

Título original: *Science as a Human Endeavor*

Traduzido da primeira edição norte-americana publicada em 1978  
por Columbia University Press, de Nova York, EUA

© Copyright 1978 by Columbia University Press  
All rights reserved. Direitos reservados (Lei 5.988)

Direitos para a língua portuguesa adquiridos por  
ZAHAR EDITORES S.A.

Caixa Postal 207 (ZC-00) Rio de Janeiro  
que se reservam a propriedade desta versão

Capa e Diagramação: Ana Cristina Zahar

Composição: Zahar Editores S.A.

CIP-Brasil. Catalogação-na-fonte  
Sindicato Nacional dos Editores de Livros, RJ.

Kneller, George F., 1908-  
K76c A Ciência como atividade humana / George F. Kneller; tradução  
de Antonio José de Souza. – Rio de Janeiro: Zahar; São Paulo: Ed. da  
Universidade de São Paulo, 1980.

Tradução de: Science as a human endeavor

1. Ciência 2. Ciência – Aspectos sociais 3. Ciência – Filosofia I. Título

80-0395

CDD – 500  
CDU – 5

Impresso no Brasil

# 1

## A Ciência na História

Dito de maneira simples, Ciência é conhecimento da natureza e exploração desse conhecimento. Entretanto, essa exploração envolve muitas coisas. Envolve, por exemplo, uma história, um método de investigação e uma comunidade de investigadores. Hoje, em especial, a Ciência é uma força cultural de esmagadora importância e uma fonte de informação indispensável à tecnologia. A minha finalidade neste livro é explicar esses aspectos da Ciência e mostrar como estão inter-relacionados.

### A Ciência e a Ordem da Natureza

Olhando através da História, verificamos que a natureza tem sido estudada por várias razões. No Liceu<sup>1</sup> de Aristóteles, ela era estudada para esclarecer e aperfeiçoar aquele que buscava o conhecimento; na Europa renascentista, para desvendar o plano de Deus em Sua criação; nos tempos modernos, para ampliar o conhecimento, tanto por amor ao saber quanto por seus usos sociais e técnicos. Mas os cientistas parecem ter sido inspirados menos por esses ambiciosos propósitos do que por duas emoções primordiais: o assombro e o medo. O homem primitivo estava em grande parte à mercê da natureza. Talvez o seu motivo mais forte para investigação natural fosse atingir a paz de espírito, através de alguma explicação plausível para os desastres da natureza. Ele queria descobrir as causas de terremotos, inundações, incêndios e doenças. Na China os filósofos naturais taoístas, na Eu-

---

<sup>1</sup> O Liceu era um passeio nos arredores de Atenas onde os professores davam aulas. A escola de Aristóteles parece ter adquirido aí um terreno pouco depois de sua morte em 322 a.C. O nome parece ter sido dado à própria escola porque era a maior comunidade de pesquisa no mundo antigo, até ser suplantada no século seguinte pela comunidade científica de Alexandria.

ropa antiga os estoícos, os epicuristas e os adeptos do atomista Demócrito, todos praticaram a Ciência por esse motivo.<sup>2</sup> Epicuro escreveu que, “se não fôssemos perturbados por apreensões acerca de fenômenos no céu e a respeito da morte, se nada disso nos afetasse de um modo ou de outro, e também se não fôssemos perturbados por nosso fracasso em perceber os limites das dores e dos desejos, não teríamos necessidade alguma de estudar a natureza”.<sup>3</sup>

O medo é aliviado pelo reconhecimento de que a natureza é ordenada e inteligível. O assombro começa com esse reconhecimento. À medida que a Ciência crescia e os homens começavam a dominar o mundo, o assombro converteu-se na força motriz das grandes realizações científicas. Einstein salientou eloqüentemente esse ponto:

O sentimento religioso cósmico é o mais forte e antigo motivo para a pesquisa científica. Só os que compreendem os imensos esforços e, sobretudo, a devoção sem os quais o trabalho pioneiro na ciência teórica não poderia ser realizado, estão em condições de entender que a força da emoção é a única responsável por esse trabalho tão distante das realidades imediatas da vida. Que profunda convicção na racionalidade do universo e que fervoroso anseio de compreendê-lo! ... Kepler e Newton devem ter tido que se preparar para consumir anos de trabalho solitário na decifração dos princípios da mecânica celeste!<sup>4</sup>

Qual é, então, a “ordem da natureza?” Para muitas pessoas, são as leis celestiais, admiradas pelo filósofo Kant, que as comparou às “leis em nossos corações”, e celebradas por George Meredith em seu poema “Lucifer in Starlight” [Lúcifer à Luz das Estrelas]:

*He reached a middle height, and at the stars,  
Which are the brain of heaven, he looked, and sank.  
Around the ancient track marched, rank on rank,  
The army of unalterable law.*<sup>5</sup>

[Ele atingiu a meia altura e ao contemplar as estrelas,  
Que são o cérebro dos céus, no atro mergulhou.  
Pelo velho trilho marchava, em colunas cerradas,  
O exército da lei inalterável.]

<sup>2</sup> Ver Joseph Needham, *Science and Civilisation in China*, vol. 2, *History of Scientific Thought*, pp. 63-68.

<sup>3</sup> Citado por G.E.R. Lloyd, *Greek Science After Aristotle*, p. 21.

<sup>4</sup> *Ideas and Opinions* (Londres: Alvin Redman, 1954), pp. 39-40.

<sup>5</sup> George Meredith, um homem de letras do século XIX, foi o autor de alguns vívidos e idiossincrásicos romances de costumes, como *The Egoist* e *The Ordeal of Richard Feverel*.

Para o cientista, entretanto, toda a natureza está inter-relacionada e, como tal, é ordenada. Em vez de ser um caos, o universo é um único e grandioso nexo de coisas e processos. Nenhum evento, sustenta ele, está totalmente separado de outros nem é, portanto, inexplicável. Uma investigação contínua acabará demonstrando que tudo o que parece desconexo somente ocorre em conjunção com outros eventos. Os chamados eventos caprichosos — ciclones, pragas, explosões de galáxias — são tão sistemáticos, nesse sentido, quanto a rotação dos planetas ou o amadurecimento do trigo.

Assim, a ordem da natureza é tudo o que permanece constante entre as mudanças de coisas e é a causa dessas mudanças. Essas características inmutáveis da natureza são padrões fixos dos eventos em todos os níveis — desde os átomos às galáxias. A queda da maçã sobre a cabeça de Newton, nos jardins de sua família em Woolsthorpe, não podia, de fato, ser prevista. Entretanto, não aconteceu por acaso, porque obedeceu à mesma força gravitacional que mantém as estrelas em seus cursos e as marés em seus fluxos e refluxos.

A finalidade da Ciência é chegar a um entendimento exato e abrangente da ordem da natureza. Como os elementos constituintes da natureza são quase infinitamente diversos, essa busca já consumiu muitos séculos e consumirá muitos mais. Por conseguinte, a Ciência é intrinsecamente histórica. Não só o conhecimento científico mas também as técnicas pelas quais ele é produzido, as tradições de pesquisa que o produzem e as instituições que as apóiam, tudo isso muda em resposta a desenvolvimentos nelas e no mundo social e cultural a que pertencem. Se quisermos entender o que a Ciência realmente é, devemos considerá-la em primeiro lugar e acima de tudo como uma sucessão de movimentos dentro do movimento histórico mais amplo da própria civilização.

### Outras Civilizações, Outras Ciências

Eu disse uma “sucessão de movimentos” porque a História não revela uma Ciência mas numerosas ciências. Em todas as civilizações, certos homens meditaram sistematicamente acerca do mundo natural e procuraram as causas das mudanças fenomenais na própria natureza e não na vontade humana ou sobre-humana. Mas antes de os árabes herdarem a filosofia natural grega e a alquimia chinesa, e as transmitirem ao Ocidente, não existia um corpo singular de conhecimento natural que fosse transmitido de uma civilização a outra. Pelo contrário, em cada civilização o estudo da natureza tomava seu próprio caminho. Os filósofos naturais gregos e chineses explicaram o mesmo mundo físico de modos muito diferentes. Os gregos propuseram a teoria dos quatro elementos (terra, ar, fogo e água) e

a teoria de que tudo no universo tem seu lugar natural. Os chineses usaram a teoria das forças naturais opostas, *yin* e *yang*, e a teoria das cinco fases pelas quais todas as coisas passam em ciclos. Chamamos a essas diferentes tradições culturais “ciência”, não porque formem uma entidade singular evoluindo historicamente, mas porque são diferentes entidades históricas da mesma espécie geral.

Mas este julgamento depende de uma percepção *a posteriori*. Na China, Grécia clássica, Islã e Europa medieval, não existia um termo equivalente ao nosso “ciência”, nem existia uma comunidade científica. As atividades que agrupamos como ciência grega ou chinesa eram realizadas por filósofos, matemáticos, astrônomos, físicos e outros que alimentavam opiniões muito diferentes acerca da espécie de investigação que estavam empreendendo. Somos nós que vemos na obra deles as características de uma ciência que eles mesmos não poderiam reconhecer.

A mais recente dessas tradições científicas, a ocidental ou europeia, provou ser extraordinariamente bem-sucedida e a que mais se aproximou (pensamos nós) de representar o que a natureza realmente é. Enquanto as ciências anteriores estavam vinculadas a uma cultura, expressando-se na linguagem de um determinado povo, a ciência europeia tornou-se internacional e universal, pois se expressa na linguagem supracultural da Matemática e é praticada no mundo inteiro.<sup>6</sup> Não obstante, essa ciência não foi criada somente por europeus. Através de uma série de contatos — conquistas, comércio, diplomacia, viagens — os europeus captaram as realizações científicas e tecnológicas de outras civilizações. Dos gregos, eles herdaram a astronomia ptolomaica, a geometria euclídeana, a medicina galênica, a tradição matemática de Platão e Pitágoras e a tradição mais empírica de Aristóteles. Da China provieram a física magnética, as coordenadas astronômicas, a idéia de espaço infinito, a cartografia quantitativa e um caudal de invenções tecnológicas, como a pólvora, o papel, os arreios para cavalo, a correia de transmissão e o leme de cadaste.<sup>7</sup> Da Índia vieram os numerais, o zero, a álgebra, a teoria do atomismo e a rica farmacologia das ervas e minerais.

A maioria dessas realizações foi absorvida primeiro pelo Islã, que desde 750 d.C. até finais da Idade Média se estendia da Espanha ao Turquestão. Os árabes unificaram esse vasto acervo de conhecimentos e aumentaram-no. Aperfeiçoaram a álgebra, inventaram a trigonometria e cons-

<sup>6</sup> Ver Joseph Needham, *The Grand Titration: Science and Society in East and West* (Toronto: University of Toronto Press, 1969), pp. 15-16, e, com a colaboração de Wang Ling, *Science and Civilisation in China*, vol. 3, *Mathematics and the Sciences of the Heavens and the Earth*, pp. 447-51.

<sup>7</sup> *The Grand Titration*, pp. 52, 58, 76.

truíram observatórios astronômicos. Foram os inventores das lentes e os fundadores do estudo da óptica, sustentando que os raios de luz jorram do objeto visto e não do olho. No século X, Ibn Al-Hazin descobriu uma série de leis da óptica, por exemplo, que um raio de luz adota o caminho mais rápido e mais fácil, precursora do princípio da “ação mínima” de Fermat.<sup>8</sup> Os árabes também ampliaram a alquimia, aperfeiçoaram e inventaram inúmeras técnicas e instrumentos, como o alambique, usado para destilar perfumes. No século VIII, o físico Al-Razi lançou os alicerces da Química, organizando os conhecimentos alquimistas e negando seu significado arcano. Inventor da classificação da natureza em três reinos — animal, vegetal e mineral — estabeleceu categorias para uma infinidade de substâncias e operações químicas, algumas das quais, como a destilação e a cristalização, continuam sendo usadas. Quando a ciência árabe declinou, das três grandes civilizações fronteiriças do Islã — China, Índia e Europa — foi esta última que herdou a sua grande síntese.

No ano 1000 d.C., a Europa estava tão atrasada que tinha de recorrer maciçamente às ciências islâmicas, traduzindo os escritos árabes para o latim. Por volta de 1600, a ciência europeia não tinha rival. O que causou essa espetacular transformação? Por que a ciência moderna começou sua ascensão exponencial entre os Estados belicosos de uma Europa superpovoada e não em alguma civilização mais antiga e mais harmoniosa? Por que não na China, por exemplo?<sup>9</sup>

**A Ciência Chinesa** Conforme Joseph Needham mostrou,<sup>10</sup> durante os primeiros 15 séculos da era cristã a ciência chinesa não era inferior a nenhuma outra e a tecnologia chinesa era provavelmente superior a todas. Certas ciências — Astronomia, Matemática, Engenharia Hidráulica — eram sustentadas pela burocracia estatal, a qual estava imbuída dos ensinamentos do confucionismo. Esta filosofia estuda o homem como ser social e propõe princípios para a sábia administração da sociedade. Outras ciências — Alquimia, Biologia, Medicina (em certa medida), Física (exceto quanto aos sons musicais) e Geologia — permaneceram heterodoxas e foram praticadas predominantemente pelos taoístas, que estudavam a vida interior do homem e suas relações com a natureza. (O homem, diziam eles, deve renun-

<sup>8</sup> No século XVI, Pierre de Fermat, um membro da Assembléia Provincial de Toulouse, propôs que as ações da natureza tomam sempre o mínimo tempo possível.

<sup>9</sup> Escolhi a China porque a Ciência era aí praticada há mais tempo e com mais êxito do que em qualquer outra civilização antiga. Não obstante, as mesmas questões poderiam ser formuladas a respeito de outras civilizações.

<sup>10</sup> Em *Science and Civilisation in China*, 4 vols.

ciar à ambição e viver de acordo com a ordem, ou *tao*, dos eventos naturais.) Os taoístas inspiraram a maior parte da ciência chinesa, mas não confiavam na razão e especulação, ao passo que os confucionistas só estavam interessados na Ciência para seus usos sociais. Por conseguinte, a ciência chinesa era propensa a evitar a teoria e manteve-se preponderantemente empírica.

Não obstante, esse empirismo estava longe de ser tosco e rudimentar. Os chineses observavam e registravam meticulosa e persistentemente. Os seus astrônomos assinalaram com exatidão as posições das estrelas e outros fenômenos celestes. Com efeito, suas listas de novas,<sup>11</sup> cometas e meteoros são hoje usadas por rádio-astrônomos. No século I a.C., seus engenheiros hidráulicos estavam registrando com precisão o conteúdo de lodo dos rios. Para melhorar a observação, os chineses inventaram instrumentos tais como o sismógrafo, o relógio mecânico e a bússola magnética. Eles classificaram numerosos fenômenos, como estrelas, doenças, ervas medicinais e minerais. Também realizaram experimentos; por exemplo, testaram as propriedades acústicas de sinos e cordas, e a resistência de diversos materiais.<sup>12</sup>

Que ciências se desenvolveram com esses métodos? Os chineses tinham álgebra mas pouca geometria. Devido a isso, a sua astronomia teórica não se desenvolveu. Ao contrário da geometria grega, que representou os movimentos dos corpos celestes em espaço tridimensional, as técnicas algébricas chinesas não subentendiam qualquer hipótese física particular. Por isso, a despeito de volumosos registros, careciam de uma teoria adequada do firmamento. Na física, eles tinham poucas noções de mecânica e nenhuma de dinâmica, mas foram pioneiros na ciência do magnetismo e realizaram um estudo exaustivo de sua própria música. Durante a Idade Média, seus mapas eram muito mais precisos do que os europeus. Na medicina, eles desenvolveram uma descrição abrangente das relações entre corpo, mente e meio ambiente. A alquimia chinesa, a mais antiga do mundo, procurou o elixir da longa vida, uma idéia que só viria a aparecer na Europa no século XII por intermédio do Islã.

Os chineses também tinham teorias, mas eram de caráter geral e qualitativo. De acordo com a teoria das “duas forças”, as forças fundamentais no universo são *yin* (expressas, por exemplo, na chuva e na feminilidade) e *yang* (expressas no calor e na masculinidade). A teoria das

<sup>11</sup> Uma *nova* é uma estrela que aumenta sua luz e energia até um milhão de vezes em poucos dias e depois, passados alguns meses ou anos, retorna à sua anterior obscuridade. Uma grande nova pode emitir tanta energia quanto o Sol em 10.000 anos. De fato, se o Sol se tornasse uma nova, a Terra seria destruída em poucas horas ou dias. Nas últimas centenas de anos foram observadas umas 30

<sup>12</sup> Needham, *The Grand Titration*, pp. 46-50.

“cinco fases” procurou classificar os processos básicos em ação na natureza: a água, o fogo, a madeira, o metal e a terra. As fases substituem-se umas às outras em ciclos: a madeira suplanta a terra; o metal, a madeira; o fogo, o metal; a terra, a água; e depois os ciclos recomeçam. Os chineses correlacionaram essas fases com tudo o que existe no universo que pudesse ser classificado em grupos de cinco: gostos, cheiros, estações, pontos cardeais, notas musicais, planetas, climas etc. As correlações quintuplas revelam as afinidades mútuas entre coisas. Todas as coisas na mesma classe (por exemplo, leste, madeira, verde, vento, trigo) ressoam mutuamente, permutando energias. Nas palavras do filósofo Tung Chung-Shu, escrevendo no século II a.C.: “Se água for despejada em terreno nivelado, ela evitará as partes que estão secas e correrá para aquelas que estão úmidas. Se [duas] peças idênticas de lenha são expostas ao fogo, este evitará a úmida e inflamará a seca. Todas as coisas rejeitam o que é diferente [de si mesmas] e aderem ao que lhes é semelhante.”<sup>13</sup>

Mas, duvidando da razão como duvidavam, os taoístas não desenvolveram essas teorias nem as fundiram numa descrição sistemática da natureza, comparável à de Aristóteles. Por conseguinte, a ciência chinesa permaneceu intelectualmente fragmentada, capaz de constante acumulação empírica em muitos campos mas incapaz de maior desenvolvimento teórico. Por exemplo, nenhuma das teorias que mencionamos estimulou um desenvolvimento semelhante ao da tradição do “impulso” em dinâmica. Aristóteles sustentara que um corpo em movimento forçado só continua movendo-se enquanto estiver em contato com aquilo que originalmente o impulsionou. Sendo assim, perguntaram-lhe, por que uma flecha continua voando durante algum tempo depois de ter sido disparada? A resposta, segundo ele, é que o ar deslocado pela flecha, logo que é disparada, precipita-se impetuosamente atrás dela e impulsiona-a. Mas, como objetou João Filopono de Alexandria no século VI de nossa era, não há qualquer razão para que o ar se desloque atrás da flecha e não em alguma outra direção. Escreveu ele:

Como se explica que o ar, impelido pela flecha, não se movimenta na direção do impulso imprimido mas, pelo contrário, descrevendo uma volta, como se obedecesse a alguma ordem, refaça o seu curso? Além disso, como se explica que esse ar, ao dar essa volta, não se dissemine no espaço mas, pelo contrário, incida precisamente na extremidade chanfrada da flecha e volte a impelir a flecha e adira a ela? Tal concepção é completamente implausível e parece mais ficção do que outra coisa.<sup>14</sup>

<sup>13</sup> Citado por Needham, *Science and Civilisation in China*: vol. 2, *History of Scientific Thought*, p. 281.

<sup>14</sup> Citado por Lloyd, *Greek Science after Aristotle*, pp. 158-59.

A flecha, concluiu ele, continua voando porque uma força — mais tarde chamada “impulso” — lhe é transmitida pelo arqueiro e permanece nela depois que saiu do arco. Essa teoria do movimento de projétil foi depois desenvolvida por uma sucessão de filósofos islâmicos e medievais. A Ciência chinesa não tem um paralelo para essa teoria.

A atrasada Ciência europeia iniciou sua carreira meteórica com a descoberta de Galileu de que as hipóteses matemáticas, testadas por experimentos, podem fornecer um conhecimento preciso das operações da natureza. Essa abordagem, em conjunto com a teoria mecanicista (a doutrina segundo a qual todos os fenômenos naturais podem ser explicados em termos dos movimentos de partículas, sob a influência de forças), não tardou em colocar a ciência europeia bem na frente. Pois resultou que, ao contrário da hipótese dos taoístas, a ordem da natureza não era, afinal de contas, inescrutável. O que fica por explicar é por que os próprios chineses, em mais de um milênio de investigação, não conseguiram atinar com o método matemático-experimental nem descobrir a filosofia mecanicista.

Foram propostas várias respostas. Foi sugerido, por exemplo, que a gigantesca burocracia chinesa, com seus hábitos e atitudes confucionistas, frustrava a inovação científica. O concurso para o serviço civil estava aberto a todos e oferecia boas carreiras àqueles que sobrevivessem à intensa competição. Mas o exame de ingresso requeria somente o domínio dos clássicos e obras literárias confucionistas, de modo que não proporcionava incentivo nenhum ao estudo da ciência e tecnologia. Não obstante, embora a burocracia atuasse, indubitavelmente, como um freio à investigação teórica, ela estimulou a ciência aplicada e, pelo menos no domínio da astronomia, a observação sistemática. Foi responsável pela invenção do sismógrafo, a construção de medidores pluviométricos e de neve, e a organização de grandes expedições para fazer o levantamento do arco meridiano de 1.500 milhas (2.413,5km), da Indochina à Mongólia, e do mapa das estrelas do hemisfério sul desde Java. A Repartição Astronômica durou 2.000 anos sem qualquer mudança radical. As suas principais funções eram registrar todos os eventos celestes e prever o destino de governantes e Estados com base em prognósticos astrológicos. Essas providências asseguraram um fluxo contínuo de dados precisos, mas desencorajaram o pensamento original e o interesse por novos problemas.

Uma sugestão concomitante é que a burocracia chinesa minimizou a influência dos mercadores. Por mais de 2.000 anos, o serviço público atraiu os melhores cérebros do país. Era tamanho o seu prestígio que até os filhos de abastados comerciantes se batiam por ingressar nele. Entretanto, argumenta-se que uma florescente e próspera classe mercantil foi essencial à ascensão da ciência moderna na Europa. Os mercadores tinham interesse financeiro na invenção tecnológica; acreditavam na liberdade necessária ao debate científico; e, estando dispostos a trabalhar com as

próprias mãos, reconheceram a importância da experimentação. Esta argumentação é persuasiva, mas convém não a levar longe demais. Não se provou, por exemplo, que o avanço científico dependa de uma classe mercantil ter conquistado ou não o poder político.<sup>15</sup> Na Itália, por exemplo, os sistemas republicanos de governo, apoiados pelos mercadores, haviam cedido o lugar a governos concentrados nas mãos de um autocrata, ainda antes do nascimento de Galileu (1564). Na Inglaterra, por outro lado, a Revolução Científica começou antes da Guerra Civil (1642-1648) e antes de a restauração da monarquia (1688) pelo Parlamento ter consolidado a influência dos comerciantes.

Uma outra proposta é que os chineses careciam da idéia de um legislador divino, e por isso nunca se aperceberam de que a natureza tem leis.<sup>16</sup> Não há dúvida de que essa idéia propiciou autoconfiança à ciência europeia. Se o universo foi planejado por Deus, então é compreensível e pode ser analisado como uma máquina, para ver como funciona. Ao revelar esse plano, a Ciência presta homenagem ao seu Criador. Entretanto, como Needham sublinha,<sup>17</sup> o cosmo chinês parece tão racional quanto o europeu. Possui a harmonia de um padrão, não de uma máquina. Essa harmonia não é imposta, mas decorre de uma necessidade interior. Todas as coisas na natureza cooperam espontaneamente porque lhes é intrínseco, como as partes de um padrão, fazer isso. Para os chineses, a ordem social e mundial não assentava na autoridade mas na interdependência. Nas palavras de um comentário sobre o *I Ching* (Livro das Mudanças): “Nunca se viu alguém comandando as quatro estações; entretanto, elas jamais se desviam de seu curso.”<sup>18</sup>

Por sua vez, os europeus herdaram a união da astronomia observacional babilônica e da geometria grega na tradição de pesquisa de Ptolomeu. Receberam também a rica matemática islâmica, incluindo a álgebra, a qual foi essencial para a invenção do cálculo e a criação da mecânica newtoniana. A Astronomia Matemática, que foi a ponta de lança da Revolução Científica, era uma área fraca na ciência chinesa. Contudo, é certamente implausível pretender que a ciência moderna só poderia ter começado na

<sup>15</sup> A.C. Graham, “China, Europe and the Origins of Modern Science”, em *Chinese Science: Explorations of an Ancient Tradition*, org. por Shigeru Nakayama e Nathan Sivin (Cambridge, Mass.: MIT Press, 1973), pp. 54-55.

<sup>16</sup> Needham, *The Grand Titration*, Cap. 8.

<sup>17</sup> *Science and Civilisation in China: vol. 2, History of Scientific Thought*, pp. 287, 290, 562; ver também Graham, “China, Europe and the Origins of Modern Science”, pp. 32-34, 58.

<sup>18</sup> Citado por Needham, *Science and Civilisation in China: vol. 2, History of Scientific Thought*, pp. 287, 561.

Astronomia. Poder-se-ia argumentar igualmente que a ciência chinesa, através do estudo do magnetismo e da eletricidade, podia ter avançado até à Física do campo, de Faraday e Einstein, sem passar pela fase newtoniana. As leis desses fenômenos podiam ter sido enunciadas nos termos da matemática chinesa tradicional, e a geometria chinesa poderia ter sido refinada para tratar mais tarde da Astronomia.

Longe de ser predestinada, a ciência moderna parece ter surgido na Europa em virtude de uma combinação fortuita de condições históricas. A Renascença, por exemplo, promoveu o individualismo e o interesse por este mundo em vez do próximo. A Reforma e a Contra-Reforma debilitaram a autoridade da religião institucional e reduziram a oposição religiosa aos empreendimentos seculares. O capitalismo criou uma classe dotada de grande apetite por novos conhecimentos, de simpatia pela experimentação e de uma robusta crença na exploração da natureza. As viagens de descoberta dilataram o mundo conhecido e revelaram uma profusão de novos fenômenos. A noção de um legislador divino tornou a Ciência autoconfiante e respeitável, e o legado da astronomia ptolemaica e da matemática árabe forneceu os instrumentos conceptuais para um avanço importante e decisivo. Uma tradição nativa de experimentação foi iniciada com os artesãos e alquimistas da Idade Média, e ampliada depois pelas guerras do século XVI, as quais estimularam os homens instruídos a dominar as tecnologias da artilharia e fortificação. A diversidade da Europa, com seus numerosos povos, línguas e tradições, significou que um clima desfavorável à Ciência num país podia ser contrabalançado por um clima propício em outros países.

Mas, embora fossem suficientes para o nascimento da ciência moderna, essas condições não eram essenciais. A combinação de hipóteses matemáticas e testes experimentais requer conhecimento da Matemática e uma tradição experimentalista, o que é bastante para explicar por que a ciência moderna não nasceu na Nova Guiné. Mas onde estavam presentes, como na China, um desfecho semelhante poderia resultar de muitos e diferentes conjuntos de fatores. As explicações para o fracasso da China em criar uma ciência moderna não provam que exista um caminho único para essa ciência, mas apenas que a China não enveredou pelo caminho que adotamos. Daqui em diante, portanto, tomaremos a ciência ocidental como nosso paradigma, não porque seja a única ciência, mas porque foi a mais bem-sucedida.

### Tradições de Pesquisa

A Ciência tem por objetivo fornecer uma explicação completa para a ordem na natureza. A fim de realizar esse objetivo, ela propõe e comprova

as teorias que procuram explicar aspectos particulares dessa ordem. Uma teoria científica é um conjunto de enunciados que descrevem a natureza de uma entidade inobservada e (ou) o processo postulado como causa de certos fatos observados. Essa entidade, ou processo, é encarada como uma possível ordem oculta, ou “mecanismo”, cuja existência pode ser verificada checando se os fatos ocorrem como a teoria previu. Quando a teoria foi plenamente confirmada, diz-se que a ordem que ela postula é real. Assim, os campos elétrico e magnético, as partículas elementares, os genes e a seleção natural, cuja existência foi outrora acirradamente contestada, são hoje considerados realmente presentes na natureza.

A maior parte das teorias são propostas no âmbito de uma tradição de pesquisa. As grandes teorias, de fato, criam tais tradições. Uma tradição de pesquisa é uma sucessão de investigações empreendidas por uma quantidade de cientistas, à sombra de um conjunto de pressupostos gerais. Esses pressupostos declaram quais são as entidades fundamentais num determinado domínio e como interatuam. De acordo com a tradição platônico-ptolemaica, por exemplo, os planetas são esferas perfeitas e movem-se em círculos em torno da Terra a velocidade constante. Segundo a tradição newtoniana, o mundo compõe-se de partículas infinitesimais que interatuam no espaço vazio, graças às forças de atração e repulsão. Uma tradição de pesquisa especificará freqüentemente como os fenômenos pertinentes devem ser investigados e como as teorias devem ser construídas para explicá-los. Assim, na tradição ptolemaica, supunha-se que todos os fenômenos celestes seriam explicados pelo menor número possível de movimentos circulares. Na tradição newtoniana, as teorias acabaram sendo escritas na forma de equações diferenciais.

Uma tradição de pesquisa estimula a criação de uma série de teorias. Uma teoria explica o comportamento de certos fenômenos dentro do domínio postulando, pelo menos, alguns dos pressupostos da tradição e formulando novos pressupostos mais específicos que a própria teoria gerou. Veja-se, por exemplo, a tradição cinética do século XIX, uma ramificação da tradição newtoniana. Os cientistas da tradição cinética partiram do princípio de que o calor era causado por movimentos randômicos de moléculas, as quais constituem a matéria em todas as suas formas. As implicações dessa tese foram elaboradas no estudo de gases. Supunha-se que um gás é um aglomerado de partículas em constante movimento, governado pelas leis da mecânica newtoniana. Nos primeiros anos da tradição, as teorias foram apresentadas por August Krönig, Rudolf Clausius, James Clerk Maxwell e Ludwig Boltzmann.<sup>19</sup>

<sup>19</sup> Ver Peter Clark, “Atomism versus Thermodynamics”, em *Method and Appraisal in the Physical Sciences*, org. por Colin Howson, pp. 45-63.

Em 1856, Krönig, um físico pouco conhecido de Berlim, propôs que as moléculas de um gás são esferas elásticas e macias que se deslocam em linhas retas a uma velocidade constante. Baseado nestes simples pressupostos, ele formulou um certo número de deduções, incluindo a lei dos gases de Boyle-Charles (“a uma temperatura constante, o volume de um gás varia inversamente com a pressão”) e a proposição de que os gases são aquecidos por compressão porque o movimento de êmbolo acelera as moléculas.

A teoria de Krönig foi um desafio a Clausius, co-descobridor da segunda lei da termodinâmica (“a entropia do mundo tende sempre a aumentar até o máximo”). Mais realista do que Krönig, propôs que as moléculas elásticas giram, vibram e colidem, deslocando-se em diferentes direções a diferentes velocidades. Não obstante, argumentou ele, quando um gás atinge um estado estacionário, existe uma velocidade média e um caminho livre médio (a distância que uma molécula percorre sem colidir com outra), tendo sido ambos calculados por Clausius.

As investigações de Clausius estimularam o físico escocês Maxwell a produzir uma melhor teoria baseada em estatísticas. Em aditamento aos pressupostos da tradição, Maxwell formulou três hipóteses próprias: primeiro, que as moléculas são esferas elásticas; segundo, que depois de uma colisão são igualmente prováveis todas as direções de refluxo; e, terceiro, que cada componente da velocidade de uma molécula é independente dos outros (a função de distribuição). Partindo destes pressupostos, ele deduziu o caminho livre médio de uma molécula, uma lei para a distribuição de velocidades entre moléculas, e a proposta de que as energias cinéticas das moléculas tendem a tornar-se iguais. Realizou depois algumas importantes previsões acerca das propriedades dos gases; por exemplo, que a viscosidade (ou fricção interna) de um gás é independente da densidade e varia com a raiz quadrada da temperatura.

Contudo, experimentos refutaram a segunda previsão e indicaram que a viscosidade varia com a temperatura como tal. Maxwell produziu então uma segunda teoria, na qual admitiu que as moléculas são centros de força em vez de esferas elásticas. Esse pressuposto implicava que a distância percorrida por duas moléculas a caminho de uma colisão varia com a velocidade delas e, por conseguinte, com a temperatura. (Se a temperatura aumenta, o caminho livre médio e a viscosidade também aumentam.) Maxwell também pressupôs que as velocidades de duas moléculas que colidem, e não as velocidades componentes de uma só molécula, é que são estatisticamente independentes. Ele deduziu então a função de distribuição que tinha sido previamente pressuposta, em conjunto com as principais propriedades de gases em equilíbrio, tal como o fato de que os volumes de dois gases em combinação mantêm uma relação numérica simples e integral entre si (lei de 1808 das combinações simples ou lei de Joseph Gay-Lussac).

Impressionado pelas técnicas estatísticas de Maxwell, o físico austríaco Boltzmann, no início de sua carreira, empenhou-se em ampliar algumas das deduções daquele. Abandonou o pressuposto de Maxwell de que as moléculas de gás colidem e admitiu simplesmente que existe uma quantidade fixa de energia a ser distribuída entre um número finito de moléculas, de tal modo que todas as combinações de energia são igualmente prováveis. Efetuou depois duas importantes deduções: uma versão ampliada da lei de Maxwell para a distribuição de velocidades, cobrindo moléculas poliatómicas sob a influência de forças, e uma equação geral para todas as formas de interação molecular.

Estes exemplos mostram como os cientistas trabalham a partir dos pressupostos de uma tradição para criar novas teorias.

Grande parte da história da Ciência ocidental consiste na formação, crescimento e declínio de tradições concorrentes e complementares de pesquisa. Desde os tempos helênicos até à Renascença, por exemplo, a tradição aristotélica em física e biologia, a tradição ptolemaica em astronomia e a tradição galênica em medicina complementaram-se mutuamente, em grande parte. No século XVIII, por outro lado, três tradições competiram pela supremacia nas ciências físicas: a cartesiana, a leibniziana e a newtoniana.<sup>20</sup> Descartes sustentou que o universo consiste em partículas sólidas interagindo por contato. Leibniz propôs que o universo é um campo de força, do qual os corpos materiais são manifestações intensivas. Entretanto, a tradição newtoniana foi, de longe, a mais bem sucedida, fornecendo alguns dos pressupostos básicos para virtualmente todas as pesquisas realizadas na física até o final do século XIX.

As tradições de pesquisa evoluíram em três caminhos principais: criando novas teorias, alterando seus pressupostos e unindo-se a outras tradições. Através da criação de teorias, uma tradição pode gerar uma surpreendente abundância de implicações. Veja-se o caso da tradição quântica. Ela originou-se nas tentativas de Albert Einstein e Max Planck para explicar a emissão e absorção de radiação pela matéria. Em 1913, Niels Bohr usou a noção planckiana de *quanta* (Capítulo 7) a fim de explicar as linhas espectrais (Capítulo 4) do átomo de hidrogênio. Em 1926, a tradição de Bohr, que se ligara a conceitos newtonianos e quânticos, era substituída pela madura tradição quântica baseada na equivalência matemática da mecânica ondulatória de Erwin Schrödinger e da mecânica de matrizes de Werner Heisenberg. Este sublinhou também que a posição e o momento de uma partícula subatômica não podem ser medidos simultaneamente com exatidão completa. A nova tradição pôde explicar todos

<sup>20</sup> Ver Yehuda Elkana, “Newtonianism in the Eighteenth Century” (ensaio crítico), *British Journal for the Philosophy of Science* 22 (agosto de 1971): 297-306.



os fenômenos que tinham deixado perplexos os físicos newtonianos no começo do século (a radiação do corpo negro (Capítulo 7); o movimento browniano (Capítulo 1), o efeito fotoelétrico, a difração dos raios X, o efeito de Compton etc.<sup>21</sup>

A tradição quântica promoveu, pois, a pesquisa em duas direções. Por um lado, estimulou a solução de problemas cada vez mais complicados acerca de sólidos, líquidos e gases, tratados como estruturas de partículas dotadas de carga elétrica. Por outro, procurou descobrir os constituintes fundamentais da matéria, na forma de partículas cada vez mais elementares. Consideremos este segundo desenvolvimento.

Em 1928, Paul Dirac uniu a mecânica quântica e a relatividade especial na eletrodinâmica quântica, a primeira das teorias do campo quântico, em que as interações de partículas são explicadas pela permuta das próprias partículas. O aditamento da relatividade especial habilitou os cientistas a predizerem o comportamento de partículas com energias e velocidades elevadas. No começo da década de 1930 foram descobertos o pósitron, o nêutron e o neutrino; e em 1935 Hideki Yukawa previu a existência dos mésons. Durante a II Guerra Mundial, foram aperfeiçoados os aceleradores de partículas e as técnicas fotográficas. Em consequência disso, em finais da década de 1950 já eram conhecidas cerca de trinta partículas. Os físicos ainda esperavam que as interações delas pudessem ser explicadas por uma versão revista da teoria quântica do campo. Pouco antes de 1960, entretanto, entraram em ação os grandes aceleradores e, em poucos anos, mais de 200 partículas tinham sido descobertas. (Durante certo tempo, todas as semanas apareciam novas partículas!) Fizeram-se tentativas para classificá-las, notadamente por Murray Gell-Mann e Yuval Ne'eman. Proliferaram as teorias mas acabaram por dividir-se em duas classes principais: "fundamentalistas" e "liberais". As primeiras, variantes

<sup>21</sup> O efeito fotoelétrico — a emissão de elétrons por superfícies metálicas quando atingidas por luz — foi explicado por Einstein em 1905 no pressuposto de que a luz é particulada. Os fótons incidentes de luz, disse ele, desalojam os elétrons em virtude do impacto. *Difração do raio X*: Quando os raios X são dirigidos para um cristal, eles alternadamente se reforçam e cancelam uns aos outros (como ondas de encontro a um obstáculo), produzindo faixas paralelas de luz e escuro. Em 1912, num célebre experimento, o físico alemão Max von Laue dirigiu um feixe de raios X para um cristal de sulfureto de zinco. Ele mostrou que os raios X são ondas e que os átomos de um cristal estão dispostos regularmente em treliças, as quais são responsáveis pelo padrão de interferência. *Efeito de Compton*: Quando os raios X, e outras fortes radiações eletromagnéticas, são disseminados por elétrons, seu comprimento de onda aumenta. Em 1922, o físico americano Arthur Holly Compton propôs que isso ocorre porque os raios X são constituídos de fótons. Quando os fótons que chegam colidem com os elétrons, são produzidos novos fótons de menor energia e maior comprimento de onda, os quais se disseminam em ângulos que variam com o montante de energia perdida pelos elétrons retrocedentes.

da abordagem do campo quântico, foram as mais comuns. Afirmam que todas as partículas são constituídas a partir de uma ou poucas partículas básicas, como os *quarks* de Gell-Mann. As teorias liberais, por outro lado, afirmam que todas as partículas são igualmente fundamentais e feitas umas das outras: a chamada "democracia nuclear". A mais bem sucedida delas é a teoria da matriz de dispersão (*S-matrix theory*), proposta na década de 1950 por Geoffrey Chew, aproveitando uma sugestão anterior de Heisenberg.

Que extraordinário progresso! Quem poderia prever em 1917 que, num prazo de dez anos, a teoria quântica teria explicado questões tão diversas quanto a estrutura de uma peça de metal, o comportamento dos elétrons e a extensão em que o mundo podia ser realmente medido? Ainda menos, quem poderia prever seu decisivo e fundamental avanço conceptual, a expressão matemática da idéia revolucionária de que os constituintes microscópicos do mundo têm uma natureza dual de onda-partícula? No entanto, em 1926, quem poderia também prever que, 30 anos depois, os físicos quânticos estariam procurando uma teoria para explicar as quatro forças do universo (gravitacional, fraca, eletromagnética, forte) através das quais todas as partículas interatuam?<sup>22</sup>

Uma tradição de pesquisa pode igualmente desenvolver-se mudando seus pressupostos, como aconteceu com a tradição mendeliana na genética. Essa tradição foi fundada em 1903-4 pelo americano Walter Sutton e o alemão Theodor Boveri; eles propuseram que os padrões de herança descritos por Mendel resultam da transmissão de unidades de hereditariedade ("genes") localizadas nos cromossomos ou sobre estes. Esses padrões devem ser investigados, disseram eles, através da reprodução artificial. Nas décadas de 1910 e 1920, Thomas Hunt Morgan e seus colaboradores, usando a mosca drosófila (*drosophila melanogaster*), mostraram que os genes estão, de fato, "nos" cromossomos. Depois, na década de 1950, graças ao desenvolvimento da bioquímica e à invenção de técnicas genéticas mais refinadas, tornou-se possível estudar padrões de herança em microrganismos como os bacteriófagos (vírus que contaminam as bactérias). A genética clássica converteu-se agora em genética da transmissão. Os pressupostos da tradição foram reformulados de modo a aplicarem-se a fenômenos moleculares, como a perda de atividade enzimática. A noção

<sup>22</sup> A gravidade é a mais fraca dessas forças. A própria força fraca, que é observada na deterioração radioativa dos núcleos atômicos, é um bilhão de vezes menos intensa do que a força eletromagnética, a qual vincula elétrons aos núcleos em átomos e moléculas. A força forte, que aglutina prótons e nêutrons no núcleo, é mais de 100 vezes mais forte do que a força eletromagnética e só atua em distâncias até um *fermi* (um milionésimo de um milímetro). Sobre a teoria quântica do campo, ver Steven Weinberg, "The Search for Unity: Notes for a History of Quantum Field Theory", *Daedalus* 196 (outono de 1977): 17-36.

de gene também foi redefinida. O gene clássico ocupava um *locus* definido no cromossomo. Na genética da transmissão, por outro lado, o gene inclui todas aquelas unidades, onde quer que estejam localizadas, que atuam como partes de um só gene. A genética da transmissão também introduziu novos tipos de genes, como o regulador e o repressor. Finalmente, foi refutada a lei mendeliana da segregação, segundo a qual, no heterozigoto, os alelos dentro do mesmo gene não se misturam. Na genética da transmissão, unidades tão pequenas quanto os nucleotídeos atuam como alelos e podem recombinar-se num único gene.<sup>23</sup>

Como exemplo de desenvolvimento através da unificação, consideremos a união da evolução darwiniana com a genética mendeliana na teoria sintética da evolução. Darwin sustentou sua teoria com base em fatos bem conhecidos na época: a tendência dos organismos a superproduzirem e a tendência das populações de organismos a permanecerem constantes e a tendência dos indivíduos a variarem. Ele assinalou que, como todas as espécies tendem a superproduzir e, no entanto, suas quantidades permanecem constantes, deve existir uma luta pela existência. Assim, concluiu ele, como as espécies exibem variação individual, algumas variantes devem sobreviver e perpetuar-se, enquanto outras são eliminadas. Em suma, os mais aptos sobrevivem.

A teoria de Darwin empolgou a paleontologia, anatomia e embriologia, mas foi criticada por outros biólogos por ter sido incapaz de explicar a fonte da variação individual. Entretanto, quando Darwin publicou *A Origem das Espécies*, Gregor Mendel estava realizando experimentos com ervilhas das hortas no mosteiro agostiniano de Brunn, na Áustria.\* As leis da hereditariedade que ele derivou desses experimentos foram ignoradas até 1900, quando foram independentemente redescobertas por três biólogos. Entretanto, os primeiros mendelianos consideraram as mudanças genéticas nos indivíduos como a principal causa da evolução e relegaram a seleção natural para o papel secundário de eliminação daquelas formas que não lograram mudar. Somente na década de 1930 os evolucionistas viram na genética de populações uma explicação viável da mudança evolucionária. Ronald A. Fischer e John Burdon S. Haldane, na Inglaterra, e Sewall Wright, nos Estados Unidos, elaboraram uma teoria matemática da genética de populações relacionada com a evolução. Assim, a moderna teoria da evolução é uma síntese da seleção natural e da genética de populações, e afirma que a evolução consiste em mudanças no *pool* gené-

<sup>23</sup> Um alelo é um ou outro de um par de caracteres mendelianos alternativos, como a estatura elevada ou baixa do caule de uma planta de ervilha. Um heterozigoto é um animal ou planta com dois diferentes alelos para um traço específico, por exemplo, um para a estatura elevada e um para a estatura baixa.

\* Atualmente Brno, capital da província da Morávia, na Tchecoslováquia. (N. do T.)

tico de uma população. O *pool* genético (a totalidade de genes numa população) é alterado principalmente por mutação. Onde, para Darwin, a seleção natural tinha sido sobrevivência diferencial, para a teoria sintética é reprodução diferencial. A seleção natural subentende que os genes que aumentam o êxito reprodutivo dos indivíduos que deles são portadores serão transmitidos mais freqüentemente à geração seguinte do que os seus alternativos. Em relativamente poucas gerações, esses genes espalhar-se-ão por toda a população. A seleção natural foi comparada a uma peneira que retém o mutante útil que raramente ocorre e deixa passar os mais comuns e nocivos. Mas a seleção natural faz mais do que isso. Também atua criativamente ao multiplicar as combinações adaptativas de genes que não se teriam multiplicado de outra forma.

### Historicidade e o Cientista

A Ciência é histórica no sentido de que é uma atividade, uma instituição e um corpo de conhecimentos que mudam no tempo em função da busca de uma completa explicação da ordem da natureza. Considerei este processo em termos da evolução das tradições de pesquisa. Vejamo-lo agora do ponto de vista do cientista individual.

O cientista pode refinar os conhecimentos existentes ou produzir conhecimentos fundamentalmente novos. Ele refina os conhecimentos tornando-os mais precisos e mais certos. Um modo de atingir essa precisão é medir as propriedades de fenômenos mais meticulosamente, sobretudo se uma nova técnica experimental possibilitar um teste mais rigoroso. Por exemplo, a proporcionalidade da massa inercial e gravitacional<sup>24</sup> foi medida em experimentos cada vez mais precisos por Isaac Newton (1686), Friedrich Bessel (1823), Roland von Eötvös (1922) e Robert Dicke (1964) — por Dicke até uma precisão de  $10^{-11}$ .<sup>25</sup> Um outro método consiste em elucidar e reformular conceitos e enunciados, expressando-os freqüentemente em termos matemáticos. Durante o século XVIII e começos do século XIX, por exemplo, várias gerações de eminentes matemáticos europeus — Daniel, Jakob e Johann Bernoulli,\* Jean d'Alembert, Leonhard

<sup>24</sup> A massa inercial é a medida da resistência de um corpo a ser acelerado. A massa gravitacional é a medida da força de atração exercida pelo corpo ou sobre ele.

<sup>25</sup> Os físicos usam freqüentemente potências de 10 como um encurtamento conveniente de números muito grandes ou muito pequenos; 1.000, por exemplo, converte-se em  $10^3$  e um milionésimo torna-se  $10^{-6}$ .

\* Jakob e Johann Bernoulli eram irmãos, naturais de Basileia (Suíça). Jakob desenvolveu o cálculo infinitesimal e criou o cálculo exponencial. Daniel, natural de

Euler, Joseph Lagrange, William Rowan Hamilton — reformularam e ampliaram a mecânica de Newton, tornando-a mais simples e mais clara.

O cientista busca a certeza, aceitando apenas aquelas hipóteses que foram testadas o mais rigorosamente possível.<sup>26</sup> Essa atitude é exemplificada pela resposta de cientistas à teoria geral da relatividade de Einstein (proposta em 1915). Durante cerca de 50 anos, a relatividade geral foi largamente ignorada, com base em que, matematicamente, era por demais complicada, não podia ser testada em laboratório e era incompatível com a mecânica quântica. Somente uns poucos investigadores, dedicando suas carreiras à teoria, esclareceram as suas extraordinárias conseqüências, a maioria das quais Einstein nunca conheceu. Uma dessas conseqüências é que muitas estrelas gigantes são destinadas a entrar em colapso gravitacional sob o peso de sua massa e a “desaparecer”, deixando em seu lugar “buracos negros” dos quais nada, nem mesmo a luz, pode escapar. Outra conseqüência é que o universo contém singularidades, lugares onde o espaço-tempo começa ou termina e as leis conhecidas da física entram em colapso, como no interior dos buracos negros e no nascimento do universo.

Depois, na década de 1960, ocorreu uma série de espetaculares descobertas no espaço: a explosão de galáxias, quasares, radiação micronebulosa cósmica proveniente da Grande Explosão,\* pulsares e fontes compactas de raios X. (Os quasares são objetos celestes quase-estelares que devem exceder a luminosidade de galáxias inteiras se estiverem tão distantes quanto sugere o deslocamento para o vermelho de seus espectros; as pulsares\*\* são destroços ou remanescentes de explosões de supernovas, os quais emitem pulsações muito rápidas e, segundo se pensa, seriam estrelas de nêutrons ultradensos; as fontes compactas de raios X podem ser estrelas de nêutrons ou então buracos negros ainda mais densos.) Simultaneamente, uma série de novas técnicas foram inventadas para testar as teorias gravitacionais: radar dirigido para planetas e satélites, feixes de raios *laser* apontados para a Lua, relógios atômicos e moleculares, gravímetros, interferômetros de longa base, e muitas outras.<sup>27</sup> Como resultado de todos

Gronningen, era filho de Johann e foi um dos pioneiros da hidrodinâmica e da teoria cinética do gás. (N. do T.)

<sup>26</sup> Ver Gary Gutting, “A Defense of the Logic of Discovery”, *Philosophic Forum* 4 (primavera de 1973): 393-94. Contudo, certeza e precisão não podem ser atingidas absolutamente mas apenas aumentadas.

\* A teoria cosmológica da Grande Explosão (*Big Bang Theory*) sustenta que a expansão do universo se iniciou com uma gigantesca explosão. (N. do T.)

\*\* Abreviatura de *pulsating radio stars*. (N. do T.)

<sup>27</sup> O deslocamento para o vermelho consiste no desvio de luz proveniente de estrelas e outros objetos celestes para a extremidade vermelha do espectro. O deslocamento, que corresponde a um aumento do comprimento de onda, é proporcional à velocidade a que os objetos estão se distanciando da Terra. O deslocamento para o vermelho

esses progressos — novas observações, novos instrumentos — a teoria da gravitação e a astrofísica são atualmente os campos mais excitantes da física. Existe um “boom” na relatividade geral. Os teóricos estão derivando dela novos teoremas, e os experimentadores estão inventando testes após testes para decidir entre a teoria e suas muitas concorrentes.<sup>28</sup>

O cientista produz fundamentalmente novos conhecimentos propondo teorias que são mais amplas, mais profundas e mais simples do que as suas predecessoras. Uma teoria é mais ampla quando explica uma maior gama de fenômenos do que a sua rival. A amplitude é obtida, por vezes, pela combinação de duas teorias ou dois conjuntos de leis existentes numa teoria mais abrangente, tal como Newton combinou as leis de Kepler e de Galileu, entre outras, e Maxwell integrou as ciências da óptica e do eletromagnetismo. Ou pode ser conseguida explicando fatos num vasto leque de campos, tal como Darwin explicou os dados por meio das ciências da vida e da Terra.

Uma teoria é mais profunda quando propõe um mecanismo para explicar o mecanismo postulado pela teoria que substitui. Veja-se o contraste entre a teoria da gravitação de Einstein e a de Newton. Esta última afirma que a gravitação é uma atração instantânea entre corpos no espaço absoluto, sem influência alguma da matéria. Einstein explica esse mecanismo propondo que o espaço é encurvado por matéria e que a curvatura resultante desvia os corpos de seus trajetos, na direção de corpos mais maciços do que eles próprios. Ou contraste-se a evolução darwiniana com a teoria sintética. Darwin explica a evolução das espécies como sendo devida à ação da seleção natural sobre a variação espontânea. Mas a teoria sintética vai mais além, porque explica a própria variação como um resultado da mutação de genes e cromossomos. Cito o dístico de Schiller, de que Niels Bohr gostava tanto:

Nur die Fülle führt zu Klarheit.

Und im Abgrund wohnt die Wahrheit.

é a prova mais impressionante de que o universo está em expansão. Muito mais brilhante do que uma nova, uma *supernova* fragmenta-se e não retorna ao seu estado anterior. Acredita-se que se converte numa estrela de nêutron (uma estrela em colapso gravitacional dotada de terrível densidade), assim chamada porque sob pressão e temperatura extremas os seus elétrons e prótons fundem-se em nêutrons. Um *gravímetro* é um instrumento para medir variações no campo gravitacional da Terra. Um *interferômetro de longa base* é um rádio-telescópio com antenas separadas — recebendo ondas de rádio da mesma fonte — colocadas a milhares de quilômetros de distância uma da outra e conectadas a um único receptor.

<sup>28</sup> Ver Clifford M. Will, “Gravitation Theory”, *Scientific American* 231 (novembro de 1974): 25-33.

“Somente a plenitude conduz à clareza, e a verdade habita as profundezas”.<sup>29</sup>

Finalmente, uma teoria é mais simples do que uma rival quando tem menos premissas relativas ao número de conseqüências deduzidas delas. A teoria da relatividade especial é particularmente simples e arrojada, baseando-se em dois princípios gerais: luz e relatividade. O primeiro afirma que a velocidade da luz é constante, o segundo que as leis da natureza são as mesmas em todos os quadros de referência, deslocando-se uniformemente em suas relações recíprocas.<sup>30</sup>

**O Avanço Através dos Problemas** A Ciência também é inerentemente histórica na medida em que tende a ser cumulativa. Toda investigação é uma tentativa para resolver um problema decorrente da solução de um problema anterior. Se for bem sucedida, descobre um ou mais novos problemas a serem investigados por pesquisas. O problema resolvido é um elo na cadeia de problemas e suas soluções, através dos quais a Ciência avança. De um modo geral, uma nova teoria é uma fonte muito fecunda de problemas, através das predições que gera.

Os problemas podem ser empíricos ou teóricos.<sup>31</sup> Um excelente exemplo dos primeiros é o problema do movimento browniano. A movimentação randômica de minúsculas partículas suspensas num fluido em equilíbrio térmico foi examinada originalmente pelo botânico escocês Robert Brown em 1827. Durante o resto do século, os cientistas debateram se isso era um problema sério ou mesmo genuíno, e a quem cabia resolvê-lo. Nas décadas de 1830 e 1840, por exemplo, foi alternadamente considerado um problema biológico (sendo as partículas, talvez, “animálculos”), um problema químico, um problema de polarização óptica, de condutividade elétrica, de teoria calórica, um desinteressante problema mecânico e um não-problema. Em fins do século, foi reconhecido como uma séria anomalia para as leis da termodinâmica e a tradição de pesquisa termodinâmica. Finalmente, foi resolvido por Einstein e Jean Perrin, numa impressionante volta à tradição cinética.<sup>32</sup>

<sup>29</sup> Dos Sonetos a Confúcio. Citado por David Park, “Time and Form in Physical World”, *Boston University Journal* 24 (1976): 32.

<sup>30</sup> Um quadro de referência também é conhecido como um sistema de coordenadas. A posição de um objeto no espaço é usualmente plotada com a ajuda de três coordenadas, as quais são medidas a partir da localização de um observador. Einstein adicionou uma quarta coordenada — o tempo — e manteve que espaço e tempo são relativos ao observador. Para Einstein, portanto, todos os sistemas de coordenadas são igualmente válidos, e as leis da natureza devem adotar a mesma forma em todos eles.

<sup>31</sup> Ver Larry Landan, *Progress and Its Problems*, Capítulos 1 e 2.

<sup>32</sup> *Ibid.*, pp. 19-20.

Os problemas teóricos podem ser interiores ou exteriores a uma teoria. Por exemplo, a mecânica quântica, apesar de uma grande profusão de previsões bem sucedidas, é flagelada por problemas básicos. Um destes é o intrigante fato de que, sob certas condições, como uma interferência e difração,<sup>33</sup> a radiação comporta-se como um processo ondulatório governado pelas equações de Maxwell do campo eletromagnético, e em outras circunstâncias, como no caso do efeito fotoelétrico e da dispersão de Compton, ela comporta-se como um feixe de partículas, *quanta* de energia chamados fótons. A teoria pode predizer o desfecho em ambos os conjuntos de condições mas não pode explicá-lo. A perplexidade dos físicos diante desse misterioso dualismo foi bem expressa por *Sir* William Bragg em seu famoso comentário: “Usamos a teoria clássica às segundas, quartas e sextas, e a teoria quântica às terças, quintas e sábados”.

Um exemplo de um problema externo é o conflito entre a teoria ptolomaica e o princípio platônico de movimento celestial que a teoria afirmava respeitar. Tal como a mecânica quântica, a teoria ptolomaica foi imensamente bem sucedida, no plano empírico. Mas, para conseguir esse êxito, teve que violar o princípio do movimento circular perfeito, pressupondo, por exemplo, que certos planetas gravitam em torno de pontos vazios no espaço, que os planetas nem sempre se movem a uma velocidade constante etc. A desarmonia conceptual foi o principal defeito que Copérnico encontrou na teoria.

O cientista deve enfrentar um problema com os dados e as técnicas à sua disposição, e é muito possível que eles sejam inadequados. Entretanto, soluções parciais conduzem a soluções melhores. A teoria de Bohr sobre o átomo de hidrogênio foi um meio-termo inconsistente entre a física clássica e a quântica,<sup>34</sup> mas estimulou hipóteses e desvendou fatos que culminaram na teoria quântica bem mais madura de meados da década de 1920. Na mesma ordem de idéias, um cientista que formula e resolve um importante problema que não é reconhecido na época poderá muito bem ter sua obra ignorada ou depreciada. A explicação de Daniel Bernoulli quanto à pressão do gás foi precursora da teoria cinética dos gases em cerca de um século. A hipótese de William Prout de que os pesos atômicos dos

<sup>33</sup> A *interferência* é um fenômeno ondulatório; quando dois feixes de luz oriundos da mesma fonte se encontram, suas ondas ora se neutralizam ora se apóiam mutuamente, produzindo faixas ou franjas alternadas de luz e escuro. *Difração*: um padrão de interferência que ocorre quando a luz passa pela borda de um corpo opaco ou através de uma fenda estreita, ou quando é refletida de uma superfície regular.

<sup>34</sup> Bohr explicou o movimento intra-orbital do elétron em torno do núcleo atômico por meio das equações de Maxwell, as quais se aplicam ao movimento contínuo. Ele explicou o movimento do elétron de uma órbita para uma outra (os seus “saltos”) por meio da teoria quântica de Planck, a qual se aplica ao movimento descontínuo.

elementos são múltiplos do peso do átomo de hidrogênio encontrou a resistência da maioria dos químicos, até sua corroboração um século depois por Ernest Rutherford e Frederick Soddy, usando novas técnicas experimentais. O ensaio de Mendel sobre as leis da genética ficou enterrado numa revista obscura durante 34 anos, antes de ser redescoberto. A hipótese de Alfred Wegener sobre a deriva dos continentes foi veementemente rejeitada por meio século, até surgirem provas favoráveis em virtude das novas ciências do magnetismo das rochas e da Oceanografia.

### Outros Aspectos da Historicidade

**História e Corrigibilidade** A Ciência também é histórica na medida em que todo e qualquer enunciado ou conjunto de enunciados científicos está aberto a revisão ou substituição, à luz de novas provas ou novas idéias. Algumas teorias — por exemplo, a teoria eletromagnética de Maxwell — consolidaram-se ao longo de um extenso período de testes e refinamentos, e a maioria dos cientistas bater-se-ia denodadamente para retê-las. Não obstante, mesmo essas serão abandonadas se forem decisivamente refutadas e se existirem teorias alternativas que prometam explicar os fatos mais satisfatoriamente. Como todas as conclusões científicas são, em última instância, conjecturais, a Ciência pode sempre criticar-se e transformar-se. Se a mecânica newtoniana não tivesse sido considerada fundamentalmente substituível, a teoria da relatividade e a mecânica quântica não teriam sido inventadas para substituí-la. (Ainda se sustenta que a teoria de Newton descreve corretamente os movimentos de corpos macroscópicos a velocidades consideravelmente inferiores à da luz.) Como a Ciência é conjectural, ela pode ser revolucionária.

**Objetividade** À medida que a Ciência foi crescendo, tornou-se cada vez menos antropomórfica e mais objetiva. Isto devia ser esperado, como acentua Nicholas Maxwell,<sup>35</sup> pois, se o universo é inteligível, o é potencialmente para todas as pessoas e não apenas para aquelas que possuem certos órgãos sensoriais e provêm de certas culturas. Quanto mais simples e graciosamente as nossas teorias explicarem a ordem natural, mais vasta será a esfera de seres humanos para quem elas deverão ser inteligíveis. Essa tendência para a objetividade pode ser vista na negativa de Copérnico de

<sup>35</sup> "The Rationality of Scientific Discovery", Parte II: "An Aim-Oriented Theory of Scientific Discovery", pp. 270-71.

que a Terra é o centro do universo, e na exigência seiscentista de explicações em termos de qualidades primárias (sendo as qualidades secundárias importantes apenas para os seres humanos, com seus órgãos sensoriais e sistema nervoso especiais). Também pode ser apreciada no princípio de Galileu de que o movimento uniforme, não-acelerado, ocorre em relação ao observador, um princípio que refuta a idéia aristotélica mais estreita de que a Terra está em repouso absoluto e, portanto, é um quadro de referência privilegiado a partir do qual todos os movimentos, em qualquer parte, podem ser minuciosamente observados. É novamente visível no mais amplo princípio da relatividade de Einstein. Esse princípio sustenta, contra Newton, que não existem conjuntos especiais de quadros de referência para formular as leis da natureza,<sup>36</sup> e que as leis, portanto, devem receber a mesma forma em todos os quadros de referência, isto é, para todos os observadores em posições arbitrárias e movimento relativo.

**Explicação** O que devemos concluir acerca do mundo, a partir do nosso estudo do avanço da Ciência? Quanto mais entendemos o mundo, mais estranho e também mais simples ele nos parece. Ao explicarmos o mundo, não o tornamos mais familiar, pois o familiar é o antropomórfico e o social e culturalmente específico. Como Niels Bohr observou argutamente:<sup>37</sup> "Se um homem não se sente estonteado quando trava conhecimento pela primeira vez com o *quantum* de ação, ele não entendeu uma palavra." Por conseguinte, devemos rejeitar a idéia de que, quanto mais a Ciência cresce, menos ela explica, com suas teorias servindo apenas para melhorar os instrumentos de previsão de fenômenos. Pelo contrário, quanto mais bizarro e simples a Ciência revela ser o mundo, melhor ela explica o mundo. Por exemplo, o que poderia ser mais bizarro e, ao mesmo tempo, mais simples do que um buraco negro — uma estrela gigantesca que se condensou a ponto de a sua enorme gravidade não permitir que nem mesmo a luz escape dela, com o resultado de que essa estrela é invisível? O físico John Archibald Wheeler sublinhou bem esse ponto. Disse ele: "O universo é muito mais estranho e mais belo do que nos apercebemos, e também

<sup>36</sup> De acordo com a primeira lei de Newton, um corpo livre de forças externas não deve experienciar aceleração alguma. Portanto, deve existir um observador para quem esta afirmação é verdadeira. Logo, há um conjunto de quadros de referência ("quadros inerciais") a partir dos quais o movimento de um corpo livre de forças será observado como um movimento não-acelerado.

<sup>37</sup> Citado por C.F. von Weizsäcker, "The Copenhagen Interpretation", em *Quantum Theory and Beyond: Essays and Discussions Arising from a Colloquium*, org. por Ted Bastin (Cambridge: Cambridge University Press, 1971), p. 26.

muito mais simples. Mas não temos esperança de descortinar até que ponto ele é simples, enquanto não reconhecermos quão estranho ele é.”<sup>38</sup>

### Resumo

A Ciência é intrinsecamente histórica. Em virtude das limitações da mente humana, a missão científica — dar uma explicação completa para a ordem natural — levará muitos séculos e, de fato, talvez nunca venha a ser cumprida. Em todas as civilizações, alguns homens procuraram explicar essa ordem em termos naturalistas. Não obstante, até aos tempos modernos, eles não se consideravam cientistas ou contribuintes para uma tradição supracultural. O conhecimento natural era difundido mais por acidente do que por desígnio. Por isso vemos, no passado, numerosos empreendimentos científicos, cada um deles evoluindo numa civilização diferente, em vez de um único movimento histórico em que todas as civilizações participassem. Ao longo de um milênio, os chineses, em especial, construíram um vasto corpo de conhecimento empírico. Se as circunstâncias tivessem sido diferentes, eles poderiam ter chegado a um moderno enfoque teórico de campo para a natureza. Em vez disso, a ciência moderna — matemática, experimental — se desenvolveu na Europa seiscentista por intermédio da Mecânica.

A Ciência cresce predominantemente através da evolução de tradições de pesquisa. Elas guiam a pesquisa indicando a natureza e as interações das entidades fundamentais num determinado domínio. As tradições de pesquisa desenvolvem-se de três formas principais: criando novas teorias, mudando seus pressupostos e unindo-se a outras tradições. Dentro das tradições e, por vezes, fora delas, os cientistas refinam os conhecimentos, tornando-os mais precisos e certos. Também produzem fundamentalmente novos conhecimentos propondo teorias que são mais amplas, mais profundas e, às vezes, mais simples do que as suas predecessoras.

Ao nível do indivíduo e da tradição de pesquisa, a Ciência avança resolvendo problemas, empíricos ou teóricos. Como as suas soluções são conjecturais, podem ser sempre reconsideradas e substituídas por novas. Assim, a Ciência está comprometida com a autocrítica e a possibilidade permanente de continuar crescendo. À medida que a Ciência se desenvolve, ela tende a tornar-se menos antropomórfica e mais objetiva, e a revelar uma ordem na natureza que é simultaneamente mais estranha e mais simples do que se supunha.

Até aqui, parti do pressuposto de que, no transcorrer dos séculos, a Ciência avançou e ficou cada vez mais próxima da verdade da natureza. Mas

esse pressuposto tem sido contestado, e no próximo capítulo considerarei se ainda temos direito a formulá-lo. Também indagarei se existe a probabilidade de que a Ciência continue crescendo indefinidamente.

<sup>38</sup> Citado por Maxwell, “The Rationality of Scientific Discovery”, Parte II, p. 271.

## 2

## O Progresso em Ciência

## A Ciência Progride?

É claro que sim, responderia a maior parte dos cientistas. Desde o século XVIII, a Ciência tem sido geralmente considerada o paradigma de uma atividade progressiva. Diz-se que a Ciência progride porque utiliza um número crescente de técnicas cada vez mais precisas de investigação para acumular um repertório em constante expansão de fatos bem confirmados. Esses fatos são resumidos numa coleção crescente de leis cada vez mais acuradas e abrangentes. Essas leis, pelo menos nas ciências físicas, são explicadas por meio de teorias com âmbito, simplicidade e precisão cada vez maiores, acarretando cada teoria a sua predecessora como uma consequência lógica ou um caso especial. Por exemplo, a óptica geométrica<sup>1</sup> foi explicada pela óptica ondulatória de Young e Fresnel, a qual, em conjunto com as leis do magnetismo e da eletricidade, foi explicada pela teoria eletromagnética de Maxwell que, por sua vez, foi explicada pela mecânica quântica.

Portanto, na concepção tradicional, a Ciência é progressiva na medida em que explica um número cada vez maior de fatos e capta, desse modo, uma parcela cada vez maior da verdade acerca da natureza. Também é cumulativa, na medida em que junta novos dados às suas descobertas passadas, em vez de substituí-las.

Mas esta visão das coisas é demasiado otimista. Conforme mostrarei, a Ciência procura ser progressiva e, a longo prazo, tem sido, apenas no sentido de que se esforça por explicar — e, até agora, parece ter explicado — um número cada vez maior de fatos acerca da ordem da natureza. Entretanto, o seu progresso não tem sido contínuo e só em parte é cumulativo.

<sup>1</sup> A óptica geométrica foi fundada por cientistas gregos, notadamente Euclides e Ptolomeu; eles descobriram, entre outras coisas, que o ângulo de reflexão de raios de uma superfície é igual ao ângulo de incidência.

Por que a Ciência não tem sido continuamente progressiva? Hipóteses incorretas foram, por vezes, preferidas às corretas. A idéia de que a Terra gira em redor do Sol foi apresentada por Aristarco de Samos no século III a.C. mas só voltaria a ser exposta por Copérnico em 1543. No século XIX, como vimos, a hipótese de Mendel foi ignorada e a de Prout, rejeitada. Em nosso próprio século, a hipótese de Wegener foi posta de lado durante 50 anos. Também ocorreu a estagnação de algumas ciências, individualmente consideradas. Depois do ano 200 de nossa era, pouco progresso foi registrado na ciência grega, fora da medicina e astronomia. Em certos países, as ciências regrediram realmente, como no caso da genética russa sob a orientação de Lysenko. Por outro lado, a Ciência atraiu pouco os romanos e foi inteiramente abandonada na Idade Média. Reconhece-se que a Ciência moderna vem crescendo exponencialmente há mais de dois séculos, mas, como veremos, essa tendência não pode continuar indefinidamente. O máximo que podemos dizer é que a Ciência foi progressiva até aqui, mas somente a longo prazo e a despeito de numerosos reveses.

A Ciência tampouco é sempre cumulativa. Embora numerosos fatos e leis, e a substância de certas teorias, tenham sido retidos e refinados, outros não o foram. Alguns fatos foram reclassificados, outros até rejeitados, quando as teorias que os explicavam foram substituídas por outras que classificaram o mundo de maneira diferente. Por exemplo, quando a teoria da afinidade dos elementos químicos<sup>2</sup> foi substituída pela teoria atômica de Dalton, muitos relatos de reações foram reescritos e alguns jogados fora, pura e simplesmente. Ademais, algumas teorias, inicialmente pelo menos, ignoraram certos problemas que tinham sido resolvidos por suas predecessoras.<sup>3</sup> A mecânica newtoniana não pôde explicar por que os planetas se deslocam todos na mesma direção em torno do Sol, um problema que já havia sido resolvido pela teoria cartesiana. A teoria da eletricidade de Franklin não conseguiu explicar a repulsão mútua de corpos com cargas negativas, um fenômeno já explicado por teorias precedentes.<sup>4</sup> Também algumas teorias, como as do calórico, do flogisto,<sup>5</sup> e da herança de

<sup>2</sup> De acordo com esta teoria, popular no século XVIII, as partículas do mesmo elemento conservam-se unidas por forças de afinidade mútua.

<sup>3</sup> Thomas S. Kuhn, *The Structure of Scientific Revolutions*, pp. 130-35.

<sup>4</sup> Larry Laudan, "Two Dogmas of Methodology", *Philosophy of Science* 43 (dezembro de 1976): 589-90.

<sup>5</sup> A teoria calórica, amplamente difundida no século XVIII, afirmava que o calor é um fluido imponderável (chamado "calórico"). Na segunda metade do século XIX, essa teoria foi substituída pela teoria da mecânica estatística, a qual afirma que o calor é causado pelos movimentos das partículas de que os corpos são compostos. Também durante o século XVIII, muitos cientistas acreditavam que os corpos materiais continham um vapor imponderável, chamado "flogisto", que os corpos exalavam

características adquiridas, foram inteiramente rejeitadas, enquanto outras só foram transmitidas em parte. Por exemplo, a substância das leis do movimento de Newton está contida na teoria especial da relatividade de Einstein, mas o pressuposto newtoniano de que o espaço é absoluto e euclídeo não foi explicitamente refutado.

Entretanto, a Ciência pode ser progressiva mesmo quando rejeita algumas de suas próprias realizações. A Ciência pode-se tornar mais verdadeira ou, de qualquer forma, menos falsa, tanto ao refutar falsas teorias como ao reter as verdadeiras. A teoria aristotélica de uma escala fixa de espécies cada vez mais perfeitas foi refutada pela teoria da evolução de Darwin. Contudo, por mais de 2.000 anos, ela inspirou uma quantidade enorme de descobertas e numerosas classificações sem o que Darwin não poderia ter concebido a sua teoria.

Vejamos agora a questão do progresso científico de outros ângulos.

### Verossimilhança

Karl Popper, um filósofo da ciência contemporâneo, sustenta que a Ciência é progressiva, mas em bases muito diferentes. Afirmar que nunca podemos saber com certeza se uma teoria científica é verdadeira ou mesmo provável porque a teoria pode ser sempre refutada pelo próximo teste. Não obstante, ainda é possível a uma série de teorias, mesmo quando refutadas, acercarem-se sucessivamente da verdade. Uma teoria pode ser menos inverídica do que outra, e podemos conjecturar com bastante precisão qual delas é. Embora as teorias de Kepler e Newton tenham sido refutadas, podemos razoavelmente sustentar que a de Newton está mais perto da verdade do que a de Kepler, e a de Einstein mais do que a de Newton.

De que modo Popper justifica essa tese? Ele sustenta que as consequências lógicas de uma teoria podem ser divididas entre as que são verdadeiras (o “conteúdo de verdade” da teoria) e as que são falsas (o “conteúdo de falsidade”). A diferença entre os dois conjuntos de consequências indica-nos a “verossimilhança” da teoria, ou quão perto ela se encontra da verdade.<sup>6</sup> Dadas duas teorias rivais, A e B, podemos conjecturar que A possui maior verossimilhança se acarretar todas as consequências verdadeiras de B e mais algumas, e se não tiver mais consequências falsas do que B.

quando aquecidos. No final do século, Antoine Lavoisier provou experimentalmente que tal vapor não existia.

<sup>6</sup> Popper propôs a noção de verossimilhança em *Conjectures and Refutations*, cap. 10 e adendos; e em *Objective Knowledge: An Evolutionary Approach* (Oxford: Clarendon, 1972), caps. 2 e 9.

Assim, a teoria de Newton tem mais verossimilhança do que a de Kepler e a de Einstein mais do que a de Newton. A teoria de Einstein prevê todos os fatos previstos pela de Newton e prevê alguns (como o movimento do planeta Mercúrio) mais corretamente. Além disso, a teoria de Einstein prevê com êxito fatos que não foram previstos por Newton, como o deslocamento da luz, quando emitida num forte campo gravitacional, para a extremidade vermelha do espectro. Como as consequências lógicas de uma teoria são em número infinito, não podemos na prática verificá-las todas. Portanto, diz Popper, a verossimilhança relativa de teorias concorrentes deve continuar sendo um palpite. Mesmo assim, podemos formular um bom palpite se testarmos as teorias do modo mais rigoroso que soubermos.<sup>7</sup>

### A Variância de Significado

A tese da verossimilhança de Popper foi criticada em bases internas,<sup>8</sup> mas uma crítica mais radical, e mais pertinente para este nosso estudo, está contida na chamada “tese da variância de significado”, proposta por Paul K. Feyerabend e Thomas S. Kuhn. De acordo com essa tese, os significados de termos científicos estão “impregnados de teoria” ou são determinados pelas teorias em que eles ocorrem. Como acontece isso? Para Kuhn e Feyerabend, o significado de um termo é a sua “referência”, ou seja, o conjunto de coisas a que o termo é aplicado em virtude de possuírem a propriedade associada ao termo. A referência do termo “massa”, por exemplo, é o conjunto de coisas que têm massa. Ora, pelo menos alguns dos termos comuns a teorias em grande escala rivais são usados por cada teoria para formular enunciados acerca de objetos ou propriedades não mencionados pela outra teoria. Segue-se, de acordo com este ponto de vista, que em cada teoria os termos têm significados diferentes e, por conseguinte, os enunciados em que figuram não podem ser comparados. Assim, Kuhn sustenta que “na transição de uma teoria para a seguinte as palavras mudam seus significados ou condições de aplicabilidade de modos sutis. Embora a maioria dos mesmos sinais sejam usados antes e depois de uma revolução — por exemplo, força, massa, elemento, composto, célula — o modo como

<sup>7</sup> Consideraremos o que Popper escreveu sobre testes de teorias no próximo capítulo.

<sup>8</sup> Ver os ensaios de Pavel Tichy, John H. Harris e David Miller em *British Journal for the Philosophy of Science* 25 (junho de 1974) (doravante citado como *BJPS*); de Tichy em *BJPS* 27 (junho de 1976): 25-42; de Miller em *BJPS* 27 (dezembro de 1976): 363-81; e de Adolf Grünbaum, “Is the Method of Bold Conjectures and Attempted Refutations Justifiably the Method of Science?” *BJPS* 27 (junho de 1976): 105-36. Ver também a resposta de Popper, “A Note on Verisimilitude”, *BJPS* 27 (junho de 1976): 147-59.



alguns deles se vinculam à natureza foi sensivelmente mudado. Teorias sucessivas são assim ... incomensuráveis".<sup>9</sup>

Por exemplo, os termos "massa", "comprimento" e "velocidade" assumem significados diferentes na mecânica clássica e na relativista. Na mecânica clássica, esses termos denotam propriedades que são independentes do quadro de referência do observador; na mecânica relativista, eles denotam propriedades que dependem do quadro de referência. Na mecânica clássica, um corpo conserva a mesma massa e comprimento, por mais velocidade que se desloque em relação a um observador. E na mecânica relativista? Suponhamos, disse Einstein, num famoso "experimento de pensamento", que impelimos um relógio que pesa 1kg e tem 1m de largura. Para um observador de fora, o relógio, deslocando-se a um décimo da velocidade da luz, aproximadamente 30.000km por segundo, pesará 1,08kg, terá sua largura diminuída em 5,6mm, aproximadamente, e correrá três décimos de um minuto mais devagar. À metade da velocidade da luz, pesará 2,25kg, terá apenas cerca de 14cm de largura e correrá 52 minutos mais devagar. A 0,9999 da velocidade da luz pesará cerca de 72kg, terá apenas cerca de 1,4cm de largura e quase cessará de informar o tempo. Assim, para Kuhn e Feyerabend, as previsões clássicas e relativistas acerca da massa ou do comprimento de um objeto são previsões sobre diferentes propriedades.<sup>10</sup> Como os significados de termos compartilhados mudaram, a mecânica clássica tampouco pode ser representada como consequência lógica ou caso limitante da mecânica relativista. Embora os enunciados em que as leis de Newton se expressam normalmente possam ser derivados, sob pressupostos apropriados, da teoria especial da relatividade, eles mudaram seu significado e, portanto, diz Kuhn, deixaram de expressar as leis de Newton.<sup>11</sup>

O que essa tese implica para a noção popperiana de verossimilhança? Ela diz, muito simplesmente, que, como as teorias não podem ser comparadas, é impossível sabermos se uma tem mais verossimilhança do que outra.

<sup>9</sup> Thomas S. Kuhn, "Reflections on My Critics", em *Criticism and the Growth of Knowledge*, org. por Imre Lakatos e Alan Musgrave, pp. 266-67.

<sup>10</sup> Feyerabend, "How To Be a Good Empiricist: A Plea for Tolerance in Matters Epistemological", em *Philosophy of Science, The Delaware Seminar*, org. por Bernard H. Baumrin (Nova York: Wiley, 1963), 2:14: "Que o conceito relativista e o conceito clássico de massa são muito diferentes torna-se claro se ... considerarmos que o primeiro é uma *relação*, envolvendo velocidades relativas entre um objeto e um sistema coordenado, ao passo que o segundo é uma *propriedade* do próprio objeto e independente de seu comportamento em sistemas coordenados."

<sup>11</sup> Kuhn, *Structure of Scientific Revolutions*, p. 101: "Embora as fórmulas das Leis de Newton sejam um caso especial das leis da mecânica relativista, elas não são as Leis de Newton. Ou, pelo menos, não o são a menos que essas leis sejam reinterpretadas de um modo que teria sido impossível antes da obra de Einstein."

É certo que Kuhn e Feyerabend admitem alguma intertradução de teorias. Alguns enunciados de uma teoria podem ser traduzidos para a linguagem da outra, ou alguns enunciados de ambas as teorias para uma terceira linguagem. Mas, mesmo com uma tradução parcial, o conteúdo conhecido de verdade e falsidade das teorias não pode ser inteiramente comparado. Logo, não podemos formular uma boa conjectura da verossimilhança relativa das teorias, e a tese de Popper parece ser refutada.

Se descrevermos o mundo através das teorias que sustentamos a seu respeito, e se essas teorias forem incomensuráveis, como iremos saber se a Ciência avança para a verdade? Não saberemos, diz Kuhn. A Ciência faz realmente algum progresso? Sim, mas somente quando aumenta o número e a precisão de suas soluções de problemas, não porque represente de um modo cada vez mais acurado como a natureza realmente é. A mecânica de Newton resolve mais problemas do que a de Aristóteles, e a de Einstein resolve mais do que a de Newton, mas isso não significa que Newton ou Einstein tenham chegado mais próximo da verdade do que Aristóteles. O desenvolvimento da Ciência, diz Kuhn, é como a evolução biológica. Desde seus primórdios, ela vai avançando, avançando, vai criando produtos cada vez mais especializados, mas não tem uma meta final.<sup>12</sup>

### O Significado como Referência Conotativa

Em face dessas críticas, como pode ser defendida uma concepção mais tradicional do progresso científico? O modo mais óbvio é propondo uma outra teoria do significado. Mary Hesse sustenta que, se o significado de um termo como "massa" depende de todas as sentenças em que ele aparece na teoria, então, trivialmente, ele muda de significado de uma teoria para a seguinte. Ela propõe, portanto, que se defina o significado de um termo como a "referência conotativa" desse termo, isto é, como a classe de coisas a que o termo é aplicado, na medida em que se *observa* que essas coisas são semelhantes (em resultado, talvez, de elas serem medidas de maneiras semelhantes). Com base nesta interpretação, as teorias de Newton e Einstein aplicam igualmente o termo "massa" a uma série de fenômenos. A teoria de Einstein afirma, por exemplo, e Newton nega, que a massa aumenta com a velocidade em relação ao observador. Neste caso, o termo "massa" é aplicado aos mesmos fenômenos; logo, as teorias são comparáveis e a de Einstein pode ser confirmada e a de Newton refutada. Por outro lado, Einstein atribui "massa" à luz, ao passo que Newton não; e Newton atribui "simultaneidade" a certos pares de eventos, do que Einstein se

<sup>12</sup> *Ibid.*, cap. 13 e pp. 205-7.

absteve. Os enunciados nas duas teorias, em que os mesmos termos são aplicados a diferentes fenômenos, são logicamente incomensuráveis. Assim (em contraste com as idéias de Kuhn e Feyerabend), quando duas teorias aplicam o mesmo termo a objetos que são reconhecidamente idênticos, elas podem ser comparadas; caso contrário, não.<sup>13</sup>

De que modo, então, a Ciência progride? Principalmente, diz Hesse, pela acumulação de leis, as quais podem ser trasladadas de uma teoria para outra, desde que se apliquem à mesma classe de coisas.<sup>14</sup> Sujeitas a ligeiras correções, numerosas leis permaneceram estáveis através de todas as mudanças na teoria: a lei da alavanca de Arquimedes (sem revisão há mais de 2.000 anos), a lei da reflexão e refração da luz de Snell, as leis do movimento de Newton, a lei de Boyle, as leis de interação magnética e elétrica de Coulomb, as leis de eletricidade de Ohm, Ampère e Faraday, as leis da genética de Mendel etc. Com a ajuda dessas leis, preparou-se a ocorrência de inúmeros eventos experimentalmente controlados, e numerosos artefatos tecnológicos foram criados. Esses artefatos e eventos são uma prova flagrante de que as leis são verdadeiras.<sup>15</sup> Não obstante, os artefatos, pelo menos, não validam as teorias por meio das quais as leis são explicadas. A Ciência, insiste Hesse, produz apenas conhecimentos fenomenais acerca de observáveis — conhecimentos que podem ser aplicados tecnologicamente — e não conhecimentos teóricos sobre a natureza oculta das coisas. Ao contrário das leis, as teorias contradizem-se e substituem-se mutuamente. Desde os gregos, por exemplo, a Ciência tem oscilado entre as teorias do campo e da partícula em relação à matéria. Logo, as teorias mantêm-se como hipóteses apenas e não são cumulativas.<sup>16</sup> Os dispositivos tecnológicos são independentes da teoria porque as leis em obediência às quais são construídos permanecem verdadeiras, não importa como sejam explicadas. Se os reatores nucleares e os transistores forem ultrapassados e se tornarem obsoletos por causa de uma mudança em nossas teorias da fissão nuclear e do estado sólido, nem por isso eles passariam a funcionar

<sup>13</sup> Mary Hesse, *The Structure of Scientific Inference* (Berkeley e Los Angeles: University of California Press, 1974), pp. 61-66. A tese de variância de significado é discutida por Dudley S. Shapere, "Meaning and Scientific Change", em *Mind and Cosmos*, org. por Robert G. Colodny (Pittsburgh: University of Pittsburgh Press, 1966), pp. 41-85; e por Frederick Suppe em *The Structure of Scientific Theories*, org. por F. Suppe, pp. 199 e segs. O debate foi resumido em Arthur Fine, "How To Compare Theories: Reference and Change", *Noûs* 9 (março de 1975): 17-32.

<sup>14</sup> Hesse, *Structure of Scientific Inference*, pp. 299-300.

<sup>15</sup> Mary Hesse, "Reasons and Evaluations in the History of Science", em *Changing Perspectives in the History of Science*, org. por Mikuláš Teich e Robert Young, p. 147.

<sup>16</sup> Hesse, *Structure of Scientific Inference*, pp. 299-301, e "In Defense of Objectivity", *Proceedings of the British Academy* 58 (1972) (Londres: Oxford University Press, 1974), pp. 281-84.

menos eficientemente. Pois as leis em que eles assentam não teriam mudado, somente a explicação das mesmas.

Neste ponto, entretanto, Hesse confunde dois modos de progresso em direção à verdade e, por conseguinte, duas formas de conhecimento científico. As leis representam a verdade. Por conseguinte, à medida que se acumulam, as leis representam mais dessa verdade. As teorias podem ser falsas mas são superadas por outras que são menos falsas. Logo, por substituição, as teorias aproximam-se mais da representação da verdade. Por exemplo, a teoria de Roger Boscovich (1763), de que os constituintes básicos da matéria são centros de força compostos de numerosos pontos, está mais próxima da concepção moderna da partícula elementar do que a noção newtoniana de um átomo sólido e material, "um camarada simpático e resistente", como disse Rutherford, zombeteiramente, "de cor vermelha ou cinza, conforme o gosto".<sup>17</sup> Uma vez mais, embora as teorias da matéria e da luz tenham alternado entre as concepções de campo e de partícula, ambas as concepções se combinaram (embora de forma inconsistente) na atual mecânica quântica. Assim, enquanto que a maioria das leis descrevem fielmente o modo como as coisas se apresentam à observação, as teorias encaminham-se para o objetivo de fornecer uma explicação verdadeira dos motivos por que as coisas são como parecem ser.

### O Significado como Uso Verbal

Um ponto de vista do progresso científico mais próximo do tradicional foi adotado por filósofos da escola de Wilfrid Sellars.<sup>18</sup> Gary Gutting, por exemplo, concorda com Hesse em que, embora os termos mudem de significado de teoria para teoria, não o mudam inteiramente e, por conseguinte, as teorias podem ser comparadas. Entretanto, ele aceita a noção de Wittgenstein-Sellars de que o significado de um termo é equivalente aos modos como o termo é usado num sistema lingüístico. Em teorias diferentes, diz ele, os mesmos termos são freqüentemente usados de maneira semelhante e, portanto, têm significados semelhantes, mesmo quando se referem a coisas distintas. Vejamos de novo o termo "massa" nas mecânicas clássica e relativista. Ambas as teorias definem momento como o produto de massa e velocidade; ambas tratam a massa como uma medida de inércia; ambas relacionam a massa (embora de maneiras diferentes) com a energia cinética; e ambas medem a massa de um modo semelhante (por exemplo, por

<sup>17</sup> A.S. Eve, *Rutherford* (Nova York: Macmillan, 1939), p. 384.

<sup>18</sup> As principais obras de Sellars são *Science, Perception and Reality* (Nova York: Humanities, 1963) e *Science and Metaphysics* (Nova York: Humanities, 1968).

balanças e espectrômetros de massa). Essas semelhanças no papel que desempenham justificam o uso do mesmo termo nas duas teorias.<sup>19</sup>

Gutting sustenta depois que, se os termos são usados de formas semelhantes em sucessivas teorias, a verdadeira substância de uma teoria anterior pode ser incluída numa posterior. Uma antiga verdade é transferida para uma nova teoria quando esta contém um enunciado verdadeiro que desempenha um papel idêntico ao do enunciado correspondente na teoria anterior.<sup>20</sup> Por exemplo, a razão da massa de um elétron para a sua carga tem o mesmo valor na física clássica, relatividade especial e mecânica quântica. Isto acontece não porque a formulação clássica dessa verdade por J.J. Thomson figura em todas as três teorias (mudanças no significado de "massa" e "carga" tornam isso impossível), mas porque há verdadeiras analogias nas outras duas teorias.

Como, então, a Ciência progride através de mudanças na teoria? De acordo com esse ponto de vista, a Ciência progride sempre que uma nova teoria explica tudo o que a sua predecessora explicou e mais ainda. A nova teoria rejeitará o que se apurou ser falso na antiga teoria mas reterá, na forma de enunciados correspondentes, tudo o que se comprovou ser verdadeiro ou aproximadamente verdadeiro. A nova teoria também explicará o sucesso relativo da antiga teoria. Quer dizer, mostrará por que os fenômenos obedecem às leis de sua predecessora, na medida em que isso foi observado.

Atente-se para o modo como a mecânica de Newton explica o êxito parcial das leis de Kepler e Galileu. As leis de Kepler estabelecem que um planeta gravita em torno do Sol numa elipse. A teoria de Newton mostra que o percurso descrito por um planeta não é uma elipse porque os planetas são influenciados pelas forças gravitacionais perturbadoras<sup>21</sup> de outros objetos além do Sol (outros planetas, satélites, asteróides, poeira e gás interplanetários). A lei da queda dos corpos de Galileu afirma que um corpo em queda livre perto da superfície da Terra se acelera constantemente. A teoria de Newton mostra que a aceleração não é constante porque a força da gravitação varia com a distância entre o corpo que cai e o centro da Terra. Não obstante, a teoria de Newton demonstra que as leis de Kepler e Galileu são aproximadamente verdadeiras, uma vez que tanto as forças perturbadoras que atuam sobre o planeta quanto a mudança relativa na distância entre um corpo que cai e o centro da Terra são quase nulas.

<sup>19</sup> Gary Gutting, "Conceptual Structures and Scientific Change", *Studies in History and Philosophy of Science* 4 (novembro de 1973): 223-26.

<sup>20</sup> Este ponto é tratado mais detalhadamente em Sellars, *Science and Metaphysics*, cap. 5.

<sup>21</sup> Uma perturbação é uma influência tão pequena que o problema em que ela entra pode ser resolvido muito mais simplesmente se a perturbação for negligenciada.

Um outro antigo discípulo de Sellars, Jay Rosenberg, assinala que podemos, por vezes, calcular em que medida as previsões de uma antiga teoria diferem das de sua sucessora. Na medida em que essa diferença decresce através de uma seqüência de teorias, podemos dizer que as teorias "convergem" entre si e, neste sentido, aproximam-se da verdade. O progresso teórico, declara ele, "é marcado pela imprecisão decrescente com que sucessivas teorias ajustam dados cada vez mais refinados".<sup>22</sup> Entretanto, podemos afirmar que sucessivas teorias têm uma direção definida e só obtêm progresso se pudermos realmente medir sua "convergência mútua". Como as teorias de uma ciência não-quantitativa geram previsões não-quantitativas, elas devem ser encaradas somente como alternativas umas das outras e não como aproximações sucessivamente mais próximas da verdade. Rosenberg não menciona, porém, qualquer grupo de teorias que tenha realmente convergido, nem mostra precisamente como foi realizado o cálculo.

### Esquemas Metafísicos Básicos

Mas suponhamos que isso possa ser feito. Deveremos concluir que somente as teorias quantitativas podem avizinhar-se da verdade? Absolutamente. A finalidade geral da Ciência consiste em descobrir a ordem que *supomos* estar presente na natureza. Se pudermos estabelecer (a) em termos muito gerais o que deve ser essa ordem (por exemplo, que deve ser simples), (b) que aspectos dessa ordem são procurados pelas diversas ciências, tanto quantitativas como não-quantitativas, e (c) como os enunciados (a) e (b) podem ser aperfeiçoados com o tempo, teremos articulado as metas implícitas da Ciência, no todo ou em parte. Portanto, se formos capazes de mostrar que as teorias nas várias ciências se tornaram sucessivamente mais simples e coerentes (e, por conseguinte, representações mais adequadas da ordem que elas pretendem explicar) e, ao mesmo tempo, empiricamente mais bem-sucedidas, então teremos mostrado que a Ciência como um todo e também as suas ciências componentes progrediram, de fato, em direção a suas respectivas metas. Esta tese foi proposta por Nicholas Maxwell.<sup>23</sup>

<sup>22</sup> Jay F. Rosenberg, *Linguistic Representation* (Dordrecht, Holanda: Reidel, 1974), p. 94. Ver também o seu ensaio "The Elusiveness of Categories, the Archimedean Dilemma, and the Nature of Man: A Study in Sellarsian Metaphysics", em *Action, Knowledge and Reality: Critical Studies in Honor of Wilfrid Sellars*, org. por Hector-Neri Castañeda (Indianapolis: Bobbs-Merrill, 1975), pp. 171-76.

<sup>23</sup> Nicholas Maxwell, "The Rationality of Scientific Discovery, Part I: The Traditional Rationality Problem"; e "The Rationality of Scientific Discovery, Part II: An Aim-Oriented Theory of Scientific Discovery".

A Ciência, diz Maxwell, é guiada pela pressuposição metafísica de que o universo é inteligível. O objetivo fundamental da Ciência é desenvolver teorias cada vez mais simples e coerentes que progressivamente tornem essa conjectura mais detalhada e precisa, e que, ao mesmo tempo, encontre um crescente êxito empírico. Teorias feias, inconsistentes, mesmo que estejam bem confirmadas, são a longo prazo rejeitadas porque postulam somente desordem e, portanto, não nos ajudam a concretizar esse objetivo. Tal é o permanente “esquema metafísico básico” da ciência, o esquema básico para todos os outros planos mais específicos.

Uma ciência madura, diz Maxwell, é usualmente guiada por um esquema metafísico básico ou conjunto de pressupostos fundamentais, frequentemente implícito, o qual procura especificar as características invariantes de um domínio em termos muito genéricos, a fim de desenvolver teorias testáveis que as representem mais precisamente. Portanto, cada esquema básico especifica certas espécies de entidades fundamentais e suas propriedades. O esquema básico subentendido na física clássica postula o espaço euclidiano tridimensional, o tempo contínuo unidimensional e massas puntiformes interagindo através de forças centralmente dirigidas que variam continuamente com a distância. O esquema básico einsteiniano especifica um contínuo tetradimensional espaço-tempo, em que a massa-energia dá origem à gravitação como propriedade geométrica desse contínuo.<sup>24</sup>

De acordo com Maxwell, os esquemas básicos da Ciência tendem a aperfeiçoar-se, tornando-se mais inteligíveis e empiricamente mais bem-sucedidos. A Física, por exemplo, foi até hoje guiada por cinco diferentes esquemas básicos: o esquema aristotélico, o qual estabelece que os fenômenos ocorrem porque as coisas se esforçam por realizar seus potenciais; o esquema dos corpusculares e cartesianos, o qual afirma que todos os fenômenos têm que ser explicados em função dos movimentos de corpúsculos interagindo por contato; o esquema da física mecanicista clássica (Newton, Bosovich, Helmholtz), o qual sustenta que todos os fenômenos resultam de movimentos de massas puntiformes interagindo através de forças centrais de atração e repulsão que variam com a distância; o esquema da teoria do campo einsteiniana, a qual procura explicar todos os fenômenos como efeitos de um campo unificado; e o esquema da mecânica quântica, ainda em debate, o qual propõe que a natureza é, em última instância, não-determinista. Esta seqüência exemplifica de um modo flagrante o avanço da Ciência.

<sup>24</sup> Maxwell, “The Rationality of Scientific Discovery, Part II”, p. 275.

Portanto, o progresso científico não é uma questão de desenvolvimento empírico e nada mais. Não consiste somente em inventar teorias que prevejam mais fenômenos com maior exatidão. Envolve também a proposta de teorias de crescente inteligibilidade, incluindo maior beleza e simplicidade. Quanto mais inteligíveis as nossas teorias se tornarem, mais entenderemos a inteligibilidade do mundo.

### Que Futuro Está Reservado à Ciência?

A Ciência é praticada há, pelo menos, 2.500 anos. Por quanto tempo continuará ainda? Pode-se responder: pelo tempo que durar a civilização. Certo, os governos podem pôr um fim à atividade científica organizada, sempre que lhes aprouver. Seria até concebível a possibilidade de eles decidirem que a continuação das investigações científicas produziria conhecimentos de grave perigo para a humanidade; ou talvez concluíssem que o espírito livre da Ciência ameaçava a segurança deles. Mas isso é improvável. Para que os homens aumentem seu poder de controle sobre as condições de suas vidas, eles devem ampliar seus conhecimentos da natureza; e é difícil imaginar governos, como um todo, declarando que, como os homens são hoje senhores absolutos de seu destino, a busca de conhecimento científico poderia muito bem cessar. Por certo, uma dada ciência básica poderá parecer que se gastou. As suas teorias poderão ter sobrevivido a todos os testes, e novos experimentos talvez não alterem o conhecimento corrente. Os físicos, por exemplo, poderão sentir-se aptos a prever o comportamento da matéria sob todas as condições por eles observadas no universo e sob quaisquer que eles mesmos se empenharam em criar. Mas outras ciências ainda prosperariam e os nossos interesses continuariam expandindo-se. Além disso, o desenvolvimento de tais ciências, para não mencionar o da tecnologia (por exemplo, as viagens espaciais), certamente geraria novos problemas para a Física resolver.

Entretanto, não será possível que tenhamos um dia aprendido tudo o que há para ser aprendido acerca do homem e do mundo? No fim de contas, só existe um universo para investigar; e a Ciência, ao contrário da Matemática ou da Filosofia, não pode perpetuar-se inventando problemas puramente abstratos. O biólogo Bentley Grass, entre outros, sustenta que já conhecemos as leis da matéria e da vida. Em todo o universo, diz ele, a matéria consiste nas mesmas partículas e elementos. O código genético é universal e em todas as espécies a energia é metabolizada de maneira semelhante. Não há mais avanços significativos a fazer. E Grass afirma: “Somos como os exploradores de um grande continente que penetraram até aos limites dos pontos da bússola e mapearam as principais cordilheiras

e rios. Ainda existem inúmeros detalhes a preencher, mas os horizontes intermináveis deixaram de existir.”<sup>25</sup>

Eu discordo. Atente-se para o estado da Física contemporânea. As duas teorias orientadoras nessa ciência, a relatividade geral e a mecânica quântica, são mutuamente incompatíveis. De acordo com a relatividade geral, a matéria é um aspecto do espaço-tempo, que é contínuo e determinista. Segundo a mecânica quântica, a matéria é descontínua ou particulada (mas com características ondulatórias) e fundamentalmente não-determinista. A relatividade geral, além disso, foi alvo de uma sucessão de críticas durante mais de meio século. A mecânica quântica está em situação ainda pior, porquanto emprega os conceitos contraditórios de onda e partícula. Ademais, gera previsões sobre os resultados da medição de microfenômenos somente quando se conjuga com parte da física clássica para descrever o instrumento de mensuração macroscópica. Assim, a teoria em uso experimental é realmente uma conjunção de duas teorias parcialmente incompatíveis, uma das quais se supõe ter refutado a outra! Enquanto não se propor uma teoria mais profunda que unifique a mecânica quântica e a reconcilie com a relatividade geral, não podemos afirmar que os cientistas descobriram as leis fundamentais da matéria. Quanto às leis da vida, a Biologia está menos unificada do que a Física. É incapaz de mostrar como a duplicação do DNA (explicada pela biologia molecular) guia o crescimento e funcionamento de organismos (explicado por outros ramos da Biologia).

Se e quando os problemas com que as teorias atuais se defrontam forem resolvidos, outros certamente persistirão. Atentemos para as constantes fundamentais da física. Trata-se de quantidades cujos valores numéricos não são explicados pelas teorias em que se apresentam, mas são adicionados às teorias depois de terem sido empiricamente apurados. A mecânica quântica não pode explicar por que o elétron possui a massa e a carga que tem, nem a relatividade especial pode explicar a velocidade da luz. Ou vejamos certas razões. O número 137,036 relaciona o tamanho do elétron ao tamanho do átomo e o tamanho do átomo ao comprimento de onda da luz emitida. A observação astronômica mostrou que essa razão vale exatamente para átomos até mesmo daqui a um bilhão de anos no espaço e no tempo. Por que esse número e não um outro? Os físicos não duvidam de que outras razões fundamentais, como a razão entre a massa do próton e a do elétron, são uniformes em todo o universo. Serão essas razões aspectos de uma estrutura matemática subjacente? Paul Dirac, por exemplo, sugeriu em sua Hipótese dos Grandes Números que os números realmente grandes e sem dimensão na natureza estão relacionados entre si

<sup>25</sup> Bentley Glass, "Science: Endless Horizons or Golden Age?" *Science* 171 (8 de janeiro de 1971): 24.

e com a idade do universo.<sup>26</sup> Os físicos, entretanto, mal começaram a enfrentar essas questões.

Mas será que a própria natureza excede a nossa capacidade de compreensão? O universo pode muito bem consistir numa infinita variedade de coisas dispostas numa sucessão infundável de níveis ou domínios relativamente independentes. Esses níveis incluem o nível humano, o nível de animais e plantas, o nível de objetos inanimados (rios, pedras etc.), o nível de moléculas e átomos, e o nível das partículas elementares. Acima e abaixo desses níveis, devemos esperar o descobrimento de outros, como o nível de seres mais evoluídos do que nós, talvez, ocupando outras galáxias, ou outras dimensões do universo, e um nível de matéria mais primitiva do que a subatômica. Haverá, pois, coisas demais para descobrirmos? A pergunta parece irrespondível. Pois como poderemos chegar a saber se já explicamos totalmente a ordem natural? Tudo o que poderemos dizer é que os nossos esforços sumamente persistentes não conseguiram levar-nos mais longe.

Existem, pois, alguns limites *a priori* para o que podemos saber? A Ciência é certamente limitada pela amplitude da mente e dos sentidos humanos. Existem noções que não podemos formular de um modo significativo para investigação porque, como disse Kant, as nossas categorias mentais não permitem. Por exemplo, não podemos propor uma teoria científica que negue a existência de espaço e tempo, porquanto é impossível pensarmos no mundo físico sem esses conceitos. Por um lado, se o universo é infinito, existem partes que nunca observaremos. Se é finito, por outro lado, observaremos a maioria de suas partes somente como elas costumavam ser. Com a ajuda dos mais potentes telescópios, podemos observar agora cerca de 8 bilhões de anos-luz, ou seja, a distância que a luz, à velocidade de aproximadamente 300.000km por segundo, percorreria em 8 bilhões de anos, ou aproximadamente 85.277 milhões de milhões de milhões de quilômetros. Entretanto, esta distância é uma fração mínima da extensão atribuída pela maioria dos cientistas a um universo finito; a mente e os sentidos evoluem e não podemos supor que as nossas atuais limitações conceituais e perceptivas sejam permanentes. Além disso, dispomos provavelmente de faculdades que a Ciência ainda terá que empregar, como a capacidade para viajar no tempo com o "corpo astral" (um corpo de matéria mais sutil que, segundo se diz, acompanha o corpo físico e se manifesta como uma aura ou névoa colorida). Se existem civilizações mais avançadas do que a nossa alhures no universo, talvez possamos nos

<sup>26</sup> Paul Dirac, "The Development of the Physicist's Conception of Nature", em *The Physicist's Conception of Nature*, org. por Jagdish Mehra (Dordrecht, Holanda: Reidel, 1974).

comunicar com elas telepaticamente ou de algum outro modo, e acabar criando uma ciência verdadeiramente cósmica.<sup>27</sup>

Em princípio, portanto, parece não haver limites ao progresso da Ciência. Mas existirão limites na prática? Chegará a Ciência a um fim, não porque tenha alcançado seu objetivo final, mas porque perdeu a vontade de o alcançar? Eugene Wigner sugere que a formulação de teorias cada vez mais profundas para explicar sucessivas camadas da natureza poderá, em última instância, ser demais para o intelecto e a motivação do homem.<sup>28</sup> (Analogamente, o biólogo inglês J.B.S. Haldane disse certa vez que o universo é não só muito mais “extravagante” do que sabemos mas muito mais extravagante do que *podemos* saber.) À medida que o pensamento se torna mais especializado e mais distante da experiência, diz Wigner, torna-se também mais difícil e atrai cada vez menos pessoas. Chegará um dia em que novos estudiosos em algum ramo da Ciência, como a Física, carecerão de interesse ou até de capacidade para pensar além do nível de abstração da teoria corrente.

A isto respondo que, em áreas culturalmente avançadas, as abstrações logo são assimiladas e, enquanto a Física interatua com a tecnologia, é improvável que se torne desinteressante ou inteiramente afastada da experiência. A mecânica newtoniana e a relatividade einsteiniana eram imensamente difíceis quando foram apresentadas pela primeira vez. Entretanto, um século depois, a teoria de Newton era de conhecimento comum dos cientistas com sólida formação matemática e em menos de metade desse tempo os princípios da relatividade estavam sendo ensinados a estudantes universitários. Parece altamente improvável que a natureza, que suscitou questões e estimulou respostas em algumas das mais poderosas mentes, desde a época dos pré-socráticos, deixe alguma vez de fazê-lo. Por outro lado, as questões podem tornar-se mais difíceis e, durante um certo período, pelo menos, o número de mentes em condições de respondê-las será menor do que durante os últimos 100 anos. Sendo assim, a Ciência poderá crescer mais lentamente.

<sup>27</sup> Sobre este tópico, ver *Communication with Extraterrestrial Intelligence*, org. por Carl Sagan (Cambridge: MIT Press, 1973). Ver também o mais recente livro de Sagan, *The Dragons of Eden: Speculations on the Evolution of Human Intelligence* (Nova York: Random House, 1977), no qual ele declara que os homens devem procurar entrar em contato com outros seres inteligentes e unir a história humana à do próprio cosmo.

<sup>28</sup> Eugene P. Wigner, *Symmetries and Reflections: Scientific Essays* (Bloomington: Indiana University Press, 1967), pp. 215-16. Wigner sugere, entretanto, que, mediante um *pool* de intelectos, a ciência de equipe tem possibilidades de realizar o que o cientista individual não pode. Ver também Alvin M. Weinberg, *Reflections on Big Science* (Cambridge: MIT Press, 1967), pp. 44-45.

Já estará, de fato, acontecendo isso à Ciência? Algumas pessoas acham que sim. Derek de Solla Price estudou a taxa de crescimento científico desde 1750, usando como indicadores a quantidade de cientistas, revistas e compêndios científicos.<sup>29</sup> Ele concluiu que até 1950 a Ciência como um todo e seus vários ramos cresceram exponencialmente, isto é, em proporção ao seu tamanho corrente. A taxa de crescimento exponencial pode ser utilmente descrita por referência ao tempo necessário para que a quantidade dobre. Segundo Price, a Ciência dobrou a cada 10-15 anos. As descobertas importantes, entretanto, em contraste com a informação em geral, dobraram a cada 30 anos. Isto porque o conhecimento científico, sendo cumulativo, cresce como uma pirâmide e deve duplicar três vezes em volume para cada duplicação de altura.

Mas, como sublinhou Price, a Ciência não pode expandir-se a esse ritmo indefinidamente, pois qualquer crescimento de informação científica depende de um aumento proporcional no número de cientistas e no montante de dinheiro gasto em Ciência, os quais são ambos limitados. Se a Ciência continuasse numa curva exponencial até meados do próximo século, “teríamos dois cientistas para cada homem, mulher, criança e cachorro na população, e gastaríamos com eles duas vezes mais”.<sup>30</sup> Portanto, a Ciência deve crescer mais lentamente. Em vez de uma elevação cada vez mais acentuada, a sua curva apresentará um achatamento, talvez com flutuações marcadas, tornando-se finalmente uma curva em forma de “S” (ou a chamada curva “logística”). Segundo Price, a curva começou a se atenuar por volta de 1950.

A tese de Price pode ser criticada em alguns detalhes. Ele derivou o período de duplicação da Ciência do número de resumos, ignorando os trabalhos publicados antes de serem iniciados os serviços de resumo. Se esses trabalhos forem levados em conta, o período de duplicação aproxima-se mais dos 28 anos.<sup>31</sup> Além disso, a Ciência pode perfeitamente renovar-se e crescer de novo, ultrapassando o ponto de saturação da curva logística.<sup>32</sup> Conforme o próprio Price mostrou, o número de universidades na Europa cresceu exponencialmente de 950 a 1460, depois logisticamente, e, mais tarde, com a adoção de uma nova forma de universidade por volta de 1610,

<sup>29</sup> Derek J. de Solla Price, *Little Science, Big Science* (Nova York: Columbia University Press, 1963) e *Science Since Babylon* (New Haven: Yale University Press, 1961), cap. 5.

<sup>30</sup> Price, *Little Science, Big Science*, p. 19.

<sup>31</sup> K.O. May, “Quantitative Growth of the Mathematical Literature”, *Science* 154 (dezembro de 1966): 1672.

<sup>32</sup> Steven Rose, “The S Curve Considered”, *Technology and Society* 4 (1967): 33-39.

voltou a crescer exponencialmente.<sup>33</sup> Por que não aconteceria o mesmo com a Ciência? Ademais, ao contrário do argumento de Price, a Ciência parece ter crescido mais rapidamente a partir de 1950. Se medirmos o crescimento pelo número de doutorados em Ciências concedidos por ano nos Estados Unidos, verificamos que a taxa de crescimento subiu de cerca de 3% em 1950 para quase 11% em 1969.<sup>34</sup> Finalmente, o conhecimento *básico* pode ter crescido muito mais lentamente do que acreditávamos. Entre 1855 e 1955, por exemplo, a taxa de descobrimento de leis consideradas suficientemente importantes para serem batizadas com o nome de seus descobridores (a prática da eponímia) permaneceu constante a uma média de duas por ano.<sup>35</sup>

Embora a escolha de períodos por Price possa estar errada, a sua tese geral — a de que a taxa de crescimento científico foi exponencial e pode decrescer em breve — é certamente válida. As ciências mais antigas, em especial, são suscetíveis de crescer mais lentamente, e seus praticantes podem ficar menos convencidos de que estão progredindo com firmeza para uma explicação de todos os fenômenos em seus domínios. A maior parte da Ciência foi realizada nos últimos 400 anos; neste sentido, a Ciência é muito mais jovem do que a Arte e a Filosofia. Os artistas e filósofos modernos herdaram as realizações de muitos séculos e culturas; eles têm uma multiplicidade de estilos e precedentes para avaliarem suas tentativas; possuem muitas metas em vez de um só objetivo a que estejam inevitavelmente vinculados. Pode-se argumentar que a física moderna, com sua gama de especialidades, seu grupo de ramos largamente elaborados (mecânica clássica, óptica, termodinâmica, eletromagnetismo) e suas discordâncias teóricas crescentes (em torno dos fundamentos da mecânica quântica ou das alternativas para a relatividade geral), pode estar se avizinando desse estado. O pluralismo da Física, que as outras ciências naturais parecem capazes de imitar, é mais provavelmente a condição de uma disciplina intelectual madura do que a de uma ciência gasta.<sup>36</sup>

<sup>33</sup> Price, *Science Since Babylon*, pp. 114-15.

<sup>34</sup> U.S. Bureau of the Census, *Statistical Abstracts of the United States, 1971* (Washington, D.C.: Government Printing Office, 1971). Citado por G. Nigel Gilbert e Steve Woolgar, "The Quantitative Study of Science: An Examination of the Literature", *Science Studies* 4 (julho de 1974): 282.

<sup>35</sup> Donald de B. Beaver, "Reflections on the Natural History of Eponymy and Scientific Law", *Social Studies of Science* 6 (fevereiro de 1976): 94.

<sup>36</sup> Ver Paul M. Quay, "Progress as a Demarcation Criterion for the Sciences", *Philosophy of Science* 41 (junho de 1974): 158-69.

## Resumo

Embora a Ciência substitua muitas de suas conclusões, a longo prazo aproxima-se cada vez mais da verdade da natureza. Esta concepção relativamente tradicional do caráter progressivo da Ciência foi sustentada por Popper. Mas foi criticada por Kuhn e Feyerabend, os quais mantêm que, como os termos científicos mudam de significado de uma teoria para a seguinte, as teorias não podem ser comparadas e, portanto, não se pode afirmar que uma teoria está mais próxima da verdade que outra. Esta crítica pode ser respondida se adotarmos o ponto de vista de que o significado de um termo é a sua referência conotativa (Hesse) ou uma função do uso do termo num determinado contexto (Sellars). Se as teorias podem ser comparadas em certos aspectos, então a verdadeira substância de uma antiga teoria pode expressar-se em enunciados análogos na teoria que a substituiu. Entretanto, como sublinhou Maxwell, a Ciência não avança exclusivamente aumentando o conteúdo empírico de suas teorias. A fim de explicar melhor a ordem da natureza, a qual, diz ele, é simples e bela, a Ciência deve propor teorias que sejam mais simples e belas.

Por quanto tempo a Ciência continuará se desenvolvendo? Como os níveis da natureza parecem infundáveis, é possível que não haja limites para o que a Ciência pode descobrir. Quando a Ciência tiver explicado o seu enésimo nível, talvez se tenha tornado tão abstrata que ninguém tenha o desejo ou mesmo a capacidade para continuar a explorá-la. Entretanto, como a História mostra, o que parece ser impossivelmente abstrato para uma geração freqüentemente o é muito menos para a geração seguinte. Parece claro, no entanto, que à medida que uma ciência sonda cada vez mais profundamente o universo, a tarefa de explicação tornar-se-á mais difícil. Assim, a Ciência poderá crescer mais lentamente, embora sem chegar a uma parada.

Portanto, a Ciência se desenvolve em direção à verdade mas pode fazê-lo menos rapidamente. Também se desenvolverá racionalmente? Vejamos.

### 3

## Das Conjeturas aos Paradigmas

### Racionalidade Científica

A Ciência evolui através de atos de homens e mulheres — atos tais como inventar hipóteses, realizar experimentos, ponderar provas e publicar resultados. A finalidade desses atos é produzir um conhecimento verificado — conhecimento que mereça aceitação pela comunidade científica. Para produzir tal conhecimento, a Ciência deve ser racional, pois, se as alegações do conhecimento não forem racionalmente baseadas, faltarão argumentos para que elas sejam preferidas às pretensões de gurus e adivinhos, e a investigação científica não terá qualquer significado. Portanto, se quisermos entender o empreendimento científico, devemos apurar não só como a Ciência evolui mas também até que ponto o faz racionalmente.

O que é ser racional? Os filósofos responderam a esta questão de muitas maneiras. Mas o âmago da racionalidade parece consistir em acreditar ou fazer coisas por boas razões. Na Ciência, um ato é racional em parte se o cientista tem boas razões para acreditar que ele possui maiores probabilidades de realizar uma meta da Ciência. Um tal ato constitui o melhor meio para um objetivo existente. Mas a racionalidade não está limitada aos meios. O ato só é plenamente racional se o cientista tiver boas razões para acreditar que, nas circunstâncias vigentes, o objetivo é o melhor que se pode desejar para a Ciência. Não obstante, ele pode estar equivocado ou alimentar um interesse pessoal. Portanto, a Ciência como um todo não pode ser racional a menos que seus objetivos, e também os seus meios, sejam continuamente avaliados por todos os cientistas. Pois a Ciência é um empreendimento coletivo, e sem um debate coletivo não há um modo de avaliar se as metas correntes são as melhores para a Ciência como um todo ou apenas para certos cientistas.

O fato de a racionalidade científica requerer o debate coletivo com vistas ao acordo coletivo também pode ser visto na atividade científica de resolução de problemas. A solução para um problema científico é um argumento lógico em que as conclusões são aduzidas de premissas, e se forne-

cem provas para mostrar que as conclusões são, de fato, verdadeiras. A solução é avaliada examinando-se se a conclusão está subentendida nas premissas e é sustentada pelas provas. Evidentemente, se uma solução é proposta como logicamente correta e fatualmente verdadeira, ela deve ser verificável por todos os cientistas qualificados, o que significa, pelo menos, por todos os cientistas que trabalham nesse campo. Isto não quer dizer que eles cheguem a um acordo imediatamente (isso pode levar uma década, uma geração ou mais), mas que a ciência não pode ser racional e, ao mesmo tempo, não procurar esse acordo.

Para ser racional, portanto, a Ciência deve procurar a concordância universal, pelo menos dentro da disciplina ou especialidade. Não obstante, a universalidade, neste sentido, é apenas a *forma* da racionalidade científica, não a substância, porquanto as pessoas podem ser coletivamente irracionais, e os cientistas podem pensar que estão agindo racionalmente quando não estão. Uma decisão unânime dos astrônomos para regressarem à astrologia não seria necessariamente racional. O acordo coletivo é uma condição necessária mas não suficiente para a racionalidade em Ciência.

Qual é, pois, a *substância* da racionalidade científica? A maioria dos filósofos da Ciência concorda em que a finalidade geral da Ciência é aumentar o nosso cabedal de conhecimentos empíricos, ou seja, propor teorias que prevejam com êxito mais fatos do que as suas predecessoras. Mas eles discordam acerca do modo como essa finalidade deve ser atingida. Alguns favorecem teorias que impliquem logicamente teorias precedentes. Outros afirmam que os cientistas deveriam inventar teorias audaciosas, especulativas, e testá-las implacavelmente. Outros sustentam que os cientistas devem elaborar as implicações de uma só teoria e desvendar todos os fatos que essa teoria pode prever. Ainda outros querem que haja competição entre programas de pesquisa, para se ver qual dos programas pode prever com êxito o maior número de fatos. Entretanto, há aqueles que conclamam os cientistas a propor e testar o maior número possível de teorias, especialmente aquelas que contradizem teorias estabelecidas. Finalmente, ainda outros filósofos, com quem concordo, negam que o crescimento empírico seja uma finalidade suficiente para a ciência. Eles sustentam que a Ciência deve buscar teorias que não só sejam mais bem sucedidas, do ponto de vista empírico, do que as suas predecessoras, mas também representem mais simples, coerente e esteticamente a ordem da natureza.

Antes de examinarmos estes pontos de vista, entretanto, cumpre enfatizar que os cientistas atuam em resposta não só a dados científicos comprovados mas também a fatos inteiramente fora da área da Ciência, tais como teorias filosóficas, doutrinas religiosas, opinião pública, decisões governamentais e disponibilidade de verbas para pesquisa. Estes fatores não promovem necessariamente uma conduta irracional. Newton, por exemplo, não foi irracional quando argumentou que o espaço é vazio para que



Deus possa preenchê-lo com a Sua presença, pois numa sociedade religiosa a finalidade da Ciência era provar a existência de Deus a partir de provas obtidas no estudo da natureza. Por outro lado, os cientistas podem ser irracionais mesmo quando atuam com base em considerações exclusivamente científicas. Os físicos britânicos que rejeitaram as idéias de Faraday sobre o campo eletromagnético tinham suas mentes fechadas por uma formação newtoniana. Em consequência da indiferença deles, Faraday sucumbiu e morreu prematuramente; e o progresso da Física sofreu um atraso de uma geração. Examinarei mais adiante a influência dos fatores sociais e culturais. Por agora, considerarei a natureza da mudança científica a partir de uma perspectiva no próprio âmbito do movimento científico.

### As Teorias de Hume sobre Indução

O atual debate sobre mudança científica iniciou-se como reação à filosofia do empirismo lógico. Examinemos, pois, o problema da indução que os empiristas lógicos procuraram resolver. Trata-se do problema de apurar que bases possuímos para se chegar a enunciados gerais partindo de casos particulares. As leis da Ciência têm a forma “Todos os ‘A’ são ‘B’”, por exemplo, “Todas as peças de cobre se dilatam quando aquecidas”. As leis são aceitas ou porque numerosos ‘A’ examinados foram ‘B’ e nenhum ‘A’ examinado deixou de ser ‘B’ ou porque as leis foram deduzidas de outras leis estabelecidas por esse método. Assim, a lei citada foi originalmente proposta e depois justificada, com base em que todas as peças de cobre que haviam sido aquecidas tinham apresentado, comprovadamente, uma dilatação. Dá-se o nome de “indução” à operação lógica de formular ou justificar um enunciado irrestritamente geral em decorrência da observação de numerosos casos particulares.

Mas, como David Hume demonstrou convincentemente, nenhum número de enunciados resultantes de observações acarretará jamais, de um ponto de vista estritamente lógico, um enunciado geral. O seu raciocínio foi simples mas devastador: Nunca é contraditório afirmar “Todos os ‘A’ observados são ‘B’, mas alguns ‘A’ não observados não são”. Com efeito, não podemos sequer deduzir que o próximo ‘A’ observado será um ‘B’, pois é sempre logicamente possível que não seja. Embora o Sol possa ter nascido todas as manhãs desde que o mundo é mundo, não tem que nascer amanhã. Tampouco se pode provar que a indução é idônea, argumentando que a maioria das induções passadas o foram, porquanto se pode responder sem contradição que a próxima indução talvez não o seja. Entretanto, todas as leis e teorias científicas aceitam como axiomático que o futuro se assemelhará ao passado, que o que foi observado ontem voltará a ser observado amanhã. Assim, a suposição de que a natureza é regular

pressupõe a validade da indução. Portanto, conclui Hume, uma vez que a indução pode não ser válida, a Ciência pode não ser válida. As suas leis e teorias não possuem uma garantia racional, já que podem sempre ser refutadas pelo próximo caso.

### Empirismo Lógico

Os empiristas lógicos, sucessores dos positivistas lógicos da década de 1920 responderam a Hume nos seguintes termos: talvez não possamos provar com absoluta certeza que uma lei ou teoria científica é verdadeira, mas podemos calcular a *probabilidade* de que seja. Fazemo-lo calculando a proporção entre (a) o número de previsões que podem ser derivadas da teoria e foram confirmadas, e (b) o número total de previsões que podem ser derivadas da teoria. Se esta proporção for bastante elevada, pode-se considerar que a teoria está bem confirmada. Alguns empiristas lógicos, como Rudolf Carnap, propuseram princípios lógicos para calcular tais proporções e o grau de probabilidade que elas conferem a uma teoria.<sup>1</sup> Para o empirismo lógico, portanto, a ciência indutiva é racional porque, pelo menos em princípio, pode indicar ao cientista até que ponto as suas teorias têm probabilidade de serem verdadeiras e, por conseguinte, em que medida podemos confiar nelas.

Entretanto, com a sucessiva aquisição de novos dados, poderá ser proposta uma nova teoria que concorde melhor com as provas existentes do que a teoria estabelecida. O que acontece então? Substituímos a antiga teoria pela nova ou retemos ambas?

Retemos ambas, dizem os empiristas lógicos. Em contraste com a maioria dos autores do século XIX, os quais sustentavam que a Ciência se modifica principalmente por adicionar novas leis e relatos de observações aos antigos, os empiristas lógicos partiram do princípio de que a Ciência se desenvolve — e o faz racionalmente — ao converter leis e teorias estabelecidas em consequências lógicas das novas teorias, mais abrangentes. A este processo dá-se o nome de “redução” e diz-se que a teoria antiga, ou “reduzida”, é um caso “especial” ou “confinante” da nova teoria. Nas palavras de Ernest Nagel:

O fenômeno de uma teoria relativamente autônoma ser absorvida ou reduzida por alguma teoria mais abrangente é uma característica inegável e recor-

<sup>1</sup> Rudolf Carnap, *Logical Foundations of Probability*, 2ª edição (Chicago: University of Chicago Press, 1962); Hans Reichenbach, *The Rise of Scientific Philosophy* (Berkeley e Los Angeles: University of California Press, 1956), cap. 16.

rente da história da ciência moderna. Há todas as razões para acreditar que tal redução continuará ocorrendo no futuro.<sup>2</sup>

Por exemplo, a teoria da mecânica e gravitação de Newton explicou várias leis existentes do movimento, como a lei de Galileu sobre a queda livre dos corpos perto da superfície da Terra, e as leis de Kepler quanto ao movimento planetário. Ao passo que essas leis descreviam os movimentos de corpos em regiões limitadas e até então consideradas distintas (espaço terrestre e espaço celeste), a teoria de Newton descreveu o movimento através do espaço. Mais recentemente, as leis do movimento e a lei da gravitação de Newton foram reduzidas às teorias especial e geral da relatividade de Einstein. Do mesmo modo, de acordo com o empirismo lógico, a termodinâmica foi reduzida à mecânica estatística e muitas leis químicas foram explicadas pela mecânica quântica. Hoje, fazem-se tentativas de redução da genética clássica à biologia molecular.

Na concepção dos empiristas lógicos, novas teorias científicas são geralmente propostas para explicar as antigas, isto é, para mostrar que estas últimas valem para uma faixa limitada de fenômenos e estão logicamente implícitas em teorias que são mais abrangentes. As chamadas teorias revolucionárias, como a relatividade e a mecânica quântica, não refutam nem substituem teorias estabelecidas; fixam simplesmente os seus limites. Por via de regra, dizem os empiristas lógicos, para que uma nova teoria seja aceitável deve incluir a teoria existente ou, pelo menos, ser compatível com ela. Mais especificamente, se  $T$  e  $T'$  são duas teorias —  $T'$  a teoria a ser explicada e  $T$  a teoria explicativa — então  $T'$  é explicada sendo deduzida de  $T$ , em conjunto com os enunciados de condições iniciais que especificam os fenômenos para os quais  $T'$  é verdadeira.<sup>3</sup>

### Crítica do Empirismo Lógico

A posição do empirismo lógico é passível de objeções sérias e, em resultado, perdeu boa parte do apoio que recebia dos filósofos da Ciência. Em primeiro lugar, os empiristas lógicos afirmam que a Ciência é racional na medida

<sup>2</sup> Ernest Nagel, *The Structure of Science*, pp. 336-37.

<sup>3</sup> Ver Carl G. Hempel, "Studies in the Logic of Explanation", em *Readings in the Philosophy of Science*, org. por Herbert Feigl e May Brodbeck (Nova York: Appleton-Century-Crofts, 1953), p. 321. Para uma exposição mais recente, ver Ernest Nagel, "Issues in the Logic of Reductive Explanation", em *Contemporary Philosophic Thought: Mind, Science and History*, org. por Howard E. Kiefer e Milton K. Munitz (Albany: State University of New York Press, 1970), p. 121. Trato mais detalhadamente do reducionismo no Cap. 6.

em que é indutiva; no entanto, quase todos eles tiveram que admitir que suas teorias de probabilidade e confirmação são geralmente inaplicáveis. Carnap, por exemplo, reconhece que a sua lógica indutiva não logra explicar qualquer episódio importante na história da Ciência e assinala que, por seus cálculos, não existe uma única teoria científica universal que esteja confirmada, por pouco que seja.<sup>4</sup> Mas se não podemos dizer até que ponto as nossas teorias são prováveis, tampouco podemos indicar as probabilidades de sua refutação pelo próximo caso. Assim, a argumentação dos empiristas lógicos contra Hume não se sustenta.

Como dissemos, os empiristas lógicos defendem a indução, mas, em virtude de mudanças no significado dos termos, uma teoria raramente pode ser reduzida a outra. Não nego que sentenças análogas a algumas das que figuravam numa teoria predecessora possam ser usualmente deduzidas das premissas de sua sucessora. Mas a teoria anterior não é logicamente deduzida nem o é em sua totalidade. Além disso, como sublinhou Feysabend, se quisermos que toda teoria subsequente inclua a sua predecessora como um caso especial, somos obrigados a rejeitar qualquer nova teoria que seja logicamente incompatível com a dominante. Até que ponto seria racional rejeitar a relatividade einsteiniana, que prevê com êxito os fatos newtonianos e muitos mais, simplesmente porque ela contradiz a teoria que foi aceita primeiro?

Os empiristas lógicos estavam mais interessados na estrutura do conhecimento científico do que no processo pelo qual esse conhecimento sofre mudanças. Prestaram pouca atenção aos processos pelos quais as teorias são ampliadas e criticadas — e nenhuma atenção ao processo de invenção. As teorias, sustentaram eles, são criadas por gênio, intuição ou acidente, não pelo pensamento racional. São conjecturas inspiradas que não podem ser feitas racionalmente, mas podem ser racionalmente testadas (ver o Capítulo 5). Mas eles afirmaram isso como um dogma, sem se preocuparem em verificá-lo. Em suma, o empirismo lógico oferecia-se ao ataque de qualquer filósofo interessado na mudança científica.

<sup>4</sup> Carnap, *Logical Foundations of Probability*, p. 243: "Por exemplo, não podemos esperar a aplicação da lógica indutiva à teoria geral da relatividade de Einstein, a fim de encontrar um valor numérico para o grau de confirmação dessa teoria... O mesmo acontece com as outras etapas na transformação revolucionária da física moderna... uma aplicação da lógica indutiva nesses casos está fora de questão." Ver também *ibid.*, p. 571.

### Karl Popper

O primeiro ataque ao empirismo lógico foi desencadeado por Karl Popper. Embora não tivesse sido membro formal do Círculo de Viena,\* Popper aderiu ao positivismo lógico propugnado por esse grupo e argumentou que a solução proposta pelo empirismo lógico para o problema da indução não é uma solução. Por muito provável que a teoria possa parecer, ela terá sempre a possibilidade de ser refutada pela prova que se apresentar a seguir. (Seja qual for a quantidade de 'A' que são comprovadamente 'B', não podemos estar certos de que alguns 'A' restantes sejam também 'B'.) Mas se não podemos verificar uma teoria, talvez possamos desmenti-la. Nenhuma quantidade de enunciados relatando a observação de 'A' que são 'B' envolverá logicamente a generalização "Todos os 'A' são 'B'". Mas um único enunciado relatando a observação de um 'A' que é 'C' será suficiente para se formular a afirmação "Nem todos os 'A' são 'B'". Segue-se que, *embora uma teoria nunca possa ser conclusivamente provada, ela pode ser conclusivamente desmentida*. Logo, a finalidade da Ciência como empreendimento racional é inventar teorias que sejam refutáveis e testá-las procurando um meio de as refutar.<sup>5</sup>

Para Popper, portanto, a Ciência avança propondo teorias audaciosas ("conjeturas"), desenvolvendo todos os esforços para refutá-las ("refutações") e só aceitando provisoriamente aquelas teorias que sobrevivem a esse processo. Em suas próprias palavras: "Não existe método mais racional do que o método de ensaio e erro — de conjetura e refutação; de proposição audaz de teorias; de esforços no sentido de demonstrar que elas são errôneas; e de sua aceitação, a título precário, se os nossos esforços críticos forem coroados de êxito".<sup>6</sup> Popper elogia as teorias audaciosas e refutáveis de Newton, Maxwell e Einstein, assim como os experimentos "cruciais"

\* O Círculo de Viena (*Wiener Kreis*), formado definitivamente por volta de 1920, era constituído por um grupo de filósofos — Hans Hahn, Moritz Schlick, Rudolf Carnap, Otto Neurath (a que se juntariam mais tarde Schrödinger, Menger, von Mises e outros) — dedicados ao estudo da Lógica da Ciência e que sustentaram como princípios básicos para a criação de uma Ciência unificada o empirismo lógico e o positivismo lógico. (N. do T.)

<sup>5</sup> As principais obras de Popper na área da filosofia da ciência são: *The Logic of Scientific Discovery* (publicado originalmente em 1936 como *Logik der Forschung*); *Conjectures and Refutations*; e *Objective Knowledge: An Evolutionary Approach* (Oxford: Clarendon, 1972). Sobre Popper, ver *The Philosophy of Karl Popper*, org. por Paul Arthur Schilpp, *The Library of Living Philosophers*, vol. 14 (La Salle, Ill.: Open Court, 1974). Trata-se de uma coletânea de ensaios de vários autores e inclui a autobiografia intelectual de Popper.

<sup>6</sup> Popper, *Conjectures and Refutations*, p. 51.

realizados por Michelson e Morley para testar a hipótese do éter, e por Eddington para verificar a teoria geral da relatividade — cruciais porque confirmaram uma hipótese e rejeitaram outras. Ele concluiu que, toda vez que a Ciência protege as suas teorias, ela cai na estagnação.

Vejamos mais de perto a tríade de Popper — conjeturas, refutações e aceitações probatórias. Quanto mais uma teoria se propõe explicar, diz Popper, mais vulnerável fica à refutação, dado que gera mais previsões que podem vir a ser refutadas. Neste sentido, as teorias altamente refutáveis são "altamente improváveis" antes de serem testadas. Quando as teorias competem, a menos provável é a que se deve testar primeiro, pois se sobreviver poderemos ter nela mais confiança do que poderíamos ter tido nas outras. Como a finalidade da Ciência é a refutação, não a confirmação, haverá tudo a ganhar se expusermos os pontos fracos de uma teoria, em lugar de escondê-los. O cientista deve declarar de antemão quais são aqueles testes que ele encara como refutações potenciais de sua teoria. Em especial, deverá formular "previsões arriscadas", afirmando a existência de estados de coisas não deduzíveis de conhecimentos prévios e, se possível, excluídos por estes, estados de coisas que somente a própria teoria nos leva a esperar. Disse Popper: As confirmações só devem ser levadas em conta no caso de serem o resultado de *previsões arriscadas*; quer dizer, se, sem elucidação pela teoria em questão, tivermos que esperar um evento que seja incompatível com a teoria — um evento que venha a refutar a teoria".<sup>7</sup>

Segundo Popper, uma teoria normalmente é refutada quando uma previsão dela derivada não está de acordo com um evento observado naquilo que tanto os adeptos como os críticos concordam ser um teste sério.<sup>8</sup> Uma teoria que não pode ser refutada — e, para Popper, os principais exemplos são o marxismo e a psicanálise — não é científica mas dogmática ou metafísica. "A irrefutabilidade não é uma virtude para uma teoria (como as pessoas freqüentemente pensam), mas um vício".<sup>9</sup> Uma teoria refutada é um triunfo, não só porque a teoria pode possuir beleza intelectual, mas também porque leva à descoberta do fato que a refuta e, por conseguinte, estimula pesquisas para explicá-la.

<sup>7</sup> *Ibid.*, p. 36.

<sup>8</sup> Popper sustenta que uma teoria refutada pode ser retida até que se encontre uma alternativa melhor. Numa passagem, ele diz que "se os enunciados básicos aceitos [isto é, testados] contradizem uma teoria, então aceitamo-los como tendo fornecido bases suficientes para a sua refutação *somente no caso de corroborarem, ao mesmo tempo, uma hipótese refutadora*" (*Logic of Scientific Discovery*, p. 87; o grifo é nosso). Entretanto, a sua posição geral é que uma teoria pode ser desmentida na ausência de uma alternativa e que, logo que é desmentida, deve ser procurada uma alternativa.

<sup>9</sup> Popper, *Conjectures and Refutations*, pp. 36-37.

Mas não basta refutar teorias. Pelo menos algumas teorias devem resistir à refutação e, portanto, ser “corroboradas”. Somente a corroboração nos diz qual de nossas teorias descreve o mundo real e fornece orientações fecundas para novas pesquisas. Uma enxurrada de teorias agilmente refutadas conduziria a pesquisa para um beco sem saída, pois deixaria os cientistas no escuro acerca da relação de suas teorias com o mundo e sobre que hipóteses valeria a pena provar.

Para Popper, finalmente, toda boa Ciência é revolucionária. A Ciência se desenvolve através da contínua derrubada de teorias, refutando fatos, e através da sua substituição por teorias que explicam mais fatos. Em suas próprias palavras:

As teorias de Kepler e Galileu foram unificadas e suplantadas pela teoria logicamente mais forte e mais bem testável de Newton; e, analogamente, as de Fresnel e Faraday pela de Maxwell. A teoria de Newton e a de Maxwell, por sua vez, foram unificadas e suplantadas pela de Einstein. Em cada um desses casos, o progresso foi no sentido de uma teoria mais informativa e, portanto, logicamente menos provável; no sentido de uma teoria que era mais severamente testável porque formulou previsões que, num sentido puramente lógico, eram mais facilmente refutáveis.<sup>10</sup>

### Crítica de Popper

A essência da filosofia de Popper é a idéia libertadora de que a Ciência se desenvolve através de teorias ousadas e refutáveis — uma idéia que o biólogo Peter Medawar e o neurologista David Eccles declaram ter inspirado suas próprias pesquisas. Não obstante, a idéia é só parcialmente verdadeira e, em outros aspectos, a teoria da Ciência de Popper apresenta sérias falhas.

Embora Popper afirme ter livrado a Ciência da indução, ele reapresentou a noção em sua descrição do conceito de corroboração e nos enunciados de testes. Dizer que podemos ter mais confiança numa teoria que suportou os nossos esforços obstinados para refutá-la é, com efeito, o mesmo que afirmar que podemos estar mais confiantes agora porque a nossa confiança prévia estava justificada. Mas isto é raciocínio indutivo. Por outro lado, verificamos um enunciado de teste repetindo a observação que ele registra. Mas aceitar o primeiro teste com base no segundo é aceitá-lo indutivamente.<sup>11</sup> Assim, Popper confia na indução, em última análise.

<sup>10</sup> *Ibid.*, p. 220.

<sup>11</sup> Ver Errol E. Harris, *Hypothesis and Perception: The Roots of Scientific Method* (Nova York: Humanities Press, 1970), pp. 75-76.

Popper sustenta que toda boa Ciência é revolucionária. Mas, como Kuhn e outros sublinharam, a Ciência também se desenvolve ampliando sistematicamente uma importante teoria através da solução dos problemas que suscita. Em lugar de procurarem refutações, os cientistas desvendam mais fatos mediante a aplicação da teoria às muitas espécies diferentes de situações que ela promete explicar. Popper ignora esta parte da Ciência.

Além disso, se os cientistas tivessem seguido Popper ao pé da letra, a Ciência teria perdido uma parcela de suas teorias mais vitoriosas. De fato, refutações evidentes são e foram freqüentemente ignoradas na esperança de que se prove sua inexatidão.<sup>12</sup> Galileu, por exemplo, promoveu a teoria copernicana em face do que na época parecia serem provas esmagadoramente contrárias. A teoria de Newton foi retida em face de fatos tão anômalos quanto a precessão de Mercúrio (nota 15). A teoria especial da relatividade foi sustentada em face das provas contrárias de D.C. Miller, que repetiu o experimento de Michelson-Morley.

Em minha opinião, o “refutacionismo” é não só historicamente falso como também não-racional. Os contra-exemplos desafiam com freqüência os cientistas a desenvolverem uma teoria ao máximo de sua capacidade. Uma nova e promissora teoria não deve ser rejeitada assim que se apresenta a sua primeira refutação séria. A teoria pode ter sido refutada simplesmente porque foi aplicada incorretamente. Em todo o caso, como assinala Lakatos, todas as novas teorias “nascem refutadas”. Uma razão disso, como indica Feyerabend, é que as provas existentes foram reunidas por cientistas guiados por teorias que apóiam a teoria contestada e, por conseguinte, assentam em pressupostos antagônicos aos da nova teoria. Para que a nova teoria receba um acolhimento justo, deve-se permitir que demonstre quantos fatos *novos* ela pode predizer corretamente.

Em suma, a teoria de Popper é uma brilhante conjetura unilateral que foi parcialmente refutada, mas, do modo que ele mesmo prescreveu, estimulou a proposta de outras teorias dotadas de mais conteúdo empírico. A primeira dessas teorias foi apresentada por Thomas S. Kuhn.

### Thomas S. Kuhn

Enquanto que Popper atribui o desenvolvimento da Ciência à atividade imaginativa e crítica do cientista guiado pelo ideal da refutação, Kuhn sustenta que a Ciência progride quando os cientistas são treinados numa tradição intelectual comum e usam essa tradição para resolver os proble-

<sup>12</sup> Ver Imre Lakatos, “Popper on Demarcation and Induction”, em *Philosophy of Karl Popper*, org. por Schilpp, p. 247.

mas que ela suscita. Kuhn vê a história de uma ciência “madura” como sendo, essencialmente, uma sucessão de tradições, cada uma das quais com sua própria teoria e seus próprios métodos de pesquisa, cada uma guiando uma comunidade de cientistas durante um certo período de tempo e sendo finalmente abandonada.<sup>13</sup>

Kuhn começou por chamar às idéias de uma tradição científica um “paradigma”, mas agora designa-as por “matriz disciplinar”. Ele nunca define claramente um paradigma, embora possamos considerá-lo uma visão do mundo expressa numa teoria.<sup>14</sup> A teoria propõe-se explicar o comportamento das entidades básicas em algum setor do mundo. O paradigma, como um todo, determina que problemas são investigados, que dados são considerados pertinentes, que técnicas de investigação são usadas e que tipos de solução se admitem. Por exemplo, sob o paradigma newtoniano, as soluções são obtidas em termos de forças e de movimentos de partículas.

A matriz disciplinar de Kuhn é concebida com maior precisão. Consiste em quatro elementos: generalizações simbólicas, pressupostos metafísicos, valores e soluções de problemas concretos (“exemplares”). As generalizações simbólicas são menos leis do que “esboços de leis”; produzem diferentes leis, específicas, quando aplicadas a diferentes situações. A lei  $F = ma$ , por exemplo, aplica-se a muitas situações e é encontrada em muitos tipos de equações. Os físicos estudam essa fórmula e aprendem a abordar problemas mecânicos em termos de forças, massas e acelerações. As generalizações simbólicas são interpretadas com a ajuda de pressupostos metafísicos — pressupostos que não podem ser testados empiricamente na época — tal como o pressuposto (do século XIX) da existência de átomos e campos de força. Os valores são as qualidades apreciadas numa teoria, como a sua consistência interna, poder de previsão e fecundidade na sugestão de problemas. Os exemplares são modelos de solução de problemas que servem como guias para se resolverem problemas reais. Por exemplo, Galileu calculou o movimento de uma bola rolando num plano inclinado considerando-o análogo ao movimento de um pêndulo, na medida em que (na ausência de fricção) a bola adquire suficiente velocidade para retornar à

<sup>13</sup> Os mais importantes escritos de Kuhn são *The Structure of Scientific Revolutions*; “Second Thoughts on Paradigms”, em *The Structure of Scientific Theories*, org. por Frederick Suppe, pp. 459-82; “Logic of Discovery or Psychology of Research?”, e “Reflections on My Critics”, em *Criticism and the Growth of Knowledge*, org. por Imre Lakatos e Alan Musgrave, pp. 1-23 e 231-78.

<sup>14</sup> Margaret Masterman assinala 21 sentidos diferentes em que Kuhn emprega o termo “paradigma” na edição original de *Structure of Scientific Revolutions*. Dessa autora, ver o ensaio “The Nature of a Paradigm” em *Criticism and the Growth of Knowledge*, org. por Lakatos e Musgrave, pp. 59-89.

mesma altura em qualquer segundo plano inclinado. Essa solução foi usada como modelo por cientistas subseqüentes, em seus trabalhos sobre mecânica. Com a ajuda de exemplares, generalizações simbólicas tais como  $F = ma$  são aplicadas a tipos particulares de situações, como a queda livre de corpos, pêndulos e molas.

Kuhn divide a história da Ciência madura, ou guiada por paradigmas, em fases “normais” e “revolucionárias” alternativas. Durante a ciência normal, os pesquisadores desenvolvem as implicações de um paradigma ou matriz disciplinar o mais completamente possível. Não criticam o paradigma nem buscam alternativas para ele. O paradigma fornece problemas e garante aos cientistas que cada problema é solúvel. Um problema não solucionado reflete-se mais no cientista do que no paradigma. Durante todo o século XIX, por exemplo, a precessão de Mercúrio foi considerada um desafio aos cientistas, mais do que um desmentido do paradigma newtoniano.<sup>15</sup>

Revoluções como as de Copérnico, Newton, Darwin e Einstein não são freqüentes, diz Kuhn, e são deflagradas por crises. Uma crise ocorre quando os cientistas são incapazes de resolver muitos problemas de longa data com que o paradigma se defronta. O acúmulo de anomalias é então considerado um “escândalo” e os cientistas começam a testar o paradigma e procurar alternativas baseadas em diferentes pressupostos metafísicos. Finalmente, uma alternativa ganha o apoio da maioria dos cientistas nesse campo e é aceita como o novo paradigma. Os conhecimentos anteriores são repensados ou descartados; compêndios são reescritos; os cursos alterados; e os cientistas encaram o mundo de modo diferente.<sup>16</sup> Kuhn cita a crise na física quântica depois do colapso da “antiga teoria quântica” de Bohr em 1922, quando proliferaram teorias rivais, notadamente as de Broglie, Bohr-Kramers-Slater, Schrödinger e Heisenberg. A crise foi resolvida em 1926

<sup>15</sup> Kuhn, “Postscript-1969”, *Structure of Scientific Revolutions*, p. 190. Em meados do século XIX, os astrônomos tinham observado que o periélio (o ponto mais próximo do Sol) da órbita do planeta Mercúrio avança mais 43 segundos de arco por século do que pode ser explicado pelos efeitos perturbadores de outros planetas. A teoria geral da relatividade de Einstein previu exatamente esse desvio e explicou que é uma decorrência do fato de que, sendo o planeta mais próximo do Sol, Mercúrio gravita à sua volta mais rapidamente que os outros, sob a maior influência do seu campo gravitacional.

<sup>16</sup> Kuhn, *Structure of Scientific Revolutions*, pp. 111, 121: “As mudanças de paradigma fazem com que os cientistas vejam de um modo diferente seu compromisso de pesquisa... Embora o mundo não mude com uma mudança de paradigma, o cientista passa daí em diante a trabalhar num mundo diferente.”

quando Max Born provou que as teorias de Schrödinger e Heisenberg eram matematicamente equivalentes.<sup>17</sup>

Kuhn defende a racionalidade da ciência normal em duas bases. Em primeiro lugar, é um modo altamente eficiente de solucionar problemas e ampliar uma teoria importante.<sup>18</sup> O paradigma impede que os cientistas fiquem discutindo interminavelmente em torno de pressupostos fundamentais, enfrentando problemas improdutivos ou insolúveis, e polemizando com dissidentes e excêntricos. As ciências "imaturas", como lhes chama Kuhn (por exemplo, a Psicologia e a Sociologia), progredem pouco porque carecem de paradigmas: estão divididas em escolas que se guerreiam mutuamente, cujos membros não aceitam o trabalho das escolas rivais como base sobre a qual a Ciência como um todo pode progredir.

Em segundo lugar, todo paradigma prepara o caminho para o seu sucessor. Como qualquer teoria é uma abstração da realidade, nenhuma teoria pode alimentar a esperança de explicar todos os fenômenos em seu domínio. Mais cedo ou mais tarde, toda teoria encontra fatos anômalos. A pesquisa realizada à sombra de um paradigma assegura que o maior número possível desses fatos será encontrado o mais depressa possível. Quando um paradigma é amplamente elaborado e se defronta com as anomalias que assinalam os seus limites, os cientistas tratam de procurar-lhe um sucessor.

A ciência revolucionária é racional? Só até certo ponto, diz Kuhn, porque a nova teoria e a antiga são incomensuráveis em dois aspectos. Em primeiro lugar, como já mencionei, usam alguns dos mesmos termos em sentidos diferentes. Em segundo lugar, os adeptos das duas teorias, olhando o mundo através de diferentes exemplares, observarão fatos diversos. Onde os aristotélicos viram um corpo pesado impedido de cair, Galileu viu um pêndulo. Onde Priestley tinha visto ar deflogisticado e outros não viam nada, Lavoisier viu oxigênio.<sup>19</sup>

Não obstante, entre os dois grupos existe sempre "comunicação parcial". Cada grupo pode traduzir os termos problemáticos do outro para o vocabulário cotidiano de ambos os grupos.<sup>20</sup> Além disso, existem padrões de comparação de teorias que transcendem os paradigmas. Esses

<sup>17</sup> Kuhn, "Reflections on My Critics", pp. 257-58.

<sup>18</sup> Kuhn, *Structure of Scientific Revolutions*, p. 166: "Em seu estado normal... uma comunidade científica é um instrumento imensamente eficiente para resolver os problemas ou enigmas que os seus paradigmas definem."

<sup>19</sup> Kuhn, *ibid.*, pp. 118-25, 200.

<sup>20</sup> *Ibid.*, p. 202: "Quer dizer, cada um pode tentar descobrir o que o outro veria e diria quando frente a um estímulo para o qual a sua própria resposta verbal seria diferente."

padrões incluem a capacidade de solução de problemas, o poder explanatório, o poder de predição, a simplicidade, a coerência interna e a compatibilidade com teorias aceitas.<sup>21</sup> Entretanto, eles operam como valores, sendo diferentemente apreciados por diferentes cientistas. Assim, enquanto um cientista pode admirar a teoria predominante por sua simplicidade, um outro poderá apoiar uma teoria rival por causa de seu poder preditivo. Portanto, os cientistas podem concordar em que certas qualidades são valiosas nas teorias, mas discordar sobre o valor desta ou daquela teoria.

Como os padrões de apreciação de uma teoria são valores que podem ser aplicados de vários modos, os cientistas não podem provar logicamente que uma teoria é melhor do que outra. Eles devem, pelo contrário, "persuadir-se" racionalmente uns aos outros. Kuhn distingue entre persuasão e conversão. Um cientista é persuadido por uma nova teoria quando julga intelectualmente que ela é superior à teoria estabelecida, embora possa não simpatizar emocionalmente com ela; e é convertido à teoria quando se sente à vontade para lidar com ela e passa a ver o mundo em função dessa teoria. Um cientista pode ser persuadido por uma teoria mas não se converter. Foi esta a experiência de muitos cientistas ao debruçarem-se pela primeira vez sobre a teoria da relatividade e a mecânica quântica na meia idade.<sup>22</sup> Não obstante, os primeiros adeptos de uma nova teoria firmam um compromisso, por via de regra, em virtude de um pressentimento de que a teoria contém promessas que eles não são capazes de exprimir inteiramente. Nas palavras de Kuhn:

Algo deve fazer pelo menos alguns cientistas sentirem que a nova proposta está no caminho certo e, por vezes, é apenas uma consideração de natureza pessoal e inexprimível que pode fazer isso. Os homens têm sido convertidos por tais considerações em épocas em que a maioria dos argumentos técnicos mais convincentes apontavam para outro caminho... Se um paradigma quiser triunfar, deverá ganhar alguns primeiros adeptos, homens que o desenvolverão ao ponto em que discussões obstinadas podem ser produzidas e multiplicadas.<sup>23</sup>

### Crítica de Kuhn

A descrição de Kuhn da mudança científica é abrangente e ilustrada com riqueza de exemplos históricos. Até agora, ele foi o único filósofo que rela-

<sup>21</sup> *Ibid.*, pp. 155, 185, 199.

<sup>22</sup> *Ibid.*, p. 204.

<sup>23</sup> *Ibid.*, p. 159. Considero esta tese persuasiva. Em minha opinião, as intuições são atos cujo conteúdo está tão condensado que a sua estrutura racional se encontra fre-

cionou o impulso intelectual da Ciência com a comunidade científica, e foi o primeiro a enfatizar a persistência das tradições de pesquisa, mesmo em face de sérias anomalias. Não obstante, a sua obra tem certas deficiências que devemos examinar agora.<sup>24</sup>

Como Kuhn não especifica os seus constituintes (teoria, técnicas, padrões etc.), a idéia de um paradigma é de escasso uso como ferramenta de pesquisa. O conceito de uma matriz disciplinar é mais preciso, mas carece do fértil componente unificador de uma visão do mundo. A matriz disciplinar é um conjunto de partes separadas que parecem insuficientes para inspirar uma tradição de pesquisa durante um período substancial de tempo.

Kuhn propõe a Ciência normal, gerando revoluções intermitentes, como o único modo de crescimento para uma Ciência madura. Entretanto, a Ciência também se desenvolve de outras maneiras. Por vezes, uma nova e importante teoria é proposta, não em resposta a um acúmulo de anomalias, mas para resolver um conflito que surgiu entre duas teorias existentes. Einstein apresentou a sua teoria especial da relatividade para reconciliar a mecânica newtoniana com a eletrodinâmica de Maxwell, e a sua teoria geral da relatividade para unir a teoria especial com a teoria da gravitação de Newton. Não raras vezes, uma nova teoria é proposta para explicar uma nova área de ignorância, como depois da descoberta das pulsares em 1967.<sup>25</sup> Por vezes, uma teoria pode ser inventada por um grupo de cientistas que ingressam numa disciplina estabelecida vindos de uma outra área, como o grupo fago, fundador da biologia molecular, que se transferiu da Física para a Biologia em fins da década de 1930 e começos da década de 1940. Uma tradição de pesquisa também pode alterar seus próprios pressupostos, como fez a genética mendeliana neste século.<sup>26</sup> Uma tradição pode ainda ser lançada num estado de quase-crise por uma contro-  
vêrsia puramente teórica. Tanto a relatividade geral como a mecânica

qüentemente escondida. Em lugar de rejeitar esses atos como sendo meramente subjetivos, deveríamos procurar reconstruir sua racionalidade subjacente. (Ver o Cap. 5.)

<sup>24</sup> Algumas das melhores críticas a Kuhn encontram-se em *Criticism and the Growth of Knowledge*, org. por Lakatos e Musgrave; e em Dudley Shapere, "The Structure of Scientific Revolutions", *Philosophical Review* 73 (1964): 383-94, e "The Paradigm Concept", *Science* 172 (14 de maio de 1971): 706-10.

<sup>25</sup> As pulsares emitem radiação em breves pulsações de centésimos de segundo, a intervalos de pouco menos de um segundo. Pensa-se que sejam estrelas de nêutrons que giram rapidamente, estrelas desintegradas com um diâmetro de cerca de 48km e uma densidade aproximadamente 1.000 vezes superior à do Sol. Elas pulsam com surpreendente regularidade e, se fossem usadas como relógios, seriam de uma precisão extraordinária, com variações de fração de segundo por ano.

<sup>26</sup> Ver também Larry Laudan, *Progress and Its Problems*, pp. 75, 97-98.

quântica estão sendo atualmente atacadas por razões teóricas, não porque tenham acumulado anomalias. Além disso, Kuhn não explica por que razão as anomalias, que sempre estão presentes, ora precipitam a busca de uma nova teoria, ora não.

Acontece ainda que as críticas a uma teoria vigente, a elaboração de teorias alternativas e o debate sobre pontos fundamentais parecem ocorrer em todos os períodos, só se intensificando naqueles a que Kuhn chama revolucionários. Durante o século XIX, por exemplo, a tradição newtoniana influenciou o pensamento na maioria dos ramos da Física, mas não o dominou. No estudo do eletromagnetismo duas tradições competiram – a tradição eurocontinental de ação à distância, proveniente de Ampère e Coulomb, e a tradição britânica do campo, iniciada por Faraday. Diferentes cientistas, trabalhando nessas tradições, apoiaram-se em diferentes pressupostos newtonianos. Ambas as tradições eram compatíveis, de várias maneiras, com a newtoniana, mas nem uma nem outra foi dirigida por ela. Atente-se para a ciência hodierna. A física da partícula está dividida entre a teoria da matriz S e a teoria quântica do campo. A relatividade geral vem sendo atacada há meio século por críticos como E.A. Milne, Henri Poincaré, Alfred North Whitehead, Fred Hoyle e Robert Dicke. Hoje, ela está competindo com uma legião de teorias.<sup>27</sup> Na mecânica quântica, a interpretação de Bohr-Heisenberg-Dirac da teoria dos *quanta* foi criticada por uma série de cientistas como Einstein, Schrödinger, de Broglie, David Bohm e Alfred Landé. Na Biologia, a teoria sintética da evolução enfrenta a concorrência da teoria "neutralista".<sup>28</sup> Em suma, na maioria dos ramos da Ciência existe frequentemente uma teoria preponderante, ou particularmente competente, mas raras vezes sem alternativas. Certamente existe algo que corresponde à ciência normal de Kuhn, mas é um estado de coisas muito mais fluido do que Kuhn gostaria que acreditássemos.

A ciência normal estrita não é geralmente muito racional, pois nela uma única teoria é ampliada mas não criticada. Isto limita a amplitude da pesquisa, uma vez que não são consideradas teorias alternativas, e a taxa de crescimento, dado que uma teoria kuhniana só estimula a busca de uma sucessora depois que tiver acumulado anomalias. Não nego que, em certas ocasiões, se justifica a concentração de recursos numa única teoria. Se a

<sup>27</sup> Clifford M. Will, "Gravitation Theory", *Scientific American* 231 (novembro de 1974): 25-33.

<sup>28</sup> De acordo com a teoria neutralista (proposta, por exemplo, por J. Crow, dos Estados Unidos, e M. Kimura, do Japão), muitas mutações que ocorrem no DNA são neutras em vez de adaptativas ou maladaptativas. Tais mutações espalham-se pela população num processo denominado "deriva genética" (*genetic drift*) e são responsáveis por muitos traços.

teoria dominante de uma ciência ou especialidade está deixando para trás todas as suas concorrentes, e predizendo novos fatos constantemente e com êxito, faz sentido apoiar essa teoria com homens e dinheiro até que ela comece a mostrar um rendimento em declínio, momento este em que alguns recursos poderão ser desviados para alternativas promissoras.

Passemos agora à escolha de teoria. Kuhn foi acusado de ter declarado que uma nova teoria triunfa sobre uma antiga em parte através da propaganda (a qual estimula os cientistas a darem um “salto de fé”) e, em parte, ultrapassando a velha guarda dos cientistas.<sup>29</sup> Na realidade, porém, ele sustentou que as teorias são comparadas por referência a padrões comuns, mas argumentou que esses padrões são racionalmente persuasivos sem serem logicamente convincentes. Os seus críticos erraram ao equiparar ausência de compulsão lógica e ausência de razão, pura e simples. Entretanto, os padrões de Kuhn são demasiado gerais para oferecerem uma orientação explícita aos cientistas, diante de teorias acentuadamente contrastantes. Critérios tais como a capacidade de resolução de problemas e a simplicidade podem ser avaliados e interpretados de um modo muito diferente por diferentes cientistas. Isto faz da escolha de teoria kuhniana um caso mais pessoal do que Kuhn, ao que parece, se apercebe. O que é mais importante, os padrões são mais formais do que substantivos; Kuhn não oferece padrões para avaliação do conteúdo de teorias. Por conseguinte, os cientistas não dispõem de critérios explícitos para decidir que teoria conduz uma ciência na direção que ela deve tomar. Tal decisão só pode ser tomada por referência às metas intermédias ou a longo prazo da ciência. Voltarei a este importante ponto no próximo capítulo.

## Resumo

Como a Ciência busca o conhecimento verificado, ela deve ser racional. Como a Ciência é coletiva, ela não pode ser racional, a menos que busque a concordância coletiva. Mas tal concordância não basta para que haja racionalidade, pois os homens também podem ser coletivamente irracionais.

<sup>29</sup> Ver as críticas feitas por Popper, Watkins e Lakatos em *Criticism and the Growth of Knowledge*, org. por Lakatos e Musgrave; ver também Imre Lakatos, “History of Science and its Rational Reconstruction”, em *PSA 1970: In Honor of Rudolf Carnap*, Boston Studies in the Philosophy of Science, vol. 8, org. por Roger C. Buck e Robert S. Cohen (Dordrecht, Holanda: Reidel, 1971); e Israel Scheffler, *Science and Subjectivity* (Indianapolis: Bobbs-Merrill, 1965), p. 18. Kuhn responde a essas e outras críticas no “Postscript” de seu *Structure of Scientific Revolutions* e nas outras obras que citei.

Muitos filósofos sustentam que, para ser racional, a Ciência deve ter em mira o crescimento empírico, mas discordam quanto ao modo como tal crescimento deve ser conseguido.

De acordo com os empiristas lógicos, a Ciência se desenvolve cumulativamente, sem deposições. Os cientistas generalizam leis a partir de afirmações fatuais, explicam as leis por meio de teorias e incorporam teorias anteriores às mais recentes, das quais as anteriores passam a ser casos especiais.

Popper responde que o desenvolvimento científico é sempre revolucionário. A Ciência progride racionalmente, apresentando teorias ousadas e conjecturais, e depois testando-as o mais rigorosamente possível, retendo somente aquelas que sobrevivem a esse processo e considerando-as não como mais prováveis mas como ainda não refutadas.

Kuhn critica Popper por não reconhecer que muitas atividades científicas importantes nada têm de revolucionário. A Ciência, diz ele, se desenvolve racionalmente através de sucessivos períodos de ciência normal — quando uma teoria fundamental é ampliada — interrompidos por revoluções, quando essa teoria é então substituída por outra inteiramente diferente, que traz novos problemas a serem investigados pela pesquisa. Os cientistas escolhem entre teorias principalmente de acordo com padrões que sobrevivem às resoluções mas que diferentes cientistas avaliam de forma diversa, de modo que a escolha é feita, em última instância, por boas mas diferentes razões.

Eu critiquei estes pensadores mas adiarei a minha apreciação final até à conclusão do próximo capítulo. Entrementes, examinemos as reações de filósofos ao choque entre os esquemas kuhniano e popperiano.