

Esse texto é parte do livro "Ciência como atividade Humana de G. F. Kneller, Ed. Zahar/EDUSP, S.P., 1980 Tradução da 1ª edição, 1978

6

Dos Dados às Teorias

A Estrutura do Conhecimento Científico

Usando, em grande parte, o método que examinamos, as ciências naturais acumularam conhecimentos que estão muito além da capacidade de apreensão de uma só cabeça. Cada ciência estuda algum aspecto do mundo. As ciências físicas – Física, Química, Astronomia, as ciências da Terra – investigam a matéria inanimada. A Física e a Química são ciências experimentais, ciências de laboratório, ao passo que a Astronomia e as ciências da Terra apóiam-se principalmente na observação. A Química difere da Física ao estudar as propriedades de tipos especiais de matéria, em vez das propriedades da matéria em geral. Porque se concentram numa quantidade comparativamente pequena de propriedades, a Física, Química e Astronomia puderam moldar leis e teorias matemáticas, e testá-las com grande precisão.

As ciências da vida, como Biologia, Botânica, Zoologia e Fisiologia, ocupam-se de uma profusão bem maior de fenômenos. Uma amostra representativa de seus problemas poderia incluir o comportamento e distribuição de populações animais, as relações taxonômicas de baleias, o funcionamento do sistema nervoso central e a reprodução de moléculas de DNA. Em virtude de sua estrutura hierárquica, as entidades biológicas (sejam células ou organismos) tendem a variar mais do que suas contrapartes na Física e Química. Por causa do processo sexual, diferem em sua dotação genética. Logo, são muito menos previsíveis. Considere-se como é difícil formular previsões a partir de experimentos de genética populacional. Como sublinhou Theodosius Dobshansky:

Suponhamos que as raças [de drosófila que são] cruzadas diferem apenas em 100 genes. A genética elementar nos ensina que com 100 diferenças de genes são possíveis nos descendentes 3^{100} combinações de genes. Isto é um número enorme – muitas vezes maior do que o número total de drosófilas que algum dia existiu. Somente uma fração mínima das possíveis combinações de genes é realizada em qualquer população experimental, ou em todas as populações

combinadas... A indeterminação de nossos experimentos é causada, em última instância, pela tremenda eficiência do processo sexual na criação de novas dotações genéticas.¹

O biologista, portanto, raramente pode atingir a precisão do físico no estudo das coisas mais simples e mais estáveis; em contrapartida, ele descreve uma gama muito maior de fenômenos naturais em maior detalhe.

Também está crescendo rapidamente o número de interciências: a astrofísica, por exemplo, que utiliza a física para estudar os fenômenos celestes, é uma das áreas mais ativas da Ciência. Só nas duas últimas décadas, a astrofísica descobriu quasares, pulsares e estrelas de raios X, e desenvolveu as propriedades dos buracos negros. A biologia molecular é a mais dinâmica das ciências da vida e também a mais controversa, por causa da sua contribuição para a nova tecnologia da engenharia genética. Os biólogos moleculares utilizam a química, genética e física (por exemplo, análise de difração de raios X) para investigar a estrutura e as interações de grandes moléculas. Outras interciências incluem a geofísica e a física planetária, a biofísica, a bioquímica e a química física.

O conhecimento científico expressa-se em enunciados e conjuntos de enunciados de quatro espécies principais: relatos de observações, esquemas de classificação, leis e generalizações, e teorias. Grande parte da física está organizada dedutivamente pelas teorias da mecânica quântica e da relatividade, formando cada teoria e os enunciados que ela acarreta um sistema lógico singular. Toda a química pode, em princípio, ser derivada da mecânica quântica, a qual mostrou que as propriedades das 106 espécies de átomos são uma consequência da interação entre o núcleo atômico e os seus elétrons circundantes. De momento, porém, em virtude de dificuldades matemáticas, só o comportamento das moléculas mais simples pode ser deduzido diretamente da mecânica quântica.²

Porque o seu objeto de estudo é mais complexo, tanto as geociências como as biociências não lograram atingir esse grau de estrutura lógica. A teoria da evolução, por exemplo, com a genética populacional em seu âmago, organiza de forma indefinida os conhecimentos produzidos por várias ciências menos abrangentes, como a Sistemática (que estuda a distribuição dos seres vivos), a Morfologia (que estuda a estrutura dos seres

¹ "On Methods of Evolutionary Biology and Anthropology", *American Scientist*, 45 (1957): 390. Sobre biologia em geral, ver Peter B. Medawar e Jean S. Medawar, *The Life Sciences: Current Ideas of Biology* (Nova York: Harper, 1977). [Título da edição brasileira: *A Ciência da Vida: Ideias e Conceitos Atuais de Biologia*, Rio, Zahar, 1978, trad. de Álvaro Cabral.]

² Michael J.S. Dewar, "Quantum Organic Chemistry", *Science* 187 (21 de março de 1975): 1037-44.

vivos), a Paleontologia (o estudo de organismos há muito extintos e fossilizados) e a Embriologia (o estudo do desenvolvimento de coisas vivas). Grande parte deste conjunto está apenas "esboçado", e numerosos enunciados estão vinculados entre si por conjecturas informadas, não por implicação lógica. Tais enunciados não são estritamente deduzidos de outros. Pelo contrário, pensa-se que eles "poderiam decorrer" de outros ou que é razoável sustentá-los "à luz" de outros. Não obstante, as teorias evolucionárias serão provavelmente axiomatizadas de um modo mais completo na devida oportunidade.³

A Busca de Ordem

A Ciência procura não apenas registrar determinados fatos mas também descobrir regularidades entre eles. Existe uma ordem na natureza, no sentido de que muitos fenômenos têm características comuns. Quando estudamos processos que ocorrem sob uma vasta gama de condições, verificamos frequentemente que, dentro dessa gama, certas características permanecem constantes. Verificamos, por exemplo, que objetos soltos no ar de muitas maneiras e em muitos tipos de condições atmosféricas caem invariavelmente no solo. Investigando mais a fundo, descobrimos que, se for ignorada a resistência do ar, a aceleração desses objetos é constante. Do mesmo modo, observamos que em muitos climas e países as plantas crescem desde a semente até à colheita, e que as estrelas fixas parecem nascer e pôr-se diariamente nas mesmas posições. A natureza é abundante em tais regularidades.

Diz-se frequentemente, pois, que o cientista não está interessado em eventos ou fenômenos únicos. Mas isto só é verdade em parte. Um fenômeno único é o resultado de condições que não foram repetidas nem podem ser reproduzidas por homens. Entretanto, alguns desses eventos são de enorme interesse científico, pois explicá-los aumentaria imensamente a nossa compreensão do universo. Quanto não daríamos para conhecer a origem exata do universo, um evento absolutamente único, ou as origens da vida e da espécie humana, eventos que a maioria dos biólogos considera virtualmente irrepetíveis?⁴

³ Michael Ruse, *The Philosophy of Biology* (Londres: Hutchinson University Library, 1973), cap. 4. A descoberta da tectônica de placas desempenha um papel semelhante nas ciências geológicas.

⁴ Por exemplo, Jacques Monod, *Chance and Necessity: An Essay on the Natural Philosophy of Modern Biology*, trad. de Austryn Wainhouse (Nova York: Knopf, 1971), pp. 144-46.

Consideremos alguns fenômenos que outrora foram considerados únicos. Em novembro de 1572, apareceu uma nova estrela que superava em luminosidade todos os outros corpos celestes e surpreendeu os estudiosos de toda a Europa. Na Suécia, o jovem Tycho Brahe viu-a quando regressava para casa, de noite, da abadia de seu tio, onde estudava alquimia. Usando o seu sextante, Brahe calculou que ela estava fora da atmosfera terrestre, para além da Lua, de fato, entre as estrelas fixas. Entretanto, ela era manifestamente impermanente. Como tal, parecia refutar o pressuposto clássico de que os céus eram imutáveis. Sabemos hoje que se tratava de uma supernova, a explosão de uma estrela que se desintegra sob a força de sua própria gravitação. (Uma supernova expelle um invólucro de matéria gasosa e ardente que leva séculos para esfriar. Na nebulosa do Caranguejo o telescópio revela o remanescente de uma explosão muito mais espetacular que foi observada pelos chineses e japoneses em 1054.)⁵ Em outubro de 1604, apareceu uma outra supernova sobre a Europa e foi observada pelo antigo assistente de Brahe: Johannes Kepler. Esse repetido desafio ao sistema aristotélico excitou Galileu que, seis anos mais tarde, voltou seu telescópio para a Lua e achou-a deformada e imperfeita.

Ou veja-se o caso do celacanto. Essa criatura corpulenta, feia e gordurosa foi capturada por pescadores ao largo de Madagascar em 1938 e reconhecida pela conservadora do museu local. Para sua surpresa, o animal assemelhava-se aos peixes que, rastejando, haviam saído das profundezas dos mares devonianos, há 370 milhões de anos, para se tornarem os ancestrais de 80 trilhões de animais terrestres. Entretanto, segundo o registro fóssil, esses peixes estavam extintos há mais de 70 milhões de anos! Ela remeteu um desenho ao ictiologista sul-africano J.L.B. Smith, que o identificou. Sobre o espécime levado para o seu laboratório, disse mais tarde: "Dificilmente teria ficado mais espantado se encontrasse um dinossauro na rua". A importância da descoberta não estava na possibilidade de encontrar mais espécimes de celacanto, mas no reconhecimento de que esse pouco atraente animal era um dos elos mais decisivos na cadeia evolucionária. Como disse Michael Polanyi: "Descobertas como essas são valiosas pelo alcance de suas implicações, ainda que não estabeleçam novas leis gerais. Oferecem algo mais impreciso e também mais profundo, uma compreensão mais verdadeira de um vasto domínio da experiência."⁶

⁵ A nebulosa do Caranguejo só foi associada à supernova 1056 em 1928, pelo astrônomo americano Edwin Hubble.

⁶ *Personal Knowledge*, p. 137.

Classificação

Os eventos únicos são cientificamente importantes quando nos ajudam a encontrar ordem e regularidade no universo. Mas só podemos reconhecer os fenômenos como regulares se os classificarmos. A classificação é a reunião de objetos ou eventos em grupos, de acordo com as suas propriedades comuns. Depende do fato de as coisas se assemelharem entre si ou diferirem umas das outras. Mas fazem-no de inúmeras maneiras. Consideremos as flores em meu jardim. Poderia classificá-las por propriedades tais como altura, aroma, cor, mês de floração ou distância de minha casa. Devo ser cuidadoso, portanto, ao escolher as propriedades que as definem de maneira importante. Por conseguinte, eu começaria provavelmente por ignorar a propriedade de distância. Assim, também o químico, ao classificar substâncias, destaca certas propriedades, como cor, dureza, ponto de fusão e reatividade ao oxigênio. Ignora características tais como a data em que a substância foi descoberta ou a localização da maior amostra conhecida.

Quais são as finalidades da classificação? São elas: organizar a informação, ajudar a memória e, sobretudo, descrever de tal modo a estrutura e as relações das coisas que possam ser formulados enunciados gerais a respeito das mesmas. Que espécie de classificação serve melhor à última das finalidades enumeradas? Para responder a esta questão, cumpre distinguir entre classificação natural e artificial. Uma classificação *natural* procura expor a natureza verdadeira das coisas. Agrupa os fenômenos de acordo com o que se pensa serem as suas propriedades fundamentais, em especial aquelas que se relacionam com outras propriedades de maneira importante e que, portanto, podem figurar em generalizações que levam ao estabelecimento de leis. Uma classificação *artificial* divide os fenômenos de acordo com características facilmente observáveis e, com frequência, superficiais. Logo, não reflete a natureza subjacente das coisas nem conduz a generalizações importantes;⁷ habilita-nos a identificar a classe a que uma coisa pertence, e nada mais. Por exemplo, os seres humanos podem ser divididos *naturalmente* de acordo com suas características sexuais primárias, as quais estão correlacionadas com uma grande variedade de traços físicos, fisiológicos e psicológicos; ou podem ser divididos *artificialmente* entre os que

⁷ Abraham Kaplan, *The Conduct of Inquiry* (São Francisco: Chandler, 1964), pp. 50-51: "Um agrupamento natural propicia a descoberta de outras analogias mais importantes do que as originalmente percebidas... É artificial quando não podemos obter dele mais do que inicialmente se pretendeu". [Título da edição brasileira: *A Conduta na Pesquisa*, Ed. Herder/USP, 1969, trad. de L. Hegeberg e Octanny S. da Mota.]

pesam mais de 50 quilos e os que pesam menos, um traço que está relacionado com poucos mais.⁸

Nas ciências da vida, a classificação moderna começou em fins do século XVII com os trabalhos do naturalista inglês John Ray. Embora Ray classificasse artificialmente, ele foi o primeiro a descrever as espécies com precisão. Além disso, apontou o caminho para uma classificação natural ao repartir as espécies em categorias de acordo com estruturas, tais como a disposição dos dentes ou a forma dos pés em animais, em vez da cor ou do habitat. No século seguinte, o botânico sueco Carolus Linnaeus forneceu a nomenclatura binominal e a hierarquia de classe, ordem, gênero e espécie, que desde então nunca mais deixaram de ser usadas na classificação biológica. Ele classificou plantas pela estrutura de seus órgãos reprodutores (a quantidade e a disposição de seus estames e carpelos), distinguindo entre aquelas plantas que têm flores e sementes reais e as que não têm, e subdividindo as primeiras em formas bissexuais e unissexuais. Embora reconhecesse que não tinha realizado um sistema natural, ele fez da classificação biológica uma autêntica disciplina.

Trabalhos subsequentes colocaram a Biologia mais perto das classificações naturais. Em começos do século XIX, por exemplo, Jean-Baptiste Lamarck separou os aracnídeos e os crustáceos dos insetos como classes distintas, e distinguiu entre vertebrados com espinha dorsal (peixes, anfíbios, répteis, aves e mamíferos) e invertebrados sem ela. (Curiosamente, os invertebrados, definidos por uma característica que não possuem, totalizam 90% de todas as espécies animais!) Em seguida, coube a Darwin, com a teoria da evolução, promover uma classificação muito mais profunda das espécies. Quando os biólogos aceitaram a teoria, compreenderam que a semelhança entre espécies que possuem em grande número as mesmas características não era devida a qualquer afinidade natural (como haviam pensado), mas ao fato de essas espécies terem uma origem evolucionária comum. Mais importante ainda, a natureza de ramificação linear da evolução tornou possível, em princípio, criar um sistema de classificação por ramificação linear. A teoria mostrou que, dada informação suficiente, as coisas vivas podiam ser dispostas numa árvore filogenética em vez de uma coleção de classes distintas. Desde então, a classificação por ramificação linear, à qual podem ser facilmente aplicadas sucessivas subdivisões, foi desenvolvida e aperfeiçoada, refletindo a descendência das próprias espécies.

Talvez o mais impressionante exemplo de uma classificação natural seja o sistema periódico dos elementos, de Dmitri Mendeleev. Em 1869, Mendeleev propôs que, se os elementos forem dispostos por ordem de peso

⁸ Carl G. Hempel, *Aspects of Scientific Explanation and Other Essays in the Philosophy of Science*, pp. 146-47.

atômico, enquadram-se em grupos que possuem propriedades químicas semelhantes. Outros químicos já tinham observado uma certa regularidade nos elementos, mas Mendeleev teve a coragem de declarar que o seu princípio de periodicidade era uma lei fundamental da natureza e que quaisquer deficiências aparentes em sua tabela eram o resultado de erros grosseiros na medição dos pesos atômicos ou então deviam ser imputadas ao fato de certos elementos ainda não terem sido descobertos. Nos 16 anos seguintes, seu sistema foi corroborado pela descoberta do escândio, gálio e germânio, cuja existência ele tinha previsto. Trinta anos mais tarde, numa insólita metamorfose, Rutherford e Bohr demonstravam que o número atômico de um elemento, o qual simplesmente assinalava o seu lugar na tabela, era a chave para a sua estrutura subjacente. Esse número, disseram eles, é igual ao número de prótons no núcleo, o qual é igual ao número de elétrons que o cercam. Assim, um átomo de urânio, então o mais pesado elemento conhecido, tinha o número 92 na tabela, um núcleo de 92 prótons e 92 elétrons em órbita.

Hoje, com mais de 200 partículas conhecidas e nenhuma teoria aceita para explicá-las, a física das partículas elementares defronta um caos semelhante ao da química, há um século. Em 1963, num lance mendeleeviano, Murray Gell-Mann e Yuval Ne'eman propuseram que partículas com o mesmo *spin*, e a mesma paridade deviam ser agrupadas de acordo com um esquema matemático chamado SU (3).⁹ O esquema previa, por exemplo, a existência de oito partículas com *spin* 1/2 e "paridade positiva", precisamente o número que tinha sido descoberto. O esquema também previa a carga, massa, *spin* e paridade de uma partícula ausente, a *omega*-menos. Os experimentalistas acudiram ao desafio. Numa câmara de bolha do acelerador de prótons de Brookhaven, então o maior do mundo, foram batidas 100.000 fotografias. Estas foram esmiuçadas durante semanas até que, finalmente, depois de 50.000 terem sido examinadas, a partícula foi localizada num canto de uma delas.

Ao contrário de Mendeleev, Gell-Mann procurou explicar as relações apontadas em sua tabela. Em 1966, apresentou a sua teoria do *quark*, ainda por confirmar, na qual sustenta que existem três partículas básicas, chamadas *quarks*, a partir das quais todas as outras se formam. Entrementes, em 1974, uma quarta espécie de *quark* foi adicionada, com a proposta

⁹ SU (3) é a abreviatura de "Special Unitary Group in 3 dimensions". Em poucas palavras, "spin" designa a quantidade de movimento angular de uma partícula elementar, sendo considerada resultante do movimento de rotação em torno de um eixo interno.

de uma nova propriedade da matéria chamada "charm". Quando a teoria do *quark* foi aplicada em detalhe durante os dez anos seguintes, tornou-se claro que, para explicar os dados, impunha-se postular ainda uma outra propriedade que fosse capaz de assumir três valores possíveis. Essa propriedade foi apelidada "color", embora nada tenha a ver com a cor na acepção corrente da palavra. Adicionada a cada uma das quatro espécies de *quarks*, essa propriedade triplicava, com efeito, o número deles. Experimentos recentes sugerem a possibilidade de que ainda existam mais *quarks*. Assim, a teoria do *quark*, introduzida para explicar a abundância de partículas, poderá em breve ter que ser ela própria explicada.¹⁰

Classificação e generalização desenvolvem-se frequentemente juntas. Se o cientista se recusa a generalizar enquanto o fenómeno não tiver sido classificado, ele não poderá dizer se a classificação proposta é suscetível de estimular hipóteses. Por outro lado, se ele generaliza a respeito de fenómenos que estão inadequadamente classificados, não pode estar certo de que as suas hipóteses se aplicarão para além de seus dados. Cumprir assinalar também que classificar é, em si mesmo, uma generalização limitada – a de que todos os membros de uma determinada classe possuem tais e tais propriedades. Classificar baleias, por exemplo, como mamíferos e não como peixes é generalizar que todos os filhotes de baleia são aleitados por suas mães.¹¹

Leis

A finalidade da classificação é conduzir à formulação de leis – enunciados que descrevem regularidades ou normas.¹² Uma lei científica adota a seguinte forma: "Sempre que tiver a propriedade A, então terá a propriedade B." Uma lei pode afirmar que tudo o que tiver A também tem B – por

¹⁰ "Quark" é uma palavra usada por James Joyce em *Finnegan's Wake*: "Three quarks for Muster Mark!" Originalmente, significava "grasnar", "grunhir". Para informações sobre os *quarks*, ver Sidney D. Drell, "Elementary Particle Physics", *Daedalus* 106 (verão de 1977): 15-32.

¹¹ Ver Romano M. Harré, *The Principles of Scientific Thinking*, pp. 137-41.

¹² A palavra "lei" é usada em duas acepções: uma regularidade e um enunciado que pretende descrevê-la, isto é, um enunciado de lei. Quando dizemos que as coisas e os eventos "observam" ou "obedecem" às leis da natureza, falamos metafóricamente sem nos apercebermos disso. Consideradas como regularidades, as leis da natureza expressam mais do que restringem os caracteres das coisas; consideradas como enunciados, elas descrevem mais do que prescrevem como as coisas se comportam. Essa metáfora vestigial é um remanescente da crença em que a natureza obedece às leis de Deus.

exemplo, que toda a barra de cobre tem um ponto de fusão de 1.083 graus centígrados. Esta lei descreve uma regularidade de *coexistência*, um padrão nas coisas. Ou pode afirmar que sempre que uma coisa tendo A se encontra em certa relação com uma outra coisa de uma determinada espécie, esta última tem B; por exemplo, sempre que uma pedra é jogada à água, produz uma série de ondas concêntricas que se expandem. Esta lei descreve uma regularidade de *sucesso*, um padrão nos eventos. Os esquemas de classificação descrevem regularidades de coexistência; as leis descrevem regularidades de ambos os tipos.

Uma lei científica desempenha duas funções principais. Em primeiro lugar, resume uma grande quantidade de fatos e, portanto, favorece a economia de pensamento, pois se conhecermos a lei não precisamos recordar os fatos. Em segundo lugar, habilita-nos a prever novos fatos, porquanto nos diz que, se um fenômeno é um caso previsto pela lei, ele se comportará conforme a lei estabelece. As leis são de dois tipos: generalizações empíricas, por vezes chamadas leis empíricas ou fenomenológicas; e leis da natureza, por vezes chamadas leis teóricas.

Uma *generalização empírica* é um enunciado resultante da inferência de que o que foi observado em determinados casos de um fenômeno será observável em todos os casos. Alguns exemplos são: "O calor dilata os metais", "A água procura o seu próprio nível", "Os mamíferos produzem a sua própria vitamina C" e "O sal cristaliza em cubos." Muitas generalizações tornaram-se leis amplamente conhecidas, como as três leis do movimento planetário, de Kepler; a lei da queda livre dos corpos, de Galileu; a lei do pêndulo simples (a de que o período de um pêndulo simples oscilando num pequeno arco é proporcional à raiz quadrada do seu comprimento); a lei dos gases, de Boyle-Charles (a de que o volume de uma dada massa de gás varia inversamente com a pressão que se exerce sobre ela); a lei de Ohm (a de que a corrente elétrica que flui através de um corpo é proporcional à voltagem aplicada); e a segunda lei da termodinâmica ("não pode haver transferência de calor de um corpo mais frio para um corpo mais quente sem que se verifique algum outro efeito"). Não obstante, as generalizações não são explanatórias. O volume decrescente de um gás sob pressão não é explicado por referência à generalização de que em todos os casos o volume de um gás varia inversamente com a sua pressão. Para explicar este fenômeno, como mostrarei, devemos usar a teoria cinética dos gases.

As generalizações empíricas devem ser distinguidas de uma *declaração de tendência*, a qual afirma que uma coisa é capaz de comportar-se de uma certa maneira, sob certas condições não-especificadas. A Biologia está repleta de declarações de tendência, como a regra de Cope, segundo a qual as dimensões do corpo tendem a aumentar durante a evolução de um grupo; a "lei" de Dacqué, de que as espécies contemporâneas, vivendo na

mesma área, tendem a mudar de maneira análoga; e o princípio de Bergmann, de que em regiões mais frias os membros das raças geográficas de animais de sangue quente são maiores do que os membros das mesmas espécies em regiões mais quentes. Estes enunciados não se qualificam como leis ou generalizações porque as exceções são demasiado numerosas. Por exemplo, apurou-se que 20-30% das aves paleárticas e neo-árticas e 30-40% dos animais paleárticos e neo-árticos são exceções ao princípio de Bergmann.¹³ As declarações de tendência são frequentemente propostas nas ciências do comportamento, onde se desconhecem as condições que sustentam uma suposta regularidade. São exemplos a "lei" do efeito, de Thorndike, a qual afirma que, na aprendizagem humana, uma associação tende a fortalecer-se quando seguida de conseqüências "satisfatórias", e a "lei" de Durkheim de que os suicídios tendem a aumentar em épocas de rápida transformação econômica.

Uma generalização empírica converte-se em lei quando é incorporada numa teoria. A lei declara a existência de um padrão estável em eventos e coisas, e a teoria assinala o mecanismo responsável por esse padrão. A teoria cinética dos gases explica a lei de Boyle-Charles ao propor o mecanismo de uma nuvem de moléculas de gás que colidem umas com as outras; a teoria da gravitação de Newton explica a lei da queda livre dos corpos, de Galileu, ao postular uma força gravitacional e especificar seu modo de funcionamento — mas não sua natureza. Pois até sermos capazes de apontar uma única causa subjacente não poderemos ter a certeza de que o padrão não é o resultado fortuito de muitas causas diferentes atuando independentemente nem, por conseguinte, uma verdadeira regularidade.¹⁴

Não obstante, muitas generalizações foram chamadas leis antes de serem incluídas em teorias; por exemplo, as leis de Kepler, a lei de Boyle, a lei de Charles e a lei de variação mútua entre condutividade térmica e elétrica de Wiedemann-Franz. Esse uso reflete a maior confiança que os cientistas depositam nas generalizações empíricas, propriamente ditas, em contraste com as generalizações taxonômicas. Uma generalização taxonômica é considerada, simplesmente, um resumo de provas e, portanto, refutável por um caso contrário. Por outro lado, uma generalização empírica, em vez de ser refutada por um exemplo contrário, é normalmente limitada, modificada ou idealizada, de modo que o aparente desmentido caíra fora do seu âmbito.

Em alguns campos, a irregularidade no comportamento de fenômenos individuais coexiste com uma tendência regular no comportamento de

¹³ Bernhard Rensch, *Biophilosophy*, trad. de C.A.M. Sym (Nova York: Columbia University Press, 1971), pp. 131-42.

¹⁴ Harré, *Principles of Scientific Thinking*, p. 152.

uma extensa série ou amplo agregado de tais fenômenos. Na extensa série ou no amplo agregado, as variações individuais tendem a anular-se mutuamente, surgindo as regularidades estatísticas. Estas são descritas por *leis estatísticas*. Enquanto que as leis universais têm a forma "Sempre que A, então B", as leis estatísticas apresentam as seguintes formas: "Probabilidade de que, quando A, então B, é p " ou "Probabilidade de que um A sendo também B é p ". São exemplos as leis da mecânica quântica e da mecânica estatística, da genética e da desintegração espontânea de um corpo radioativo. Assim, a lei de Maxwell-Boltzmann estabelece que a quantidade média de energia usada para cada direção diferente de movimento de um átomo é sempre a mesma. A lei da desintegração radioativa diz que todas as substâncias radioativas puras se desintegram exponencialmente. Por exemplo, 50% dos átomos num fragmento de rádio desintegrar-se-ão dentro de 1.600 anos. Mas o processo não pode ser previsto para cada átomo, individualmente considerado; não podemos dizer quais os átomos que se desintegrarão durante esse período, mas apenas que isso acontecerá com 50% deles. Afirmamos a probabilidade de que um determinado átomo se desintegrará em 50% no prazo de 1.600 anos.

Outras leis são formuladas com as teorias de que elas fazem parte, como as leis do campo eletromagnético de Maxwell, as leis da mecânica quântica, o princípio de seleção natural e a lei da genética de populações de Hardy-Weinberg.¹⁵ Estas leis altamente abstratas são freqüentemente denominadas princípios teóricos. São os componentes fundamentais de qualquer ciência. Um papel semelhante é desempenhado pelas leis de movimento e gravitação de Newton, embora estejam mais perto do nível de observação.

Quando as leis são bem confirmadas, passam a ser vistas como definições dos termos que contêm e, portanto, como verdadeiras por definição. Recebem então o nome de *convenções*. As leis do movimento de Newton são freqüentemente tratadas como convenções.¹⁶ $F = ma$ é considerado uma definição de força e uma regra que especifica uma técnica para a medição de forças. Como tal, é considerada irrefutável. A lei da conservação de energia, que começou como uma generalização empírica, é agora uma definição. A lei de Hooke (de que a deformação verificada num corpo elástico é proporcional à força causadora dessa deformação) tornou-se uma definição da constante elástica.

¹⁵ A lei de Hardy-Weinberg diz que, sob certas condições idealizadas, as freqüências genotípicas dos zigotos (progenie) são o quadrado das freqüências gênicas dos gametas (células reprodutoras maduras).

¹⁶ Sobre o status convencional das leis de Newton, ver Norwood Russell Hanson, *Patterns of Discovery*, cap. 5; e Ernst Nagel, *The Structure of Science*, pp. 174-202.

Leis e generalizações tornam-se mais rigorosas depois que são testadas sob diversas condições. Esses testes revelam freqüentemente fatores causais que foram esquecidos quando a lei recebeu sua formulação original. Por exemplo, foi declarado que o ponto de fusão do gelo era 0°C. Novas investigações, porém, revelaram que sob maior pressão o gelo tende a derreter a temperaturas mais baixas. Portanto, o ponto de fusão é agora indicado como função da pressão. O hidrogênio ordinário foi considerado por muito tempo uma substância pura. Em 1931, entretanto, verificou-se que contém um pouco de deutério, o qual pode ser isolado e tem propriedades físicas muito diferentes.

Quando uma lei ou generalização não-taxonômica se defronta com contra-exemplos, o cientista pode proceder de acordo com um dos três métodos seguintes.¹⁷ Pode limitar o âmbito da lei, expressando os contra-exemplos na forma de *condições-limites*, as quais indicam as circunstâncias em que uma lei deixa de ser válida. Pode modificar a lei, combinando-a com as condições-limites a fim de se produzir uma nova lei. Por exemplo, comprovou-se que a lei dos gases de Boyle-Charles, a qual estabelece que $pV = RT$ (p = pressão, V = volume, R = a constante universal dos gases e T = a temperatura absoluta), não é válida em pressões elevadas e temperaturas baixas. Essas condições-limites foram então incorporadas por Johannes D. Van der Waals à equação que porta o seu nome,

$$(p + a/v^2)(v - b) = RT$$

em que a/v^2 é uma correção para a atração mútua existente entre as moléculas e b é uma correção para o volume real das próprias moléculas. Finalmente, o cientista pode idealizar a lei, estabelecendo que ela só é válida para entidades ideais carentes daquelas propriedades que o forçariam a indicar condições-limites para a lei, tal como fora originalmente formulada. Assim, a lei de Boyle-Charles aplica-se ao comportamento de gases ideais e as leis da mecânica aplicam-se aos movimentos de corpos ideais. Essas leis têm que ser corrigidas quando são usadas para prever o comportamento de fenômenos reais.¹⁸

¹⁷ Ver Harré, *Principles of Scientific Thinking*, pp. 143-45.

¹⁸ Sobre leis, ver Mario Bunge, "Scientific Laws and Rules", em *Contemporary Philosophy: A Survey*, org. por Raymond Klibansky: vol. 2, *Philosophy of Science* (Florença, Itália: La Nuova Italia Editrice, 1968), pp. 128-40; e John Oulton Wiedam, *Foundations of Inference in Natural Science* (Londres: Methuen, 1952), pp. 23-28. Para um exame mais amplo, ver R.B. Braithwaite, *Scientific Explanation* (Cambridge: Cambridge University Press, 1953), cap. 9; Harré, *Principles of Scientific Thinking*, caps. 4 e 5; e Peter Achinstein, *Laws and Explanation: An Essay in the Philosophy of Science* (Oxford: Oxford University Press, 1971).

As Leis como Equações Matemáticas Quando os fatos descritos pela lei são expressos numericamente (isto é, quando são usados números para representar o montante de covariância das propriedades mencionadas na lei), a lei pode ser redigida como um enunciado matemático. Tal como no caso da fusão do gelo sob pressão, o cientista deseja com frequência encontrar uma "relação funcional" entre propriedades que variam. Pode, por exemplo, desejar determinar como o comprimento de uma barra de ferro varia com a temperatura do ferro, como o volume de um gás muda com a pressão sobre ele exercida, ou como a distância coberta por um corpo em queda livre perto da superfície da Terra muda com o tempo. Uma *função* é uma relação entre duas quantidades variáveis, a qual especifica que um dado valor de uma quantidade é acompanhado por um valor correspondente da outra. Expressa-se simbolicamente como $y = f(x)$, significando que y é uma função de x , ou que y varia quando x varia.

Suponhamos que o cientista deseja encontrar uma relação funcional entre corrente elétrica e voltagem num condutor. Ele começa por alterar a intensidade da corrente em quantidades fixas e anotar as voltagens correspondentes. Pode obter os seguintes números:

Corrente (C)	Voltagem (V)
1	2
2	4
3	6
4	8
5	10

(C e V representam quaisquer números que o cientista possa obter medindo a intensidade e a voltagem da corrente.) Ele procura então uma relação exata entre os dois grupos de números, que possa expressar-se como função algébrica. Muitas vezes não encontra nenhuma. Poderá descobrir, por exemplo, que os números variam independentemente uns dos outros, o que significa que as propriedades representadas pelos números não estão regularmente correlacionadas. No nosso caso, porém, ele descobre que o número que representa a corrente é sempre o dobro do que representa a voltagem. Expressa então essa relação na função $V = 2C$.

Para checar este resultado, o cientista efetua uma outra série de experimentos usando um condutor diferente e apura que, desta vez, a intensidade da corrente é sempre o triplo da voltagem, uma relação que ele expressa na função $V = 3C$. Agora pode ser feita uma nova generalização. Assim como os números obtidos por mensuração podem ser representados pelas variáveis numéricas V e C, também a relação entre esses números, a qual é designada pelas constantes numéricas 2 e 3, pode ser representada por uma variável numérica representativa dos valores numéricos de uma

terceira propriedade do fenômeno sob investigação. Essa propriedade é responsável pelo fato de a voltagem ser o dobro da intensidade da corrente na primeira série de experimentos, e o triplo dessa intensidade na segunda série. O cientista conjectura que se trata da resistência do condutor e simboliza-a pela letra R. Usando R como uma variável, ele escreve agora $V = CR$, que expressa uma generalização universal derivada dos resultados de seus experimentos. Esta equação resume as suas observações e pode ser usada para prever todas as futuras observações dessa classe de fenômenos. Estabelece que a magnitude da voltagem é sempre igual ao produto da intensidade da corrente e da resistência do condutor. Se esta generalização funcional for amplamente confirmada pelos experimentos de outros cientistas, pode-se-lhe chamar uma lei; e se for incorporada a uma teoria, adquirirá não só o título mas também o *status* de lei. (Trata-se, de fato, da lei de Ohm, e é explicada pela teoria eletromagnética de Maxwell.)

Abstração e Idealização Permitam-me que mencione de passagem que muitos fenômenos são complexos demais para serem entendidos em todos os detalhes. Na Física e Química, embora menos na Biologia, o cientista ignora frequentemente muitas características de um fenômeno e prefere selecionar algumas propriedades que, em conjunto, formam uma versão simplificada daquele. Ao estudar corpos em movimento, por exemplo, a mecânica clássica considera somente propriedades tais como velocidade, massa e distância percorrida no tempo, ignorando outras propriedades — como a textura e a cor.

O cientista também estipula que essas propriedades se mantêm sob condições idealizadas. A velocidade, por exemplo, é tratada como velocidade num ambiente sem fricção, e a massa como a substância que um objeto teria se estivesse concentrado num ponto sem dimensões. Um objeto que cai de uma mesa é representado como tendo caído num vácuo, sendo uma massa puntiforme e assim por diante. Os conceitos ideais da física incluem corpos perfeitamente rígidos, fluidos incompressíveis e planos sem fricção. Na Química existem compostos puros, processos adiabáticos (isto é, processos que ocorrem num sistema sem transferência de calor) e soluções infinitamente diluídas. A termodinâmica, a mecânica estatística e a mecânica quântica tratam com idealizações semelhantes. As leis dos gases de Boyle e de Charles descrevem o comportamento de gases ideais, não dos reais. A teoria da valência em Química trata as reações entre substâncias químicas teoricamente puras, ficções ideais de que as substâncias reais apenas se aproximam. A moderna teoria sintética da evolução explica os fenômenos evolucionários como o resultado de mudanças na distribuição dos genótipos (composições genéticas de indivíduos ou grupos) numa população. Trata as populações de indivíduos como populações idealizadas de genótipos cuja distribuição se altera em resposta a mudanças em apenas

alguns fatores selecionados, como as taxas de reprodução, as barreiras reprodutivas e as frequências de permutação ou *crossover*. Os cientistas não afirmam que essas idealizações realmente existem, mas tão-somente que os fenômenos reais se aproximam de seu comportamento dentro de nossas capacidades para medi-los.

A Estrutura das Teorias

Os mais importantes construtos da Ciência são as suas teorias. Uma teoria explica uma lei ao propor um mecanismo que responde pela regularidade descrita na lei, e ao impor a lei como consequência lógica de seus pressupostos. Tomemos como exemplo a teoria cinética dos gases.

A finalidade dessa teoria é explicar o comportamento dos gases sob várias condições. Antes de a teoria ser formulada, várias generalizações sobre o comportamento de gases já tinham sido propostas e confirmadas. Viu-se então que essas generalizações poderiam ser logicamente relacionadas e que as regularidades nelas expressas eram passíveis de explicação, caso se admitisse que um gás é realmente um aglomerado de partículas minúsculas e colidentes, deslocando-se a altas velocidades em linhas retas. Com base nestes pressupostos, somados às leis do movimento de Newton, foram deduzidas certas generalizações conhecidas acerca do comportamento dos gases, incluindo as leis de Boyle e de Charles, que descrevem como os gases reagem a várias temperaturas e pressões. Mas os cientistas fizeram também diversas deduções sobre algumas propriedades até então insuspeitadas dos gases, como viscosidade, difusão e condução do calor. Portanto, como todas as boas teorias, a teoria cinética não só organizou e explicou um certo número de leis conhecidas mas também produziu novas generalizações testáveis.

Qual é a estrutura dessa teoria? E todas as teorias terão a mesma estrutura? Examinemos duas tentativas recentes de articulação de uma estrutura comum para todas as teorias científicas.

Empirismo Lógico: as Teorias como Cálculos De acordo com os empiristas lógicos, a uma teoria científica pode ser atribuída uma estrutura tripartite que consiste em um cálculo, um conjunto de regras de correspondência e um modelo. Um *cálculo* é um sistema dedutivo de axiomas e teoremas, escritos inteiramente em símbolos lógicos, que não tem referência nenhuma no mundo exterior. A sua finalidade é expor simplesmente a estrutura lógica interna da teoria o mais claramente possível.

O cálculo está relacionado com o conteúdo empírico da teoria através de regras de correspondência, sentenças que correlacionam certos

termos lógicos no cálculo com termos de observação que descrevem aqueles fenômenos cuja explicação a teoria pretende oferecer. Por exemplo, pressupõe-se que a temperatura de um gás é proporcional à energia cinética média das moléculas do gás. Uma regra de correspondência, expressando essa igualdade, coordena o termo de observação "temperatura" com o termo no cálculo a ser designado "energia cinética".

Finalmente, o conteúdo empírico da teoria é representado por meio de um conjunto de sentenças a que se dá o nome de um *modelo*. As sentenças são obtidas substituindo os termos não-interpretados do cálculo por outros termos que já são conhecidos, como volume, temperatura e pressão. Alguns desses termos familiares aparecem em leis conhecidas (por exemplo, as leis de Boyle e de Charles) com a mesma forma lógica de alguns enunciados do cálculo. Outros, no caso da teoria cinética, por exemplo, são tomados da mecânica clássica: molécula, velocidade, massa. Para a maioria das fórmulas no cálculo podemos escrever sentenças equivalentes no modelo, com referência a propriedades ou a efeitos observáveis das moléculas do gás. O modelo é, neste sentido, uma interpretação do cálculo. Para os empiristas lógicos, entretanto, a essência da teoria continua sendo o cálculo. O modelo, diz Ernest Nagel, é apenas "um auxiliar heurístico... servindo de guia para o estabelecimento dos pressupostos fundamentais da teoria, assim como uma fonte de sugestões para a ampliação da teoria".¹⁹

O que ganhamos reconstruindo uma teoria desse modo? Sem dúvida, expomos mais claramente a estrutura dedutiva da teoria (na medida em que a teoria possuir uma), pois distinguimos, por exemplo, entre pressupostos e teoremas, e atribuímos a cada termo na teoria um significado preciso. Não obstante, o ganho em clareza é mais do que neutralizado pela perda de pertinência, pois o cálculo nada nos diz acerca do conteúdo da teoria. Esse conteúdo, incluindo a formulação do mecanismo explanatório, é o que interessa ao cientista que propõe a teoria e ao cientista que a usa. É mais razoável, e está mais de acordo com a prática, considerar o modelo como a essência da teoria e o cálculo como um refinamento. Por outro lado, como sublinhou Carl G. Hempel, uma teoria pode ser axiomatizada de muitas maneiras; a mais econômica e a mais elegante delas, e que o fi-

¹⁹ Ernest Nagel, *The Structure of Science*, pp. 108-9. A concepção lógico-empírica das teorias pode ser encontrada em R.B. Braithwaite, *Scientific Explanation*, caps. 1-3; Rudolf Carnap, "The Methodological Character of Theoretical Concepts", em *The Foundations of Science and the Concepts of Psychology and Psychoanalysis*, org. por Herbert Feigl e Michael Scriven, Minnesota Studies in the Philosophy of Science, vol. 1 (Minneapolis: University of Minnesota Press, 1956), pp. 38-76; Herbert Feigl, "The Origin and Spirit of Logical Positivism", em *The Legacy of Logical Positivism: Studies in the Philosophy of Science*, org. por Peter Achinstein e Stephen F. Barker (Baltimore: Johns Hopkins University Press, 1969), pp. 15-18; Carl G. Hempel, *Aspects of Scientific Explanation*, cap. 8.

lósofo poderá escolher para a sua reconstituição, não precisa corresponder ao modo como a teoria é realmente usada. Por exemplo, se a mecânica newtoniana é axiomatizada, a segunda lei do movimento pode ser apresentada como uma definição, uma premissa ou um teorema. Contudo, o papel desempenhado pela lei no sistema axiomatizado não nos diz se os próprios cientistas usam a lei como uma verdade definicional, um princípio teórico ou uma derivação.²⁰

As Idéias de Harré sobre as Teorias Consideremos, pois, o modelo como a essência da teoria e a organização dedutiva como um auxiliar heurístico opcional. É assim que o filósofo de Oxford, Romano M. Harré, reconstrói uma teoria científica. Segundo Harré, a atividade fundamental da Ciência é a busca e elaboração de modelos. Uma teoria, diz ele, é essencialmente um modelo de um mecanismo atualmente desconhecido na natureza.²¹ A teoria da evolução de Darwin, por exemplo, é essencialmente o modelo de seleção natural. O cientista cria o seu modelo por analogia com um modelo já em uso. Assim, um modelo possui uma fonte e um tema. A fonte é aquilo em que o modelo se baseou (por exemplo, um modelo análogo); o tema é o que o modelo explica. As fontes do modelo de Darwin são a teoria de Malthus do crescimento demográfico e a seleção de variedades favoráveis por criadores de plantas e animais domésticos. O tema é a multiplicação e variação das espécies na natureza.

Se o emprego de um modelo habilita os cientistas a propor e confirmar uma série de hipóteses, então, diz Harré, o mecanismo descrito pelo modelo passa a ser considerado real (algo que *existe*) e não mais hipotético (algo que *pode* existir). Descartes, por exemplo, considerou o coração como uma fomalha, ao passo que Harvey o visualizou como uma bomba.

²⁰ Carl G. Hempel, "The 'Standard Conception' of Scientific Theories", em *Analyses of Theories and Methods of Physics and Psychology*, org. por Michael Radner e Stephen Winokur, Minnesota Studies in the Philosophy of Science, vol. 4, p. 152.

²¹ Harré, *The Principles of Scientific Thinking*, cap. 2. Assinale-se que um mecanismo nada tem de especificamente mecânico. Ver Harré e P. F. Secord, *The Explanation of Social Behavior* (Oxford: Blackwell, 1972), p. 70: "Os químicos descobrem reações e, ao descreverem a interação e a permutação de íons, explicam-nas. Os geneticistas descobrem padrões não-aleatórios na distribuição de características de animais e plantas de geração para geração (por exemplo, os padrões descritos nas Leis de Mendel) e explicam a existência e persistência desses padrões pelos mecanismos de transferência, dominância e recessividade de genes etc. A evolução é explicada pela mutação aleatória e seleção natural; a difração pela interferência entre ondas; a aurora pelos mecanismos de formação iônica nas regiões elevadas e rarefeitas da atmosfera, pelos elétrons provenientes do Sol que são atraídos para os pólos pelo campo magnético da Terra etc."

Descartes estava errado. O coração é uma bomba, porque é a ação de bombeamento do coração que faz o sangue circular. Portanto, os cientistas descobrem como a natureza realmente funciona propondo modelos e investigando as hipóteses que eles geram.

Harré divide uma teoria científica em três partes: modelo, regras de transformação e leis empíricas.²² As regras de transformação relacionam os enunciados no modelo aos enunciados sobre fenômenos observáveis descritos pelas leis. A teoria cinética dos gases, por exemplo, consiste em: um *modelo*, incluindo enunciados tais como "existem moléculas" e "as colisões são elásticas"; *regras de transformação*, como "a pressão é causada por impactos moleculares" e "a temperatura é a energia cinética média das moléculas"; e *leis empíricas*, tais como, $pV = RT$.²³

Modelos

Referi-me aos modelos como partes de teorias, mas o termo "modelo" é usado mais amplamente do que isso; com efeito, trata-se de um dos termos mais sobrecarregados de conotações de toda a ciência. Felizmente para nós, entretanto, a maioria das coisas a que se dá o nome de "modelos" podem ser classificadas como representacionais, teóricas ou imaginárias.²⁴

Um *modelo representacional* é uma representação física tridimensional de algo, como um modelo de museu do sistema solar, um modelo de engenharia de uma represa ou de um avião, ou um modelo de bolas coloridas da estrutura de uma molécula. Uma variante é o modelo análogo, o qual representa um objeto sem reproduzir as suas propriedades, como no caso de um circuito elétrico usado como modelo de um sistema acústico.

Um *modelo teórico* é um conjunto de pressupostos sobre um objeto ou um sistema. (Um sistema, ao contrário de uma partícula, é um objeto com partes componentes.) São exemplos o modelo de bola de bilhar (partícula esférica) de um gás (proposto originalmente pelo físico escocês John James Waterston, um exímio jogador de bilhar!), o modelo corpuscular da luz (segundo o qual a luz consiste em partículas em movimento)

²² Harré, *Principles of Scientific Thinking*, pp. 2-3, 60.

²³ Existem outros pontos de vista sobre o que é uma teoria científica (por exemplo, os de Toulmin, Hanson, Kuhn, Feyerabend e Lakatos). Contudo, somente uma outra escola de pensamento (representada por Patrick Suppes, Frederick Suppe e Bas van Fraassen) procurou analisar em detalhe a estrutura de uma teoria. Ver Frederick Suppe, "The Search for Philosophic Understanding of Scientific Theories", em *The Structure of Scientific Theories*, org. por Frederick Suppe.

²⁴ Esta classificação é proposta por Peter Achinstein, *Concepts of Science*, caps. 7 e 8.

e o modelo helicoidal da molécula de DNA de Watson-Crick. Um modelo teórico pode expressar-se na forma de equações matemáticas, mas deve ser distinguido de quaisquer diagramas, desenhos ou construções físicas usadas para ilustrá-lo. Assim, o modelo teórico de Watson-Crick é distinto dos modelos representacionais que os dois cientistas construíram no decurso da realização do primeiro. Um modelo teórico atribui ao objeto ou sistema que descreve uma estrutura ou mecanismo interno que é responsável por certas propriedades desse objeto ou sistema. Por exemplo, o modelo corpuscular da luz atribui uma estrutura particulada à luz a fim de explicar propriedades tais como a reflexão e a refração da luz. As propriedades explicadas pelo modelo podem ser macroscópicas, como no caso do modelo do gás, ou microscópicas, como no caso do modelo atômico de Bohr. O mecanismo ou estrutura que o modelo propõe também pode ser microscópico, como nos modelos atômico ou do gás, ou macroscópico, como nos modelos astronômicos da origem do universo. Os modelos teóricos são o tipo mais importante de modelo usado em Ciência. Muitos, como os aqui mencionados, são considerados teorias legítimas e como tal são descritos neste livro.

Um *modelo imaginário* é um conjunto de pressupostos apresentados, não como descrição plausível de um objeto ou sistema, mas como uma descrição de como o objeto ou sistema seria se fossem satisfeitas certas condições. Por exemplo, Henri Poincaré postulou um mundo imaginário governado pelos axiomas da geometria não-euclidiana de Lobachevsky e descreveu como ele se apresentaria a um habitante. O modelo mecânico do campo eletromagnético de Maxwell é imaginário nesse sentido. Em vez de afirmar que o campo eletromagnético é governado, de fato, pelas leis da mecânica newtoniana, Maxwell descreveu como ele seria se fosse por elas regido. Um modelo imaginário pode servir outros propósitos. Pode mostrar que certos pressupostos, tidos por contraditórios, são pelo menos compatíveis (por exemplo, que é logicamente possível um campo eletromagnético totalmente mecânico). Pode conduzir à investigação subsequente de um objeto ou sistema, na suposição de que a estrutura imaginária que propõe é semelhante à estrutura real, ou poderá elucidá-la. Ou poderá melhorar a nossa compreensão dos pressupostos em que consiste, fornecendo-lhes uma aplicação.

Matemática e Construção de Teorias

As teorias e os modelos são frequentemente construídos e expressos matematicamente. Como é feito isso? Basicamente, a matemática fornece ao cientista uma série de estruturas dedutivas, por meio das quais ele pode

inferir as implicações de enunciados — como leis empíricas ou princípios teóricos — que são isomórficos com as proposições contidas nas próprias estruturas matemáticas, ou têm a mesma forma lógica dessas proposições.

Uma estrutura matemática consiste em um conjunto de axiomas e um conjunto de teoremas que são logicamente deduzidos daqueles. Axiomas e teoremas apresentam as relações gerais existentes entre entidades puramente abstratas. O cientista interpreta essa estrutura substituindo os símbolos ou variáveis em certos axiomas ou teoremas por termos de sua própria lavra pertinentes ao objeto de estudo. Assim interpretadas, as proposições matemáticas abstratas convertem-se em formulações verbais acerca do mundo.

A matemática é usada para construir modelos e teorias de três maneiras principais. A primeira maneira, e a menos comum, consiste em construir um formalismo matemático e depois interpretá-lo fisicamente. Foi assim que Erwin Schrödinger desenvolveu a sua teoria da mecânica ondulatória, a partir de uma teoria anterior proposta por Maurice de Broglie. Em sua dissertação (1924), de Broglie apresentou um belo conjunto de equações expressando a idéia de que a matéria, como a radiação, tem propriedades de onda e de partícula. Persuadido pela beleza dessas equações de que a idéia física de de Broglie devia ser correta, Schrödinger procurou modificar a equação principal de modo que se aplicasse aos elétrons do átomo. Em 1926, encontrou uma equação que considerou tão bela e, em essência, tão simples, que tinha fortes possibilidades de ser verdadeira. Schrödinger procurou então captar a verdade da natureza buscando a beleza em suas equações. Entretanto, ele também foi guiado por uma idéia física, pois acreditava que, ao nível microscópico, a matéria se comporta de forma ondulatória, tanto quanto na forma de partículas.

É mais freqüente o cientista começar com uma idéia física e depois procurar torná-la mais precisa expressando-a matematicamente. Maxwell, por exemplo, tornou a teoria do campo eletromagnético de Faraday mais precisa ao vazá-la na forma de equações diferenciais, e também mais concreta ao representá-la em modelos mecânicos descritos por essas equações. Ao criar a sua teoria da relatividade geral, Einstein chegou à idéia de que a gravitação está relacionada com a estrutura geométrica do espaço, mas faltaram-lhe os conhecimentos matemáticos necessários para representar claramente essa estrutura. Assim, em 1912, recorreu a um matemático seu amigo, Marcel Grossman, e pediu-lhe que pusesse a sua idéia em forma matemática. Grossman assim fez, usando a geometria tetradimensional de espaços curvos de Bernhard Riemann, na qual o tempo é tratado como uma quarta dimensão.

Finalmente, o cientista usa a matemática para deduzir as conseqüências de seus pressupostos. Maxwell, por exemplo, deduziu que a radiação eletromagnética se desloca à mesma velocidade da luz e, por conse-

guinte, que a luz deve ser uma forma de radiação eletromagnética. Do mesmo modo, Paul Dirac uniu a teoria quântica e a relatividade especial num conjunto de equações, do qual deduziu, entre outras coisas, que existem elétrons de carga positiva. Embora na época se considerasse que tais partículas eram impossíveis, Dirac insistiu em que elas deviam existir, uma vez que eram a consequência lógica de pressupostos que ele e outros físicos tinham todos os motivos para acreditar que eram verdadeiros. Cinco anos depois, isso foi corroborado quando Carl Anderson descobriu provas experimentais dessas partículas.

Teleologia

Discutimos até aqui certos construtos intelectuais que são comuns a todas as ciências. Passo agora a uma questão específica das ciências da vida: existem finalidades na natureza? e, no caso afirmativo, como podem ser explicadas? Por toda a parte, no mundo vivo, parece que desorientamos o encaminhamento para um objetivo. Os órgãos e o comportamento de plantas e animais estão adaptados a certos fins. O olho está adaptado para a visão, a mão para a apreensão, a asa para o voo. Como explicar tais fenômenos?

Em Ciência, diz-se frequentemente que um determinado fenômeno é explicado quando uma descrição de sua ocorrência é deduzível de uma ou mais leis ou generalizações, em conjunto com a descrição de condições antecedentes. Por exemplo, o fato de uma peça de ferro ficar desmagnetizada ao ser aquecida é explicado ao deduzir-se uma declaração desse fato da generalização "O magnetismo cessa acima da temperatura de Curie (770°C para o ferro)", em conjunto com descrições da natureza e intensidade da fonte de calor. A força de uma explicação está em mostrar que esse caso de desmagnetização não é único mas um exemplo de uma regularidade ou norma geral. Muitos fenômenos biológicos são assim explicados. O voo de um inseto, por exemplo, é explicado em termos das leis da aerodinâmica. Analogamente, um ataque cardíaco pode ser explicado por referência à lei de que depósitos químicos provenientes de alimentos ingeridos levam à oclusão arterial.

Entretanto, os fenômenos de adaptação explicam-se mediante a especificação do objetivo ou função a que servem. Por que um peixe tem guelras? Para dotá-lo de um mecanismo respiratório. Por que um esquilo carrega palha? Para construir um ninho. Tais explicações são chamadas "teleológicas", de acordo com a palavra grega *telos*, que significa fim ou meta. Elas explicam os fenômenos por referência às suas supostas consequências e não às suas causas. Mais precisamente, uma descrição teleológica explica a presença ou ocorrência de alguma propriedade num organismo,

mostrando que ela contribui para a existência de alguma outra propriedade do organismo. Assim, a exsudação e os calafrios são explicados teleologicamente pela suposição de que mantém constante a temperatura do organismo.

As explicações teleológicas são usadas para justificar três tipos de fenômenos: (1) O comportamento intencional, isto é, o comportamento cuja meta ou estado final o agente nutre conscientemente. De um modo geral, os seres humanos comportam-se intencionalmente e os animais parecem conduzir-se assim. Um coelho farejando o ar, um cão latindo e a migração de uma ave parecem ser condutas intencionais. (Se realmente o são, eis uma questão que cientistas e filósofos ainda têm que resolver.) (2) A homeostase, em que um mecanismo habilita um organismo a obter ou manter uma certa propriedade, a despeito de mudanças no meio ambiente e no próprio organismo. São exemplos a eliminação de resíduos filtrados do sangue pelos rins e a manutenção de uma temperatura constante do corpo pela exsudação e os calafrios. (3) Os órgãos especificamente destinados ao desempenho de uma certa função, como o ouvido é feito para ouvir e o nariz para respirar.

O uso de explicações teleológicas é justificado pela teoria da evolução. Pode-se razoavelmente perguntar para que serve um órgão, mecanismo homeostático ou padrão de comportamento, pois dificilmente teria sobrevivido se não contribuísse para a aptidão reprodutiva do organismo. Um organismo possui certos órgãos, mecanismos homeostáticos e padrões de comportamento porque descendeu de organismos cuja capacidade para produzir uma prole fértil dependeu da posse dessas características. Uma característica que aumenta a capacidade reprodutiva de um organismo será seletivamente favorecida e, com o tempo, propagar-se-á a toda a população. Veja-se a regulação da temperatura do corpo. Um homem morre se a sua temperatura subir ou baixar mais do que alguns graus acima ou abaixo do normal. Portanto, a seleção natural favoreceu os mecanismos homeostáticos que regulam a exsudação e os calafrios. No tempo frio, os calafrios geram calor e no tempo quente o suor dissipa-o.

Quase todas as características de um animal ou planta são teleológicas, na medida em que contribuem *proximamente* para a obtenção de uma determinada meta ou estado final e *ultimamente* para a eficiência reprodutiva. A própria seleção natural é proximamente teleológica na medida em que produz e mantém órgãos, mecanismos homeostáticos e padrões de comportamento cujas consequências contribuem para a eficiência reprodutiva dos organismos. Mas a seleção natural não é ultimamente teleológica. Não tende a produzir organismos de qualquer espécie particular e o processo de evolução não tem uma meta final. A seleção natural ocorre contingentemente em resposta a mudanças no meio ambiente de uma espécie.