobzhansky para alinhar a paleontologia à genética, permitindo eliminar de sua disciplina “os horrores metafísicos da evolução dirigida” (Smocovitis, 1992). A seleção natural, na visão de Simpson, permitia explicar as evidências de evolução mais ou menos acelerada em cada período de tempo. O livro de Simpson também apresentava uma forte validação das ideias de Dobzhansky, ao mostrar que a mudança lenta e gradual, aliada a eventuais “saltos evolutivos”, se adequava perfeitamente ao registro fóssil.

Já para G. L. Stebbins, autor de “Variation and Evolution in Plants”, a estrutura proposta por Dobzhansky permitia dar sentido à grande quantidade de dados acumulados sobre a variação cromossômica e sobre o comportamento sexual das plantas. A explicação genética da formação de espécies e a seleção natural também permitiam eliminar a crença lamarckista na herança de caracteres adquiridos, bastante comum na botânica naquele ponto.

Esses quatro autores representam o ponto focal, as disciplinas que estiveram à frente do movimento de unificação da Biologia. O livro de Julian Huxley, “Evolution – The Modern Synthesis”, traz tanto um relato histórico das principais ideias por trás da evolução por seleção natural desde sua proposta inicial por Charles Darwin como uma forte defesa da mesma seleção natural como o mecanismo central da evolução.

Em resumo, no quadro que emerge da síntese moderna, a evolução das espécies é explicada através de mecanismos genéticos e observações dos naturalistas. A evolução é lenta e gradual, causada por pequenas mudanças e pela recombinação genética. A descontinuidade presente no registro fóssil teria se originado lentamente, especialmente pela separação geográfica e por extinções de espécies intermediárias. A seleção natural, agindo sobre o fenótipo em conjunto com o ambiente que circunda o organismo é o principal mecanismo que leva à mudança. Um dos conceitos-chave é o deslocamento do foco dos estudos evolucionários, de organismos individuais para populações: um dos principais fatores da evolução é a variedade genética existente nas populações naturais.

A teoria sintética da evolução

Nas décadas seguintes esse quadro seria gradualmente acrescido das contribuições de outras disciplinas como a embriologia, a fisiologia e especialmente a biologia molecular. A descoberta da estrutura do DNA dá um novo impulso aos estudos genéticos e reforçar a visão do gene como unidade básica da evolução.

Em um dos livros didáticos[34] mais utilizados nas principais universidades americanas para ensino da teoria da evolução, Futuyama (Futuyama, 1998, pp. 26–27) apresenta um sumário das principais afirmações do neo-darwinismo ortodoxo ao final do século XX:

1. As características físicas observáveis (o fenótipo) são diferentes do genótipo (conjunto de genes de um indivíduo). As diferenças fenotípicas entre organismos individuais se devem a diferenças genéticas e a efeitos diretos do meio.

2. Os efeitos do meio sobre o fenótipo de um organismo não afetam os genes transmitidos pelo organismo a seus descendentes. Ou seja, características adquiridas não são herdadas. O meio pode, entretanto, afetar a expressão dos genes de um organismo.

3. As variações hereditárias se baseiam nos genes, que retém sua identidade enquanto passam de uma geração para outra. Genes não se misturam com outros genes.

4. Genes sofrem mutação, em geral numa frequência bastante baixa, gerando formas alternativas (alelos). O efeito dessas mutações pode ser indetectável a extremo. A recombinação entre alelos do mesmo *loci* pode amplificar o efeito das mutações.

5. Fatores ambientais (tais como produtos químicos ou radiação) podem afetar a frequência de mutação, mas tais fatores de forma alguma garantem mutações que seriam favoráveis ao organismo.

6. A evolução é um processo populacional: ela afeta as proporções de indivíduos com diferentes genótipos dentro de uma população. Ao longo do tempo a proporção de um genótipo pode aumentar gradualmente e eventualmente substituir totalmente o genótipo alternativo. Isto pode acontecer tanto em determinadas populações quanto afetar toda uma espécie.

7. A mutação sozinha é insuficiente para modificar o genótipo de toda uma

34 Utilizo aqui um livro didático, um texto utilizado na formação de futuros biólogos e pesquisadores, por uma razão específica: os textos didáticos refletem, mais que qualquer texto científico específico, a ortodoxia presente. Seus autores buscam expressar da melhor maneira possível o consenso científico de sua área e tentam ao máximo evitar tópicos polêmicos ou aqueles sobre os quais existam disputas acirradas.

população. Tais modificações são causadas por dois outros fenômenos, flutuações aleatórias na proporção de um genótipo ("derivação genética aleatória") e/ou flutuações não aleatórias devidas à superioridade de um genótipo quanto à sobrevivência ou à capacidade de reprodução em relação aos genótipos alternativos (seleção natural).

8. Em determinadas circunstâncias, mesmo uma pequena pressão da seleção natural pode gerar grandes mudanças evolutivas em um intervalo de tempo relativamente curto. Diferenças muito pequenas entre dois organismos podem resultar em pequenas diferenças na sobrevivência ou na capacidade de reprodução. A seleção natural assim poderia explicar pequenas diferenças entre espécies e o aparecimento de novas características.

9. A seleção pode alterar uma população para além de sua faixa de variação original pelo aumento na proporção de alelos alternativos.

10. As populações naturais são geneticamente variáveis.

11. Populações de uma mesma espécie em regiões geográficas diferentes diferem em características genéticas.

12. É possível demonstrar que a maior parte das diferenças entre espécies diferentes e entre populações diferentes de uma mesma espécie se deve a diferenças genéticas, localizadas principalmente em fatores poligênicos. Esta descoberta sustenta a hipótese de que a especiação ocorre em pequenos passos e não através de mutações com grande efeito fenotípico.

13. A seleção natural continua ocorrendo nas populações atuais.

14. As diferenças entre populações geograficamente dispersas de uma mesma espécie são frequentemente adaptativas, pois estão muitas vezes correlacionadas com fatores ambientais relevantes.

15. O que determina a separação entre espécies são diferenças genéticas e não diferenças fenotípicas. Uma espécie é um grupo de indivíduos capazes de se reproduzir entre si. Não há troca genética entre espécies diferentes.

16. Mas há uma escala contínua de diferenciação entre populações, tanto em termos fenotípicos quanto no que diz respeito ao isolamento reprodutivo, indo desde populações quase idênticas até espécies completamente diferentes. Esta observação corrobora a ideia de que uma espécie ancestral se diferencia em duas por acumulação gradual de pequenas

diferenças e não em um salto mutacional único.

17. A especiação em geral ocorre pela diferenciação genética de populações separadas geograficamente. A separação evita que as pequenas mudanças genéticas se percam pelo cruzamento entre indivíduos com genótipos diferentes.

18. Há inúmeras gradações nas características fenotípicas de espécies do mesmo gênero, de gêneros diferentes, de famílias diferentes, etc. Isto corrobora novamente a ideia de que as famílias, ordem, classes etc aparecem através do acúmulo de pequenas mudanças e não em uma grande salto.

19. Apesar de incompleta, a evidência fóssil também apresenta exemplos de gradação entre supostos organismos ancestrais e descendentes muito diferentes. Isto novamente suporta a ideia de que a evolução de grandes diferenças se dá através de inúmeros pequenos passos.

20. Assim, todas as observações da evidência fóssil são consistentes com os princípios de mudança evolucionária apresentados acima. Não há então necessidade de invocar hipóteses tais como mecanismos Lamarckistas, evolução ortogenética, vitalismo ou o aparecimento abrupto de grandes mutações.

Veremos que os principais pontos de discordância de Piaget com esse quadro se relacionam à possibilidade de efeitos do fenótipo sobre o genótipo (o segundo item), aos efeitos de fatores ambientais sobre as mutações e por conseguinte sobre o genótipo (o ponto cinco da lista acima), à aleatoriedade das mutações e, por fim, à conclusão radical de que "não há necessidade" de invocar explicações alternativas para explicar qualquer fenômeno relacionado à evolução.

O entendimento da evolução como mudanças de frequência nos genes e o inegável sucesso da biologia molecular em desvendar o mecanismo de funcionamento do DNA eventualmente leva à noção do "gene egoísta" de Dawkins, uma redução final de todo o processo evolutivo à evolução de genomas submetidos à seleção natural (Dawkins, 1987). O fenótipo, nesse caso, é quase um epifenômeno, um intermediário necessário porém desinteressante entre a receita (o genótipo) e seu julgamento (o sucesso ou fracasso do genótipo em se perpetuar sob o filtro da seleção natural). Dawkins utiliza inclusive a analogia da receita de bolo para explicar a impossibilidade, no escopo da teoria neo-darwinista, da herança de caracteres adquiridos. Falhas ou modificações fortuitas na execução do bolo, diz ele, não afetam de forma nenhuma a receita original

(Dawkins, 1987). Entretanto, como já mostramos, há sérios indícios de que essa analogia não se sustenta quando a receita é guardada dentro do bolo...