

CURSO MODERNO DE FILOSOFIA

CARL G. HEMPEL

*da Universidade de Princeton*

# FILOSOFIA DA CIÊNCIA NATURAL

*Tradução de*

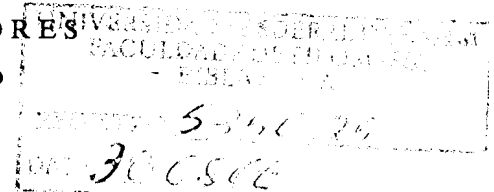
PLINIO SUSSEKIND ROCHA

*da Universidade Federal da Guanabara*

*Segunda edição*

ZAHAR EDITORES

RIO DE JANEIRO



Título original:

*Philosophy of Natural Science*

Traduzido da primeira edição, publicada em 1966 pela PRENTICE-HALL, INC., de Englewood Cliffs, New Jersey, Estados Unidos da América, na série FOUNDATIONS OF PHILOSOPHY, dirigida por ELIZABETH e MONROE BEARDSLEY.

Copyright © 1966 by Prentice-Hall, Inc.

capa de  
ÉRICO

1974

Direitos para a língua portuguesa adquiridos por

ZAHAR EDITORES

Rua México, 31 — Rio de Janeiro

que se reservam a propriedade desta tradução

Impresso no Brasil

## ÍNDICE

<i>Prefácio</i> .....	9
1. <i>Alcance e Objetivo deste Livro</i> .....	11
2. <i>Investigação Científica: Invenção e Verificação</i> ..	13
Um Caso Histórico como Exemplo, 13. As Etapas Fundamentais para Verificar uma Hipótese, 16. O Papel da Indução na Investigação Científica, 21.	
3. <i>A Verificação de uma Hipótese: Sua Lógica e Sua Força</i> .....	32
Verificações Experimentais vs. Não-Experimentais, 32. O Papel das Hipóteses Auxiliares, 36. Verificações Cruciais, 40. Hipóteses <i>ad hoc</i> , 43. Verificabilidade em Princípio e Significação Empírica, 45.	
4. <i>Critérios de Confirmação e Aceitabilidade</i> .....	48
Quantidade, Variedade e Precisão da Evidência Sustentadora, 48. Confirmação por "Novas" Implicações, 52. O Apoio Teórico, 54. Simplicidade, 57. A Probabilidade das Hipóteses, 63.	
5. <i>As Leis e seu Papel na Explicação Científica</i> ...	65
Duas Exigências Básicas para as Explicações Científicas, 65. A Explicação Dedutivo-Nomológica, 68. Leis Universais e Generalizações Acidentais, 73. As Explicações Probabilísticas: Seus Fundamentos, 78. Probabilidades Estatísticas e Leis Probabilísticas, 79. O Caráter Indutivo da Explicação Probabilística, 89. ✕	
6. <i>As Teorias e a Explicação Teórica</i> .....	92
As Características Gerais das Teorias, 92. Os Princípios Internos e os Princípios de Transposição, 95. Compreensão Teórica, 98. O "Status" das Entidades Teóricas, 100. Explicação e "Redução ao Familiar", 106.	

6	FILOSOFIA DA CIÊNCIA NATURAL	
7.	<i>Formação de Conceitos</i> .....	109
	Definição, 109. Definições Operacionais, 113. Importância Sistemática e Empírica dos Conceitos Científicos, 117. Sobre as Questões "Operacionalmente sem Sentido", 123. O Caráter das Sentenças Interpretativas, 124.	
8.	<i>Redução Teórica</i> .....	129
	A Controvérsia Mecanicismo vs. Vitalismo, 129. Redução dos Termos, 131. Redução das Leis, 133. Reformulação do Mecanicismo, 134. Redução da Psicologia; o Behaviorismo, 135.	
	<i>Leituras Adicionais</i> .....	141

## FUNDAMENTOS DA FILOSOFIA

Muitos dos problemas da Filosofia são de tão ampla relevância para as preocupações humanas, e tão complexos em suas ramificações, que se encontram, de uma forma ou outra, constantemente presentes. Embora, no decorrer do tempo, eles se submetam à investigação filosófica, talvez necessitem ser reconsiderados em cada época, à luz de conhecimentos científicos mais vastos e mais profunda experiência ética e religiosa. Melhores soluções são descobertas por métodos mais refinados e rigorosos. Assim, quem abordar o estudo da filosofia na esperança de compreender o melhor do que ela proporciona, procurará tanto as questões fundamentais como as realizações contemporâneas.

Escrito por um grupo de eminentes filósofos, o "Curso Moderno de Filosofia" tem por finalidade expor alguns dos principais problemas nos diversos campos da Filosofia, tal como se apresentam na atual fase da história filosófica.

Conquanto seja provável que certos setores estejam representados na maioria dos casos de introdução à Filosofia, as classes universitárias diferem muito em ênfase, nos métodos de instrução e no ritmo de progresso. Todos os professores necessitam de liberdade para alterar seus cursos à medida que os seus próprios interesses filosóficos, o tamanho e características da composição de suas classes e as necessidades de seus alunos variem de ano para ano. Os diversos volumes do "Curso Moderno de Filosofia" (cada um completo em si mesmo, mas servindo também de complemento para os outros) oferecem uma nova flexibilidade ao professor, que pode criar seu próprio curso mediante a combinação de vários volumes, conforme desejar, e pode escolher diversas combinações em diferentes ocasiões. Aqueles volumes que não são usados num curso de iniciação podem ser comprovadamente valiosos, a par de outros textos ou compilações de lições, para os cursos mais especializados de nível superior.

ELIZABETH BEARDSLEY

MONROE BEARDSLEY

*Para PETER ANDREW  
e TOBY ANNE*

## PREFÁCIO

Este livro oferece uma introdução a alguns dos tópicos centrais da Metodologia e da Filosofia da Ciência Natural contemporâneas. Para atender às exigências do espaço disponível, preferi tratar com certa minúcia um número limitado de questões importantes a tentar um esboço rudimentar de um panorama mais vasto. Embora seja livro de caráter elementar, procurei evitar uma simplificação enganosa e apontei várias questões que ainda estão sendo pesquisadas e discutidas.

Os leitores que quiserem conhecer melhor as questões aqui examinadas ou se informar sobre outros problemas da Filosofia da Ciência encontrarão sugestões para leituras adicionais na curta bibliografia que se acha no fim do volume.

Uma parte substancial deste livro foi escrita em 1964, durante os últimos meses de um ano em que fiz parte do Centro de Estudos Avançados em Ciências do Comportamento. Quero deixar aqui expresso o quanto apreciei esta oportunidade.

E quero, por fim, agradecer calorosamente aos diretores desta coleção, Elizabeth e Monroe Beardsley, pelos conselhos valiosos e a Jerome B. Neu pelo auxílio eficiente na leitura das provas.

CARL G. HEMPEL

## ALCANCE E OBJETIVO DESTE LIVRO

Os diferentes ramos da investigação científica podem ser separados em dois grupos maiores: as Ciências empíricas e as não-empíricas. As primeiras procuram descobrir, descrever, explicar e predizer as ocorrências no mundo em que vivemos. Suas asserções devem ser, portanto, confrontadas com os fatos de nossa experiência e só são aceitáveis se amparadas por uma evidência empírica.

Tal evidência se obtém de muitas maneiras: por experimentação, por observação sistemática, por entrevistas ou levantamentos, por exames psicológicos ou clínicos, por estudo atento de relíquias arqueológicas, documentos, inscrições, moedas etc. É dessa referência essencial à experiência que prescindem a Lógica e a Matemática pura, que são as Ciências não-empíricas.

As Ciências empíricas dividem-se por sua vez em Ciências Naturais e Ciências Sociais. O critério para essa divisão é muito menos claro do que o que distingue a investigação empírica da não-empírica e não existe acordo geral sobre onde se encontra a linha de separação. É costume incluir nas Ciências Naturais a Física, a Química, a Biologia e as suas zonas fronteiriças. As Ciências Sociais compreendem então a Sociologia, a Ciência Política, a Antropologia, a Economia, a Historiografia e as disciplinas correlatas. A Psicologia é às vezes incluída num campo, às vezes noutro e não raro é dita pertencer a ambos.

Na presente coleção, a Filosofia das Ciências Naturais e a Filosofia das Ciências Sociais são tratadas em volumes diferentes. Esta separação visa apenas ao propósito prático de permitir discussão mais adequada do largo campo da Filosofia da Ciência; não pretende prejulgar a questão de ter ou não essa divisão significação sistemática, *i. e.*, de serem as Ciências Naturais fundamentalmente diferentes das Ciências Sociais em assuntos, objetivos, métodos ou pressupostos. Que existam diferenças bá-

sicas entre esses vastos domínios já o foi amplamente afirmado e com as mais diversas e interessantes razões. Mas um estudo completo desses argumentos requer uma análise cerrada tanto das Ciências Sociais como das Naturais, o que ultrapassa o domínio deste pequeno volume. Entretanto, nossa discussão derramará alguma luz sobre a questão, pois nesta exploração da Filosofia das Ciências Naturais teremos, de quando em vez, ocasião de lançar um olhar comparativo em relação às Ciências Sociais e veremos que muito do que vamos descobrir quanto aos métodos e à *rationale* da investigação científica aplica-se tanto às Ciências Naturais como às Ciências Sociais. As palavras "ciência" e "científico" serão, portanto, freqüentemente usadas em referência ao domínio inteiro da Ciência empírica; mas quando a clareza o exigir, restrições convenientes serão acrescentadas.

O enorme prestígio desfrutado pela Ciência hoje em dia é certamente devido em grande parte aos sucessos espetaculares e à rápida expansão do alcance de suas aplicações. Muitos ramos da Ciência empírica vieram constituir a base para tecnologias associadas, que colocam os resultados da investigação científica em uso prático e que por sua vez fornecem freqüentemente à pesquisa pura ou básica novos dados, novos problemas e novos instrumentos para a investigação.

Mas, além de auxiliar o homem em sua busca de um controle sobre seu ambiente, a Ciência responde a uma outra necessidade, desinteressada, mas não menos profunda e persistente: a de ganhar um conhecimento cada vez mais vasto e uma compreensão cada vez mais profunda do mundo em que ele se encontra. Nos capítulos seguintes, vamos estudar como são atingidos esses objetivos principais da investigação científica. Examinaremos como se alcança, como se estabelece e como muda o conhecimento científico; veremos como a Ciência explica os fatos empíricos e que espécie de compreensão nos é dada por suas explicações; no decorrer dessas discussões, abordaremos alguns problemas mais gerais referentes aos limites e aos pressupostos da investigação, do conhecimento e da compreensão científicas.

## 2

## INVESTIGAÇÃO CIENTÍFICA: INVENÇÃO E VERIFICAÇÃO

### UM CASO HISTÓRICO COMO EXEMPLO

Como simples ilustração de alguns aspectos importantes da investigação científica vamos considerar o trabalho sobre a febre puerperal, realizado pelo médico húngaro Iguaz Semmelweis, no Hospital Geral de Viena, de 1844 a 1848. Grande número de mulheres internadas no Primeiro Serviço da Maternidade do Hospital contraía após o parto uma doença séria, e muitas vezes fatal, conhecida como febre puerperal. Em 1844, das 3.157 mães hospitalizadas nesse Serviço, 260 (ou seja, 8,2 por cento) morreram da doença; em 1845 a percentagem era de 6,8 por cento e em 1846 de 11,4 por cento. Essas cifras se tornavam ainda mais alarmantes quando confrontadas com as dos casos de morte pela doença no Segundo Serviço de Maternidade do mesmo hospital, que abrigava quase tantas mulheres como o primeiro: 2,3, 2,0 e 2,7 por cento para os mesmos anos.

Atormentado pelo terrível problema, Semmelweis esforçou-se por resolvê-lo, seguindo um caminho que ele mesmo veio a descrever mais tarde em livro que escreveu sobre a causa e a prevenção da febre puerperal.<sup>1</sup>

Começou considerando várias explicações então em voga; algumas rejeitou logo por serem incompatíveis com fatos bem

<sup>1</sup> A narrativa do trabalho de Semmelweis e das dificuldades por ele encontradas constitui uma página fascinante da história da Medicina. Uma exposição pormenorizada, que inclui traduções e paráfrases de largos trechos dos escritos de Semmelweis, encontra-se em W. J. Sinclair, *Semmelweis: His Life and His Doctrine* (Manchester, Inglaterra: Manchester University Press, 1909). Dessa obra é que foram tiradas as rápidas citações deste capítulo. Os pontos culminantes da carreira de Semmelweis estão focalizados no primeiro capítulo de P. de Kruif, *Men Against Death* (Nova York: Harcourt, Brace & World, Inc., 1932).

estabelecidos; outras, passou a submeter a verificações específicas.

Uma idéia amplamente aceita na época atribuía as devastações da febre puerperal a "influências epidêmicas", vagamente descritas como mudanças "cósmico-telúrico-atmosféricas" espalhando-se sobre bairros inteiros e causando a febre nas mulheres internadas. Mas, raciocina Semmelweis, como poderiam tais influências afetar o Primeiro Serviço durante anos e poupar o Segundo? E como poderia reconciliar-se essa idéia com o fato de estar a febre grassando no hospital sem que praticamente ocorresse outro caso na cidade de Viena ou em seus arredores? Uma epidemia genuína, como o é a cólera, não poderia ser tão seletiva. Finalmente, Semmelweis nota que algumas das mulheres admitidas no Primeiro Serviço, residindo longe do hospital, vencidas pelo trabalho de parto ainda em caminho, tinham dado à luz em plena rua; pois, a despeito dessas condições desfavoráveis, a taxa de morte por febre puerperal entre esses casos de "parto de rua" era menor que a média no Primeiro Serviço.

Segundo outra opinião, a causa da mortalidade no Primeiro Serviço era o excesso de gente. Mas Semmelweis observa que esse excesso era ainda maior no Segundo Serviço, o que em parte se explicava como resultado dos esforços desesperados das pacientes para evitar o Primeiro Serviço já mal afamado. Ele rejeita também duas conjeturas semelhantes então correntes, observando que não havia diferença entre os dois Serviços quanto à dieta e ao cuidado geral com as pacientes.

Em 1846, uma comissão nomeada para investigar o assunto atribuía a predominância da doença no Primeiro Serviço a danos causados pelo exame grosseiro feito pelos estudantes de Medicina, que recebiam seu treino em obstetrícia apenas no Primeiro Serviço. Semmelweis observa, refutando esta opinião, que: *a)* os danos resultantes naturalmente do processo de parto são muito mais extensos que os que poderiam ser causados por um exame grosseiro; *b)* as parteiras que recebiam seu treino no Segundo Serviço examinavam suas pacientes quase do mesmo modo, mas sem os mesmos efeitos nocivos; *c)* quando, em consequência do relatório da comissão, o número dos estudantes de Medicina ficou diminuído da metade e os seus exames das mulheres foram reduzidos ao mínimo, a mortalidade, depois de breve declínio, elevou-se a níveis ainda mais altos do que antes.

Várias explicações psicológicas tinham sido tentadas. Uma delas lembrava que o Primeiro Serviço estava disposto de tal modo que um padre, levando o último sacramento a uma moribunda, tinha que passar por cinco enfermarias antes de alcançar o quarto da doente: o aparecimento do padre, precedido por um auxiliar soando uma campainha, produziria um efeito aterrador e debilitante nas pacientes dessas enfermarias e as transformavam em vítimas prováveis da febre. No Segundo Serviço não havia esse fator prejudicial porque o padre tinha acesso direto ao quarto da doente. Para verificar esta conjetura, Semmelweis convenceu ao padre de tomar um outro caminho e de não soar a campainha, chegando ao quarto da doente silenciosamente e sem ser observado. Mas a mortalidade no Primeiro Serviço não diminuiu.

Observaram ainda a Semmelweis que no Primeiro Serviço as mulheres no parto ficavam deitadas de costas e no Segundo Serviço, de lado. Mesmo achando a idéia inverossímil, decidiu, "como um naufrago se agarra a uma palha", verificar se a diferença de posição poderia ser significativa. Introduzindo o uso da posição lateral no Primeiro Serviço a mortalidade não se alterou.

Finalmente, no começo de 1847, um acidente deu a Semmelweis a chave decisiva para a solução do problema. Um seu colega, Kolletschka, feriu-se no dedo com o bisturi de um estudante que realizava uma autópsia e morreu depois de uma agonia em que se revelaram os mesmos sintomas observados nas vítimas da febre puerperal.

Apesar de nessa época não estar ainda reconhecido o papel desempenhado nas infecções pelos microrganismos, Semmelweis compreendeu que "a matéria cadavérica", introduzida na corrente sanguínea de Kolletschka pelo bisturi, é que causara a doença fatal do seu colega. As semelhanças entre o curso da doença de Kolletschka e a das mulheres em sua clínica levaram Semmelweis à conclusão de que suas pacientes morreram da mesma espécie de envenenamento do sangue: ele, seus colegas, e os estudantes tinham sido os veículos do material infeccioso, pois vinham às enfermarias logo após realizarem dissecações na sala de autópsia e examinavam as mulheres em trabalho de parto depois de lavarem as mãos apenas superficialmente, muitas vezes retendo o cheiro nauseante.

Novamente, Semmelweis submeteu sua idéia a um teste. Raciocinou que, se estivesse certo, então a febre puerperal pode-

ria ser prevenida pela destruição química do material infeccioso aderido às mãos. Ordenou então que todos os estudantes lavassem suas mãos numa solução de cal clorada antes de procederem a qualquer exame. A mortalidade pela febre logo começou a decrescer, caindo em 1848 a 1,27 por cento no Primeiro Serviço, enquanto que no Segundo era de 1,33.

Justificando ainda mais sua idéia ou sua *hipótese*, como também diremos, Semmelweis observou que ela explicava o fato de ser a mortalidade do Segundo Serviço mais baixa: lá as pacientes eram socorridas por parteiras, cujo treino não incluía instrução anatômica por dissecação dos cadáveres.

E a hipótese também explicava a menor mortalidade entre os casos de "partos de rua": as mulheres que já chegavam trazendo seus bebês ao colo raramente eram examinadas após a admissão e tinham assim melhor sorte de escapar à infecção.

Finalmente, a hipótese explicava o fato de só serem vítimas de febre os recém-nascidos cujas mães tinham contraído a doença durante o trabalho de parto, pois então a infecção podia ser transmitida à criança antes do nascimento, através da corrente sanguínea comum à mãe e ao filho, o que era impossível quando a mãe permanecia sadia.

Ulteriores experiências clínicas levaram Semmelweis em pouco tempo a alargar sua hipótese. Numa ocasião, por exemplo, ele e seus colaboradores, após desinfetarem cuidadosamente as mãos, examinaram primeiro uma mulher em trabalho de parto que sofria de câncer cervical purulento; passaram em seguida a examinar doze outras mulheres na mesma sala, limitando-se a lavar as mãos sem repetir a desinfecção. Onze das doze pacientes morreram de febre puerperal. Semmelweis concluiu que essa febre podia ser causada não somente por material cadavérico, mas também por "matéria pútrida retirada de um organismo vivo".

#### AS ETAPAS FUNDAMENTAIS PARA VERIFICAR UMA HIPÓTESE

Vimos como, procurando a causa da febre puerperal, Semmelweis examinou várias hipóteses que haviam sido sugeridas como possíveis respostas. Porque essas hipóteses se apresentaram em primeiro lugar é uma questão debatida que iremos

considerar mais tarde. De início, vamos examinar como uma hipótese, uma vez proposta, é verificada.

Às vezes, o procedimento é direto. É o que aconteceu com as conjeturas de que as diferenças em aglomeração, em dieta ou em atenção explicariam a diferença de mortalidade entre os dois Serviços de Maternidade. Como Semmelweis observou, elas não concordavam com os fatos imediatamente observáveis. Não existiam tais diferenças entre os Serviços; as hipóteses foram portanto rejeitadas como falsas.

Mas habitualmente a verificação não é tão simples e tão direta. Consideremos, por exemplo, a hipótese que atribuía a alta mortalidade no Primeiro Serviço ao temor evocado pelo aparecimento do padre com o seu auxiliar. Não sendo a intensidade do temor nem seu efeito sobre a febre diretamente determinados, como o são a diferença em aglomeração e em dieta, Semmelweis usou um método indireto de verificação. Perguntou a si mesmo: Existe algum efeito facilmente observável que ocorra caso seja a hipótese verdadeira? E raciocinou: *Se* a hipótese fosse verdadeira, *então* uma mudança apropriada no procedimento do padre deveria ser acompanhada de um declínio nos casos fatais. Verificou esta implicação por uma simples experiência e achando que ela era falsa rejeitou a hipótese.

Analogamente, para verificar a conjetura sobre a posição das mulheres durante o parto, raciocinou: *Se* a conjetura fosse verdadeira, *então* a adoção da posição lateral no Primeiro Serviço reduziria a mortalidade. Outra vez a experiência mostrou ser falsa a implicação e a conjetura foi afastada.

Nos dois últimos casos a verificação baseava-se no seguinte argumento: *Se* a hipótese considerada, que designaremos por *H*, for verdadeira, *então* certos eventos observáveis (*e.g.*, declínio na mortalidade) deverão ocorrer sob certas circunstâncias especificadas (*e.g.*, se o padre se abster de passar pelas enfermarias ou se o parto se realizar em posição lateral); mais brevemente, se *H* é verdadeira, também o é *I*, sendo *I* um enunciado que descreve as ocorrências observáveis a serem esperadas. É conveniente dizer que *I* é inferido de *H*, ou implicado por *H*, e que *I* é uma implicação verificável da hipótese *H*. (Mais tarde daremos uma descrição mais apurada da relação entre *I* e *H*.)

Nesses dois últimos exemplos a experiência mostrou ser falsa a implicação verificável e por isso a hipótese foi rejeitada.



O raciocínio que conduziu à rejeição pode ser esquematizado da seguinte maneira:

- a) Se  $H$  é verdadeiro, então  $I$  também o é.  
Mas (como mostra a evidência)  $I$  não é verdadeiro.  
 $H$  não é verdadeiro.

Qualquer argumento desta forma, chamado *modus tollens* em Lógica,<sup>2</sup> é dedutivamente válido, isto é, se suas premissas (as sentenças acima da linha horizontal) são verdadeiras, então sua conclusão (a sentença abaixo da linha horizontal) é infalivelmente verdadeira. Logo, se as premissas de *a*) já estiverem convenientemente estabelecidas, a hipótese  $H$  que está sendo verificada deve ser certamente rejeitada.

Consideremos agora o caso em que a observação ou a experiência apóia a implicação  $I$ . Da hipótese de ser a febre puerperal um envenenamento do sangue provocado pela matéria cadavérica, Semmelweis inferiu que medidas antissépticas apropriadas reduziram os casos fatais da doença. Desta vez, a experiência mostrou ser verdadeira a implicação. Mas esse resultado favorável não provava conclusivamente que a hipótese fosse verdadeira, pois o argumento subjacente teria a forma:

- b) Se  $H$  é verdadeiro, então  $I$  também o é.  
(Como mostra a evidência)  $I$  é verdadeiro.  
 $H$  é verdadeiro.

Este modo de raciocinar, chamado a *falácia de afirmação do conseqüente*, é dedutivamente não-válido, isto é, sua conclusão pode ser falsa ainda que suas premissas sejam verdadeiras.<sup>3</sup> E isso é de fato exemplificado pela própria experiência de Semmelweis. A versão inicial de sua interpretação da febre puerperal como uma forma de envenenamento do sangue mencionava a infecção com matéria cadavérica como sendo a única fonte da doença; corretamente ele raciocinara que, se essa hipótese fosse verdadeira, então a destruição das partículas cadavéricas pela antissepsia deveria reduzir a mortalidade. Além disso,

<sup>2</sup> Para detalhes, ver outro volume da coleção: W. Salmon, *Logic*, pp. 24-25. (N. do E.: Pp. 42-43 da tradução para o português publicada sob o título *Lógica* por Zahar Editores, Rio, 1969.)

<sup>3</sup> Ver Salmon, *Logic*, pp. 27-29. (N. do E.: Pp. 44-47 da edição brasileira.)

sua experiência mostrou ser verdadeira a implicação. Logo, neste caso, as premissas de *b*) eram ambas verdadeiras. Contudo, sua hipótese era falsa, pois como ele descobriu depois, a febre podia também ser produzida por material pútrido proveniente de organismos vivos.

Assim, o resultado favorável de uma verificação, *i. e.*, o fato de ser achada verdadeira a implicação inferida de uma hipótese, não prova que a hipótese seja verdadeira. Mesmo que muitas implicações de uma hipótese tenham sido sustentadas por verificações cuidadosas, ainda assim a hipótese pode ser falsa. O argumento seguinte também comete a falácia de afirmar o conseqüente:

- c) Se  $H$  é verdadeiro, então também o são  $I_1, I_2, \dots, I_n$ .  
(Como mostra a evidência)  $I_1, I_2, \dots, I_n$  são verdadeiros.  
 $H$  é verdadeiro.

Isso ainda pode ser ilustrado pela hipótese final de Semmelweis em sua primeira versão. Como já indicamos anteriormente, da sua hipótese também se tiram as implicações de que entre os casos de parto de rua, admitidos no Primeiro Serviço, a mortalidade pela febre puerperal deveria ser menor que a média para o Serviço e que as crianças cujas mães tinham escapado da doença não contraíam a febre puerperal. Essas implicações também eram amparadas pela evidência — apesar de ser falsa a primeira versão da hipótese final.

Mas, observando que o resultado favorável de não importa quantas verificações não fornece prova conclusiva para uma hipótese, não devemos pensar que ao obter de um certo número de verificações um resultado favorável estaremos como se não tivéssemos feito verificação alguma. Pois cada uma de nossas verificações poderia ter tido um resultado desfavorável e poderia ter levado à rejeição da hipótese. Um conjunto de resultados favoráveis obtidos ao verificarmos diferentes implicações  $I_1, I_2, \dots, I_n$  de uma hipótese mostra que essa hipótese foi confirmada no que diz respeito àquelas implicações particulares; ainda que este resultado não produza prova completa da hipótese, fornece pelo menos certo suporte, alguma corroboração ou confirmação dela. Em que medida isso é feito dependerá de vários aspectos da hipótese e dos dados coíhidos pela verificação. Esses aspectos serão examinados no capítulo 4.

Vejamos agora outro exemplo<sup>4</sup> que nos fará prestar atenção a outros aspectos da investigação científica.

Como já se sabia no tempo de Galileu, e provavelmente muito mais cedo, qualquer bomba aspirante que retira água de um poço por meio de um êmbolo móvel no interior de um cilindro não consegue elevar a água a mais de cerca de 10,5 metros acima da superfície livre do poço. Galileu ficou intrigado por esta limitação e sugeriu uma explicação apressada para ela. Depois da morte de Galileu, seu discípulo Torricelli propôs uma outra resposta. Argumentou que a Terra está envolvida por um oceano de ar que, em virtude do seu peso, exerce pressão sobre o seu fundo, e que é essa pressão sobre a superfície livre do poço que força a água a subir quando se levanta o êmbolo. Aquela altura máxima de cerca de 10,5 metros para a coluna d'água sobrelevada dá simplesmente uma medida de pressão exercida pela atmosfera sobre a superfície livre do poço.

Sendo evidentemente impossível determinar por inspeção direta ou por observação se a suposição é correta, Torricelli procurou verificá-la indiretamente. Raciocinou que se fosse verdadeira sua conjectura, então a pressão atmosférica seria também capaz de suportar uma coluna proporcionalmente menor de mercúrio; com efeito, sendo a densidade do mercúrio cerca de 14 vezes menor que a da água, a altura da coluna de mercúrio deveria ser da ordem de 10,5/14 metros, isto é, da ordem de 75 cm. Verificou essa implicação por meio de um aparelho engenhosamente simples, que era, de fato, o barômetro de mercúrio. O poço de água é substituído por uma cuba contendo mercúrio, o cano de sucção da bomba é substituído por um tubo de vidro fechado numa das extremidades. Enchendo completamente o tubo com mercúrio e obturando a extremidade aberta com o dedo polegar, Torricelli inverteu-o, submergindo no mercúrio a extremidade tapada pelo polegar. Retirando em seguida o polegar, a coluna de mercúrio caiu a cerca de 75 cm, tal como previra.

<sup>4</sup> O leitor encontrará uma exposição mais completa desse exemplo no capítulo 4 do livro fascinante de J. B. Conant, *Science and Common Sense* (New Haven: Yale University Press, 1951). Uma carta de Torricelli em que ele descreve sua hipótese e a verificação dela, além de um testemunho visual da experiência de Puy-de-Dôme, acha-se em W. F. Magie, *A Source Book in Physics* (Cambridge: Harvard University Press, 1963), pp. 70, 75.

Outra implicação dessa hipótese foi anotada por Pascal, raciocinando que, se o mercúrio no barômetro de Torricelli exerce sobre o mercúrio da cuba pressão igual à do ar, então a altura da coluna deve diminuir à medida que cresce a altitude, pois a atmosfera vai-se tornando menor. A pedido de Pascal, essa implicação foi verificada pelo seu cunhado, Périer, que mediu a altura da coluna de mercúrio no barômetro ao pé de Puy-de-Dôme, uma montanha com 1.600 metros de altura, para em seguida transportar cuidadosamente o aparelho até o cimo, lá repetindo a medida, enquanto um barômetro de controle ficava em baixo sob a supervisão de um assistente. Périer achou que a coluna de mercúrio levada ao topo da montanha se encurtara de mais de oito centímetros enquanto a do barômetro de controle permanecera invariável durante todo o dia.

#### O PAPEL DA INDUÇÃO NA INVESTIGAÇÃO CIENTÍFICA

Vimos algumas investigações científicas nas quais um problema foi enfrentado ensaiando respostas em forma de hipóteses, que eram então verificadas derivando delas implicações apropriadas a serem confrontadas com a observação ou com a experiência.

Mas como se chega pela primeira vez a hipóteses apropriadas? Assegura-se às vezes que elas são inferidas de dados anteriormente coligidos por meio de um procedimento chamado *inferência indutiva*, para distingui-lo da inferência dedutiva, da qual difere, em pontos importantes.

Num argumento dedutivamente válido, a conclusão se relaciona com as premissas de tal modo que, sendo estas verdadeiras, então a conclusão é infalivelmente também verdadeira. Essa exigência fica satisfeita, por exemplo, por qualquer argumento da seguinte forma:

$$\begin{array}{l} \text{Se } p, \text{ então } q. \\ \underline{q \text{ não é o caso.}} \\ p \text{ não é o caso.} \end{array}$$

Uma rápida reflexão mostra que sejam quais forem os enunciados particulares que ocupem os lugares marcados pelas letras 'p' e 'q', a conclusão será certamente verdadeira se as premissas o forem. De fato, nosso esquema representa a forma de argumento chamada *modus tollens*, a que já nos referimos.

Outro tipo de inferência dedutivamente válida está ilustrado por este exemplo:

Qualquer sal de sódio, quando colocado na chama de um bico de Bunsen, torna a chama amarela.

Este pedaço de sal de pedra é sal de sódio.

Este pedaço de sal de pedra, quando posto na chama de um bico de Bunsen, tornará a chama amarela.

Diz-se muitas vezes que os argumentos dessa espécie levam d'geral (aqui a premissa sobre todos os sais de sódio) ao particular (uma conclusão sobre o pedaço particular de sal de pedra). Ao contrário, as inferências indutivas levam de premissas sobre casos particulares a uma conclusão que tem o caráter de lei geral ou de princípio. Por exemplo, partindo das premissas de que cada uma das amostras particulares de vários sais de sódio que foram colocados na chama de Bunsen tornaram a chama amarela, a inferência indutiva levaria à conclusão geral de que todos os sais de sódio, quando colocados na chama de um bico de Bunsen, tornam a chama amarela. Mas é óbvio, neste caso, que a verdade das premissas *não* garante a verdade da conclusão; pois ainda que todas as amostras de sais de sódio examinadas até agora tenham tornado amarela a chama de Bunsen, é perfeitamente possível que novas espécies de sais de sódio sejam encontradas sem estarem de acordo com essa generalização. Além disso, mesmo algumas das espécies de sal de sódio já examinadas com resultado positivo poderiam deixar de satisfazer à generalização sob condições físicas especiais (tal como campos magnéticos intensos ou coisa parecida), em que ainda não foram examinadas. Por esse motivo, diz-se frequentemente que as premissas de uma inferência indutiva implicam a conclusão apenas com maior ou menor probabilidade, enquanto as premissas de uma inferência dedutiva implicam a conclusão com certeza.

A idéia de que, em investigação científica, a inferência indutiva parte de dados previamente coligidos para chegar a princípios gerais apropriados, está claramente exposta no seguinte resumo do procedimento ideal de um cientista:

Se tentássemos imaginar como um espírito de poder e alcance sobre-humanos, mas normal quanto aos processos lógicos de seu pensamento, ... usaria o método científico, diríamos o seguinte: Primeiro, todos os fatos seriam obser-

vados e registrados, *sem seleção* ou estimativa *a priori* quanto à importância relativa deles. Segundo, os fatos observados e registrados seriam analisados, comparados e classificados, *sem outras hipóteses* ou postulados além dos necessariamente envolvidos na lógica do pensamento. Terceiro, dessa análise dos fatos seriam tiradas, indutivamente, generalizações quanto às suas relações, classificatórias ou causais. Quarto, pesquisa adicional poderia ser tanto dedutiva como indutiva, empregando inferências a partir das generalizações previamente estabelecidas.<sup>5</sup>

Esta passagem distingue quatro etapas numa investigação científica ideal: 1) observação e registro de todos os fatos, 2) análise e classificação desses fatos, 3) derivação indutiva de generalizações a partir deles e 4) verificação adicional das generalizações. Admite expressamente que as duas primeiras etapas não façam uso de qualquer estimativa ou hipótese, restrição que parece ter sido imposta pela crença de que idéias preconcebidas prejudicariam a isenção necessária à objetividade científica da investigação.

A concepção expressa no trecho citado — que eu chamarei de *concepção indutiva estreita da investigação científica* — é insustentável por várias razões, que vamos resumir para ampliar e suplementar o que já observamos sobre o proceder científico.

Primeiro, uma investigação científica como esta apresentada nunca poderia desenvolver-se. Mesmo sua primeira etapa nunca seria executada, pois uma coleção de *todos* os fatos teria, por assim dizer, que aguardar o fim do mundo; nem mesmo poderia ser colecionada a totalidade de todos os fatos *até agora*, pois eles são em número infinito e de infinita variedade.

Teríamos, por exemplo, que examinar todos os grãos de areia em todos os desertos e em todas as praias, registrando-lhes a forma, o peso, a composição química, as distâncias mútuas, as temperaturas constantemente variando e a distância ao centro da lua também variando constantemente? Teríamos que registrar os pensamentos flutuantes que atravessam nossos espíritos nesse proceder fastidioso? As formas das nuvens e as cores cambiantes do céu? A construção e o fabricante do nosso equipamento para registro? Nossas próprias biografias e as dos

<sup>5</sup> A. B. Wolfe, "Functional Economics", em *The Trend of Economics*, org. R. G. Tugwell (Nova York, Alfred A. Knopf, Inc., 1924), p. 450 (os grifos são transcritos).

nossos companheiros de investigação? Tudo isso e tanta coisa mais pertencem, afinal de contas, à “totalidade dos fatos até agora”.

Dir-se-á talvez que tudo quanto se requer na primeira fase é que sejam colecionados todos os fatos relevantes. Mas relevantes para quê? Ainda que o autor não o mencione, suponhamos que a investigação se restrinja a um *problema* bem determinado. Não deveríamos então começar colecionando todos os fatos — ou melhor, todos os fatos disponíveis — relevantes para o problema? A pergunta não tem sentido claro. Semmelweis procurava resolver um problema bem definido e entretanto colecionava dados os mais diversos nas diferentes etapas de sua investigação. E estava certo: pois os dados particulares a serem colecionados não estão determinados pelo problema em estudo mas pela tentativa razoável de resposta que o investigador formula em forma de conjectura ou hipótese. Se se conjectura que o aumento de mortalidade pela febre puerperal é devido ao aparecimento aterrador do padre com a campanha anunciadora da morte, o que se torna relevante é colecionar dados sobre as conseqüências do haver sido suprimida essa aparição; mas será totalmente irrelevante procurar saber o que aconteceria se os doutores e os estudantes desinfetassem suas mãos antes de examinar os pacientes. Esses dados é que passaram a ser relevantes relativamente à hipótese da contaminação eventual, para a qual os dados anteriores se tornaram irrelevantes.

“Fatos” ou dados empíricos só podem ser qualificados como logicamente relevantes ou irrelevantes relativamente a uma dada hipótese, e não relativamente a um dado problema.

Suponhamos agora que uma hipótese *H* tenha sido proposta como tentativa de resposta a um problema em pesquisa: Que espécie de dados serão relevantes para *H*? Nossos exemplos anteriores sugerem uma resposta: Um fato é relevante para *H* se sua ocorrência ou não-ocorrência puder ser inferida de *H*. Tomemos, por exemplo, a hipótese de Torricelli. Como vimos, Pascal inferiu dela que a coluna de mercúrio num barômetro deve ir diminuindo à medida que subimos na atmosfera. Portanto, qualquer verificação de que assim acontece num particular é relevante para a hipótese, mas igualmente relevante teria sido achar que a coluna de mercúrio permanecera estacionária ou que tivera diminuído para depois crescer durante a ascensão, pois tais fatos refutariam a implicação tirada por

Pascal e, portanto, a hipótese de Torricelli. Diremos que os dados da primeira espécie são positivamente, ou favoravelmente, relevantes e que os da última espécie são negativamente, ou desfavoravelmente, relevantes.

Em suma, o preceito de que os dados devem ser reunidos sem a guia de uma hipótese preliminar sobre as conexões entre os fatos em estudo é autodestruidor e, certamente, não é seguido na investigação científica. Ao contrário, é necessário tentar hipóteses que dêem uma direção à investigação científica. Essas hipóteses é que determinam, entre outras coisas, quais dados devem ser coligidos a um certo momento da investigação.

Interessa notar que os cientistas sociais ao tentarem verificar uma hipótese usando o vasto arquivo de fatos registrados pelos Serviços de Recenseamento, ou por outras organizações coletoras de dados, ficam às vezes desapontados por não encontrarem registro algum dos valores de uma variável que desempenha um papel central na hipótese. Essa observação não visa, bem entendido, criticar o sistema usado para o censo: sem dúvida alguma as pessoas encarregadas de fazê-lo procuram selecionar fatos que possam ser relevantes para futuras hipóteses; visa simplesmente ilustrar a impossibilidade de coligir “todos os dados relevantes” sem conhecimento da hipótese para a qual os dados devem ter relevância.

Crítica semelhante pode ser feita à segunda etapa considerada no trecho citado. Um conjunto de “fatos” empíricos pode ser analisado e classificado de muitas maneiras diferentes, das quais a maioria nenhuma luz trará ao que se pretende atingir com uma determinada investigação. Semmelweis poderia ter classificado as mulheres nas enfermarias da maternidade conforme a idade, residência, estado civil, hábitos dietéticos etc.; nada disso forneceria qualquer indicação quanto à probabilidade de uma paciente vir a ser vítima da febre puerperal. O que Semmelweis procurava eram critérios de classificação que fossem vinculados àquela probabilidade de um modo significativo; assim era, como ele acabou achando, o de separar as mulheres examinadas por pessoal médico com mãos contaminadas; pois era com esta característica ou com a correspondente classe de pacientes que estava associada a alta mortalidade pela febre.

Portanto, para que uma maneira particular de analisar e classificar os dados empíricos possa conduzir a uma explicação dos fenômenos correspondentes é necessário fundamentá-la em

hipóteses sobre como estão esses fenômenos correlacionados; sem essas hipóteses, a análise e a classificação são cegas.

Essas nossas reflexões críticas sobre as duas primeiras etapas da investigação tal como foi descrito na passagem citada invalidam também a idéia de que as hipóteses só são introduzidas na terceira etapa, pela inferência indutiva a partir de dados previamente coligidos. Convém, entretanto, acrescentar algumas observações sobre o assunto.

A indução é não raro concebida como um método para passar dos fatos observados aos princípios gerais correspondentes por meio de regras mecanicamente aplicáveis. Segundo esta concepção, as regras da inferência indutiva forneceriam cânones eficazes para a descoberta científica; a indução seria um procedimento mecânico análogo à familiar rotina para multiplicação de inteiros, que leva, em número finito de passos predeterminados e executáveis mecanicamente, ao correspondente produto. Na realidade, não se dispõe até agora de nenhum procedimento geral e mecânico de indução; se assim não fôsse, dificilmente se compreenderia, por exemplo, por que ficou até hoje sem solução o ultra-estudado problema da causa do câncer. Nem há que esperar pela descoberta de um tal procedimento. Pois — para mencionar apenas uma razão — as hipóteses e teorias científicas são habitualmente formuladas em termos que absolutamente não ocorrem na descrição dos dados empíricos em que estão baseadas e que elas servem para explicar. Por exemplo, as teorias sobre a estrutura atômica e subatômica da matéria contém termos como “átomo”, “elétron”, “próton”, “nêutron”, “função psi” etc.; entretanto, estão baseadas em dados fornecidos pelo laboratório sobre os espectros de vários gases, rastros deixados em câmaras de nuvem e de bôlha, aspectos quantitativos de reações químicas etc. cuja descrição pode ser feita sem emprêgo daqueles “termos teóricos”. As regras de indução do tipo aqui considerado teriam portanto que fornecer uma rotina mecânica para construir, sobre a base dos dados encontrados, uma hipótese ou uma teoria formulada em termos de conceitos inteiramente novos, nunca usados na descrição daqueles dados. Certamente nenhuma regra de proceder mecânico poderia realizar isso. Poderia haver, por exemplo, uma regra geral que, aplicada aos dados de que dispunha Galileu referentes ao limite de eficiência das bombas aspirantes, produzisse uma hipótese baseada no conceito de um oceano de ar?

Certo, em situações especiais e relativamente simples, podemos receitar um procedimento mecânico para “inferir” indutivamente uma hipótese a partir de certos dados. Por exemplo, uma vez medido o comprimento de uma barra de cobre em diferentes temperaturas, os resultantes pares de valores associados podem ser representados num plano, mediante um sistema de coordenadas, por pontos, por onde se fará passar uma curva seguindo uma regra particular de interpolação. A curva assim obtida representa graficamente uma hipótese geral quantitativa, que exprime o comprimento da barra em função de sua temperatura. Mas, note-se, essa hipótese não contém qualquer termo novo, podendo ser expressa em termos dos conceitos de comprimento e temperatura que foram usados na descrição dos dados. Além disso, a escolha de valores “associados” de comprimento e temperatura, como dados, já pressupõe uma hipótese diretriz, a de que a cada valor de temperatura esteja associado exatamente um valor de comprimento da barra de cobre, ou, em outras palavras, que o comprimento da barra seja função apenas de sua temperatura. A rotina mecânica da interpolação serve apenas para selecionar uma função particular como a apropriada. Este ponto é importante; pois suponhamos que em lugar de uma barra de cobre estejamos examinando gás nitrogênio encerrado num reservatório obturado por um êmbolo móvel e que meçamos o volume ocupado pelo gás em diferentes temperaturas. Se quiséssemos usar o mesmo procedimento para extrair dos dados colhidos uma hipótese *geral* representando o volume do gás como função de sua temperatura, fracassaríamos, porque o volume de um gás é função tanto da temperatura como da pressão exercida sobre ele, de modo que, à mesma temperatura, um dado gás pode ter diferentes volumes.

Assim, mesmo nesses casos simples, os procedimentos mecânicos para a construção de uma hipótese executam apenas parte do trabalho, pois eles pressupõem uma hipótese antecedente, menos específica (*i. e.*, que uma certa variável física seja função apenas de uma outra variável física), que não pode ser obtida pelo mesmo procedimento.

Não existem, portanto, “regras de indução” aplicáveis em geral, mediante as quais hipóteses ou teorias possam ser mecanicamente derivadas ou inferidas dos dados empíricos. A transição dos dados à teoria requer uma imaginação criadora. As hipóteses e as teorias científicas não são *derivadas* dos fatos observados, mas *inventadas* com o fim de explicá-los. Cons-

tituem, se assim se pode dizer, palpites sobre os nexos que possam ser obtidos entre os fenômenos em estudo, sobre as uniformidades e estruturas que possam estar por baixo da ocorrência deles. "Palpites felizes"<sup>6</sup> dessa natureza requerem um grande engenho, especialmente quando encerram um afastamento radical dos modos correntes de pensamento científico, como aconteceu, por exemplo, com a teoria da relatividade e a teoria dos quanta. Naturalmente, esse esforço inventivo só pode ser beneficiado por uma familiaridade completa com o conhecimento corrente do campo em questão. Um principiante dificilmente fará uma descoberta científica importante, pois o provável é que as idéias que venham a lhe ocorrer sejam simples duplicatas do que já foi tentado antes ou entrem em conflito com teorias ou fatos bem estabelecidos de que ele tem conhecimento.

Sem embargo, os caminhos pelos quais se chega a palpites científicos proveitosos diferem muito de qualquer processo de inferência sistemática. Por exemplo, o químico Kekulé nos conta como, numa noite de 1865, enquanto dormitava diante de sua lareira, achou a solução para o problema de esboçar uma fórmula estrutural para a molécula de benzeno, após tê-la procurado sem sucesso por muito tempo. Olhando para as chamas pareceu-lhe ver átomos dançando em filas sinuosas. Subitamente, uma dessas filas formou um anel, como se fora uma serpente segurando seu próprio rabo e pôs-se a girar vertiginosamente como se estivesse caçoando dele. Kekulé acordou numa exultação: nele surgira a idéia, agora famosa e familiar, de representar a estrutura molecular do benzeno por um anel hexagonal. E passou o resto da noite trabalhando para tirar as conseqüências dessa hipótese.<sup>7</sup>

Esta última informação nos traz de volta à questão da objetividade científica. No seu esforço para achar uma solução do

6 Esta caracterização já fora dada por William Whewell em sua obra *The Philosophy of the Inductive Sciences*, 2.<sup>a</sup> ed. (Londres: John W. Parker, 1847), II, 41. Whewell também fala em "invenção" como "parte da indução" (p. 46). No mesmo espírito, K. Popper se refere a hipóteses e teorias científicas como "conjeturas": ver, por exemplo, o ensaio "Science: Conjectures and Reputations" em seu livro *Conjectures and Reputations* (Nova York e Londres: Basic Books, 1962). Na verdade, A. B. Wolfe, cuja concepção estreitamente indutivista do procedimento científico ideal foi transcrita anteriormente, insiste em que o "espírito humano limitado" tem que usar um "procedimento grandemente modificado", que exija imaginação científica e uma seleção de dados baseada em alguma "hipótese de trabalho" (p. 450 do ensaio citado na nota 5).

7 Cf. as transcrições do próprio relatório de Kekulé em A. Findlay, *A Hundred Years of Chemistry*, 2.<sup>a</sup> ed. (Londres: Gerald Duckworth Co., 1948), p. 37; e W. I. B. Beveridge, *The Art of Scientific Investigation*, 3.<sup>a</sup> ed. (Londres: William Heineman, Ltd., 1957), p. 56.

seu problema, o cientista pode soltar as rédeas de sua imaginação e o rumo do seu pensamento criador pode ser influenciado até por noções cientificamente discutíveis. Ao estudar o movimento planetário, por exemplo, Kepler foi inspirado por seu interesse numa doutrina mística sobre os números e por um apaixonado desejo de demonstrar a música das esferas. Nada disso impede que a objetividade científica fique salvaguardada. Pois as hipóteses e as teorias que podem ser livremente inventadas e livremente *propostas* não podem ser *aceitas* se não passarem pelo escrutínio crítico, especialmente pela verificação das implicações capazes de serem observadas ou experimentadas.

Não é sem interesse observar que a *imaginação* e a livre invenção desempenham um papel igualmente importante nas disciplinas cujos resultados são legitimados exclusivamente pelo raciocínio dedutivo; por exemplo, em Matemática. Pois as regras da inferência dedutiva tampouco oferecem regras mecânicas para a descoberta. Como ficou ilustrado acima pelo nosso enunciado do *modus tollens*, essas regras se exprimem habitualmente em forma de esquemas gerais, cujos casos particulares são argumentos dedutivamente válidos. Na verdade, tais esquemas determinam um modo de chegarmos a uma conseqüência lógica partindo de premissas dadas. Mas para qualquer conjunto de premissas que possam ser dadas, as regras de inferência dedutiva fornecem uma infinidade de conclusões validamente dedutíveis. Tomemos, por exemplo, a simples regra representada pelo seguinte esquema:

$$\frac{p}{p \text{ ou } q}$$

Ele nos diz, com efeito, que  $\forall$  proposição que  $p$  é o caso, segue-se que  $p$  ou  $q$  é o caso, onde  $p$  e  $q$  podem ser quaisquer proposições. O vocábulo 'ou' deve ser aqui entendido no sentido "não exclusivo", de modo que ' $p$  ou  $q$ ' equivale a 'ou  $p$  ou  $q$  ou  $p$  e  $q$  conjuntamente'. É claro que sendo verdadeira a premissa de um argumento deste tipo, também o é a conclusão; logo, é válido qualquer argumento da forma especificada. Mas, isolada, esta regra nos permite inferir uma infinidade de conseqüências diferentes a partir de qualquer premissa. Assim, de 'a Lua não tem atmosfera' ela nos autoriza inferir qualquer enunciado da forma 'a Lua não tem atmosfera, ou  $q$ ', onde ' $q$ ' pode ser substituído por qualquer enunciado, seja ele falso ou

verdadeiro; por exemplo, 'a atmosfera da Lua é muito tênue', 'a Lua não é habitada', 'o ouro é mais denso que a prata', 'a prata é mais densa que o ouro' etc. (Não é sem interesse e não é difícil provar que se pode formar uma infinidade de enunciados diferentes em português; cada um deles pode ser posto no local da variável 'q'.) E, naturalmente, outras regras de inferência dedutiva acrescentam novos enunciados deriváveis de uma ou mais premissas. Portanto, para um dado conjunto de premissas, as regras de dedução não permitem achar uma diretriz para nossos procedimentos inferenciais. Não isolam um enunciado único como "a" conclusão a ser tirada das nossas premissas. Nem nos dizem como obter conclusões interessantes ou sistematicamente importantes; não fornecem uma rotina mecânica para, por exemplo, em Matemática tirar dos postulados teoremas significativos. A descoberta em Matemática de teoremas importantes e fecundos como a descoberta de teorias importantes e fecundas na ciência empírica requerem engenho inventivo; pede capacidade adivinhatória, imaginativa e retrospectiva. Mas aqui também, os interesses da objetividade científica ficam salvaguardados pela exigência de uma *validação objetiva* para tais conjecturas. Em Matemática, isso quer dizer *prova* por demonstração dedutiva a partir dos axiomas. E para provar que é verdadeira ou falsa uma proposição matemática apresentada como conjectura é necessário muitas vezes possuir engenho inventivo do mais alto nível; as regras de inferência dedutiva nem mesmo fornecem uma linha geral a seguir nessas provas. Antes, desempenham apenas um modesto papel de servirem como *critérios de legitimidade para os argumentos* oferecidos como provas: um argumento constitui uma prova matemática válida quando caminha dos axiomas até o teorema proposto por uma cadeia de passos inferenciais e cada um dos quais é válido de acordo com uma das regras da inferência dedutiva. Verificar se um dado argumento é uma prova válida neste sentido é bem uma tarefa puramente mecânica.

Não se chega ao conhecimento científico pela aplicação de algum procedimento de inferência indutiva a dados coligidos anteriormente mas, antes, pelo que é freqüentemente chamado "o método da hipótese", *i. e.*, pela invenção de hipóteses como tentativas de resposta ao problema em estudo e submissão dessas hipóteses à verificação empírica. Parte dessa verificação consistirá em apurar se a hipótese se ajusta ao que já fora estabelecido antes de sua formulação; outra parte, em derivar novas

implicações para submetê-las a observações e experiências apropriadas. Como já notamos anteriormente, uma verificação numerosa, com resultados inteiramente favoráveis, não estabelece a hipótese conclusivamente; fornece apenas um suporte mais ou menos sólido para ela. Portanto, embora não seja indutiva no sentido estrito que examinamos com certa minúcia, a investigação científica é *indutiva num sentido mais amplo*, na medida em que aceita hipóteses baseadas em dados que não fornecem para ela evidência dedutivamente conclusiva, mas lhe conferem apenas um "suporte indutivo" ou confirmação mais ou menos forte. As "regras de indução" devem ser concebidas, em analogia com as regras de dedução, como cânones de validação e não propriamente de descoberta. Longe de gerarem uma hipótese que dê uma razão de certos dados empíricos, essas regras pressupõem que além desses dados empíricos que formam as "premissas" de um "argumento indutivo" seja *dada* também a hipótese proposta como sua "conclusão". As regras de indução forneceriam então critérios para a legitimidade do argumento. De acordo com certas teorias da indução, essas regras determinariam a força do apoio fornecido pelos dados à hipótese e deveriam exprimir esse apoio em termos de probabilidades. Nos capítulos 3 e 4 vamos considerar os vários fatores que afetam o apoio indutivo e a aceitabilidade das hipóteses científicas.

## A VERIFICAÇÃO DE UMA HIPÓTESE: SUA LÓGICA E SUA FORÇA

### VERIFICAÇÕES EXPERIMENTAIS VS. NÃO-EXPERIMENTAIS

Passemos agora a um exame mais cerrado do raciocínio em que se baseiam as verificações científicas e das conclusões que podem ser tiradas de seus resultados. Como antes, usaremos o vocábulo 'hipótese' para nos referirmos a qualquer enunciado que esteja sendo verificado, não importando que vise descrever algum fato ou evento particular, ou que procure exprimir uma lei geral ou alguma proposição de natureza mais complexa.

Começemos com uma simples observação, à qual teremos que nos referir freqüentemente na discussão subsequente: as implicações de uma hipótese têm normalmente um caráter condicional; elas nos dizem que, sob determinadas condições, ocorrerá um resultado de uma certa espécie. Podem pois ser postas na forma explicitamente condicional seguinte:

- a) Se se realizarem condições da espécie  $C$ , então ocorrerá um acontecimento da espécie  $E$ .

Por exemplo, uma das hipóteses consideradas por Semmelweis conduziu à implicação

Se as pacientes do Primeiro Serviço derem à luz em posição lateral, então a mortalidade pela febre puerperal diminuirá.

E uma das implicações da sua hipótese final era

Se as pessoas que cuidam das mulheres no Primeiro Serviço lavarem as mãos numa solução de cal clorada, então a mortalidade pela febre puerperal diminuirá.

Analogamente, as implicações da hipótese de Torricelli incluía enunciados condicionais como

Se um barômetro de Torricelli for transportado a altitudes crescentes, então sua coluna de mercúrio diminuirá correspondentemente de comprimento.

As implicações de uma hipótese são pois normalmente implicações num duplo sentido: são enunciados implicados pela hipótese e são enunciados da forma se-então, que, em Lógica, são chamados condicionais ou implicações materiais.

Em cada um dos três exemplos que acabamos de citar, as condições  $C$  especificadas são tecnologicamente exequíveis e delas podemos portanto dispor à vontade; para realizá-las, temos que controlar um fator (posição durante o parto; ausência ou presença de matéria infectada; altitude da leitura barométrica) que, de acordo com a hipótese considerada, afeta o fenômeno em estudo (*i. e.*, incidência da febre puerperal nos dois primeiros casos; altura da coluna de mercúrio no terceiro). Implicações dessa natureza fornecem uma base para uma *verificação* ou *teste experimental*, que se resume em produzir as condições  $C$  e em observar se  $E$  ocorre como está implicado pela hipótese.

Muitas das hipóteses científicas são expressas em termos quantitativos. No caso mais simples, representam o valor de uma variável quantitativa como uma função matemática de outras variáveis. Assim é que a lei clássica,  $V = c.T/P$ , representa o volume de um gás como função de sua temperatura e de sua pressão ( $c$  é um fator constante). Um enunciado dessa espécie pode produzir uma infinidade de implicações verificáveis, que, no nosso exemplo, são da forma seguinte: se a temperatura do gás é  $T_1$  e sua pressão é  $P_1$ , então seu volume é  $c.T_1/P_1$ . Uma verificação experimental consiste então em variar os valores das variáveis "independentes" e em observar se a variável "dependente" toma os valores implicados pela hipótese.

Quando o controle experimental é impossível, quando as condições  $C$  mencionadas na implicação não podem ser realizadas ou variadas pelos meios tecnológicos disponíveis, então a hipótese deve ser verificada não experimentalmente, seja procurando, seja esperando os casos em que as condições especificadas são realizadas pela natureza e observando se  $E$ , de fato ocorre.



Diz-se às vezes que na verificação experimental de uma hipótese quantitativa somente uma das grandezas nela mencionadas é variada de cada vez, mantendo-se constantes todas as outras condições. Mas isso é impossível. Certo, ao verificarmos a lei dos gases a pressão pode ser variada mantendo-se a temperatura constante, ou vice-versa; mas várias outras circunstâncias mudarão durante o processo — talvez a umidade relativa, talvez a intensidade da iluminação, talvez o campo magnético no laboratório etc. — e certamente a distância entre o corpo gasoso e o Sol ou a Lua. Nem há razão para, tanto quanto possível, tentar manter constantes esses fatores se a experiência visa apenas verificar a lei dos gases como foi formulada. Pois a lei diz que o volume de um dado corpo gasoso fica completamente determinado por sua temperatura e por sua pressão. Ela implica portanto que todos os outros fatores são “irrelevantes para o volume”, no sentido de que esses fatores não afetam o volume do gás. Permitir que esses outros fatores variem é, portanto, explorar um domínio mais vasto de casos à procura das possíveis violações da hipótese que está sendo verificada.

Entretanto, a experimentação é usada em ciência não somente como um método de verificação, mas, também, como um método de descoberta; e neste outro contexto, como vamos ver agora, a exigência da constância de certos fatores é perfeitamente procedente.

O uso da experimentação como um método de verificação está exemplificado pelas experiências de Torricelli e de Périer, que foram realizadas justamente para verificar uma hipótese já proposta. Mas quando não existe ainda hipótese formulada, o cientista pode ser levado a começar por uma estimativa grosseira e usar então a experimentação como um guia para chegar a uma hipótese mais precisa. Ao estudar como um peso distende o fio metálico que o sustenta, o físico pode conjecturar que o alongamento depende do comprimento inicial do fio, da sua seção, da espécie de metal de que é feito e do peso do corpo suspenso. Pode então realizar experiências para determinar se esses fatores influenciam no alongamento (a experimentação serve então como um método de verificação) e, se assim for, o quanto eles afetam a “variável dependente” — isto é, qual a expressão matemática da dependência (a experimentação serve então como método de descoberta). Sabendo que o comprimento do fio varia também com sua temperatura, o experimen-

tador, antes de tudo, manterá a temperatura constante para eliminar a influência perturbadora desse fator (embora possa, mais tarde, variar sistematicamente a temperatura para averiguar se os valores de certos parâmetros, que compõem na expressão daquela função, dependem da temperatura); e nessas experiências a uma temperatura constante, variará os fatores que julgar relevantes, um de cada vez, mantendo os outros constantes. Apoiado nos resultados assim obtidos, ele tentará formular generalizações que expressem o alongamento em função do comprimento inicial, do peso etc.; poderá então prosseguir para construir uma fórmula mais geral, que represente o alongamento em função de todas as variáveis examinadas.

Em casos dessa natureza, a experimentação serve como método heurístico, como guia para a descoberta de hipóteses, o que dá sentido ao princípio de manter constantes todos os “fatores relevantes”, salvo um. Mas, naturalmente, o máximo que pode ser feito é manter constantes, salvo um, aqueles fatores que se acredita serem “relevantes” no sentido de afetarem o fenômeno em estudo: é sempre possível que tenham ficado despercebidos outros fatores, também importantes.

É uma das características notáveis da Ciência Natural, e uma de suas grandes vantagens metodológicas, que suas hipóteses admitem em geral verificação experimental. Mas não se pode dizer que seja característica distintiva de todas as Ciências Naturais e exclusivamente delas, formando uma linha divisória entre a Ciência Natural e a Ciência Social. Pois verificações experimentais também são usadas em Psicologia e, posto que mais raramente, em Sociologia. Além disso, o alcance da verificação experimental cresce firmemente com o avanço da tecnologia indispensável. De resto, nem todas as hipóteses nas Ciências Naturais são verificáveis experimentalmente. Por exemplo, a lei formulada por Leavitt e Shapley para as flutuações periódicas no brilho de um certo tipo de estrelas variáveis, as chamadas Cefeidas: quanto maior o período  $P$  de uma dessas estrelas, *i. e.*, o intervalo de tempo entre dois estados sucessivos de máximo brilho, maior é a sua luminosidade intrínseca; em expressão exata  $M = -(a + b \cdot \log P)$ , onde  $M$  é a magnitude da estrela, por definição inversamente proporcional ao seu brilho. A lei implica dedutivamente um sem-número de sentenças que serviriam para verificá-la, dando a grandeza de uma Cefeida correspondente ao valor particular do seu período, por exemplo, 5,3 dias ou 17,5 dias. Mas Cefeidas com esses períodos deter-

minados não podem ser produzidas à vontade; logo, a lei não pode ser verificada por experimentação. Antes, o astrônomo tem que olhar para o céu à procura de novas Cefeidas para averiguar se a grandeza e o período das que for encontrando obedecem ou não à lei presumida.

#### O PAPEL DAS HIPÓTESES AUXILIARES

Dissemos antes que implicações são “derivadas” ou “inferidas” da hipótese a ser verificada. Assim dito, porém, o que se obtém é somente uma grosseira indicação da relação que existe entre uma hipótese e as sentenças que servem para verificá-la. É bem verdade que em alguns casos pode-se inferir dedutivamente de uma hipótese certos enunciados condicionais que podem servir à sua verificação: a lei de Leavitt-Shapley, por exemplo, implica sentenças da forma ‘Se  $s$  é uma Cefeida com um período de tantos dias, então sua magnitude será tal e tal’. Mas, freqüentemente, a “derivação” de uma implicação confrontável com a experiência é menos simples e conclusiva. Tomemos, por exemplo, a hipótese semmelweisiana de que a febre puerperal é causada por contaminação com material infectado e consideremos a sua implicação que se o pessoal cuidando das pacientes lavar as mãos numa solução de sal clorada, então ficará reduzida a mortalidade pela febre. Este enunciado não decorre dedutivamente apenas da hipótese; pressupõe também a premissa que a cal clorada destruirá o material infectado, o que não é feito por água e sabão. Esta premissa, tacitamente admitida no argumento, desempenha o papel do que chamaremos *suposição auxiliar* ou *hipótese auxiliar* ao derivarmos da hipótese de Semmelweis a sentença que se confronta com os fatos. Logo, não estamos autorizados a asseverar aqui que, se a hipótese  $H$  é verdadeira, então deve ser também verdadeira a implicação  $I$ , mas somente que, se  $H$  e a hipótese auxiliar são ambas verdadeiras, então também o é  $I$ . Confiança em hipóteses auxiliares constitui, como veremos, a regra e não a exceção na verificação de hipóteses científicas; e isso tem uma consequência importante para decidirmos se um resultado desfavorável, *i. e.*, que mostra  $I$  ser falso, pode ser considerado como refutação da hipótese em investigação.

Se  $H$  é suficiente para implicar  $I$  e se os resultados empíricos mostram que  $I$  é falsa, então  $H$  deve ser qualificada

como falsa, de acordo com o argumento *modus tollens* (a). Mas quando  $I$  decorre de  $H$  em conjunção com outra ou mais hipóteses auxiliares  $A$ , o esquema (a) deve ser substituído pelo seguinte:

- b)  $\frac{\text{Se } H \text{ e } A \text{ são ambas verdadeiras, então } I \text{ também o é}}{\text{Mas (como mostra a evidência) } I \text{ não é verdadeira}} \\ H \text{ e } A \text{ não são ambas verdadeiras}$

Assim, da verificação de ser  $I$  falsa, podemos somente inferir que ou a hipótese  $H$  ou uma das suposições incluídas em  $A$  deve ser falsa; portanto, a verificação não fornece razões conclusivas para rejeitar  $H$ . Por exemplo, se a medida antisséptica tomada por Semmelweis não fosse acompanhada por um declínio da mortalidade, a hipótese semmelweisiana ainda assim poderia ser verdadeira: o resultado negativo da verificação poderia ser devido à ineficácia como antisséptico da solução de cal clorada.

E não se trata de mera possibilidade abstrata. O astrônomo Tycho Brahe, cujas observações apuradas fornecem a base empírica para as leis de Kepler, rejeitou a concepção copernicana de que a Terra se move em torno do Sol, dando, entre outras, as seguintes razões: se a hipótese de Copérnico fosse verdadeira, a direção segundo a qual uma estrela fixa seria vista por um observador terrestre à mesma hora do dia iria gradualmente mudando; pois no decurso da viagem anual da Terra em torno do Sol, a estrela iria sendo observada de uma posição que varia constantemente — assim como uma criança num carrossel observa um espectador de uma posição que vai mudando e portanto o vê segundo uma direção que também vai mudando. Mais exatamente, a reta que passa pelo observador e pela estrela variaria periodicamente entre dois extremos, correspondentes a posições opostas na órbita da Terra em torno do Sol. O ângulo subentendido por essas posições é a chamada paralaxe anual da estrela; quanto mais longe da Terra estiver a estrela, tanto menor será sua paralaxe. Brahe, que fez suas observações antes da introdução do telescópio, procurou com os seus instrumentos mais precisos uma confirmação desses “movimentos paraláticos” das estrelas fixas — e não achou nenhuma. Rejeitou por isso a hipótese de que a Terra se move. Mas a dedução de que as estrelas fixas tenham movimentos paraláticos observáveis só pode ser feita a partir da

hipótese de Copérnico com auxílio da suposição de que elas estejam tão próximas da Terra que seus movimentos paraláticos tenham amplitude suficiente para serem observados com os instrumentos. Brahe não ignorava que estava fazendo essa suposição auxiliar, mas acreditava ter razões para julgá-la verdadeira; daí sua rejeição da hipótese de Copérnico. Mais tarde ficou provado que Brahe se enganara: mesmo as estrelas fixas mais próximas estão muitíssimo mais longe do que ele supunha, de modo que as medidas de paralaxe exigem telescópios poderosos e técnicas ultraprecisas. Somente em 1838 veio a ser realizada a primeira medida universalmente aceita de uma paralaxe estelar.

A significação das hipóteses auxiliares vai além. Suponhamos que uma hipótese *H* seja verificada mediante uma implicação 'Se *C* então *E*' que decorreu de *H* e de um conjunto *A* de hipóteses auxiliares. A verificação se reduz então a constatar se *E* ocorre ou não numa situação em que, tanto quanto saiba o investigador, estão realizadas as condições *C*. Se de fato não fôr este o caso — se por exemplo o equipamento usado estiver defeituoso ou não for suficientemente sensível — então *E* pode não ocorrer mesmo que *H* e *A* sejam ambas verdadeiras. Por essa razão, entre as hipóteses auxiliares pressupostas pela verificação deve-se incluir a de que a situação inicial satisfaça às condições determinadas *C*.

Este ponto é particularmente importante quando a hipótese em exame já foi vitoriosa em provas anteriores e é parte essencial de um sistema mais vasto de hipóteses mutuamente ligadas, também apoiado por múltipla evidência. É provável que em tal caso seja feito um esforço para justificar a não-ocorrência de *E* mostrando que algumas das condições *C* não estavam satisfeitas.

Como exemplo, consideremos a hipótese de que as cargas elétricas têm uma estrutura atomística ou sejam todas múltiplos inteiros da carga do átomo de eletricidade, o elétron. Essa hipótese recebeu apoio impressionante das experiências feitas por R. A. Millikan, a partir de 1909. Nelas, as cargas elétricas de gotículas isoladas de um líquido tal como óleo ou mercúrio eram determinadas medindo as velocidades das gotículas ao caírem no ar sob a influência da gravidade ou ao subirem sob a influência de um campo elétrico oposto. Millikan achou que todas as cargas ou eram iguais a, ou eram pequenos múltiplos

de, uma certa carga mínima fundamental que ele, em conformidade com a hipótese, identificou como sendo a carga do elétron. Baseado em numerosas medidas cuidadosamente feitas encontrou como seu valor em unidades eletrostáticas  $4,774 \times 10^{-10}$ . Esta hipótese foi logo contestada pelo físico Ehrenhaft em Viena, que anunciou ter repetido a experiência de Millikan e encontrado cargas consideravelmente menores que a carga eletrônica determinada por este. Discutindo os resultados de Ehrenhaft,<sup>1</sup> Millikan sugeriu várias fontes prováveis de erros (*i. e.*, violações das condições experimentais) que poderiam dar conta dos resultados aparentemente discordantes de Ehrenhaft: evaporação durante a observação, fazendo diminuir o peso da gotícula; formação de um película de óxido nas gotículas de mercúrio usadas em algumas das experiências de Ehrenhaft; influência perturbadora das partículas de poeira suspensas no ar; afastamento da partícula em relação ao foco da luneta usada para observá-la; modificação da forma esférica pressuposta, quando as gotículas são muito pequenas; erros inevitáveis na cronometragem dos movimentos de pequenas partículas. Referindo-se a duas partículas aberrantes observadas por um outro investigador, que usara gotas de óleo, Millikan conclui: "A única interpretação possível então para o comportamento dessas duas partículas... era que... não eram esferas de óleo", mas partículas de poeira (pp. 170, 169). Millikan afirma ainda que os resultados de repetições mais precisas de sua própria experiência estavam todos em acordo essencial com o resultado anteriormente anunciado por ele. Ehrenhaft continuou por muitos anos a defender e multiplicar os resultados com que pretendia estabelecer a existência de cargas subeletrônicas; mas em geral esses resultados não puderam ser reproduzidos por outros físicos, de modo que a concepção atomística da carga elétrica foi mantida. O valor numérico achado por Millikan para a carga eletrônica, entretanto, foi mais tarde reconhecido como sendo ligeiramente pequeno; o desvio foi atribuído a um erro numa das hipóteses auxiliares do próprio Millikan: ele usara um valor demasiado pequeno para a viscosidade do ar nos cálculos que fizera com as informações fornecidas pela gotícula de óleo!

<sup>1</sup> Ver capítulo VIII de R. A. Millikan, *The Electron* (Chicago: The University of Chicago Press, 1917). Reimpressão com introdução de J. W. M. DuMond, 1963.

## VERIFICAÇÕES CRUCIAIS

As observações precedentes são importantes também para a idéia de verificação crucial, que pode ser rapidamente descrita como segue: suponhamos que  $H_1$  e  $H_2$  sejam duas hipóteses rivais sobre o mesmo assunto, igualmente bem apoiadas até agora pela experiência, sem que se possa dizer portanto que a evidência disponível favoreça mais a uma que a outra. Uma decisão entre as duas poderá então ser obtida se se conceber uma situação para a qual  $H_1$  e  $H_2$  predigam resultados incompatíveis; *i. e.*, se, para uma determinada condição  $C$  da experiência, decorrer da primeira hipótese a implicação 'Se  $C$  então  $E_1$ ' e da segunda hipótese 'Se  $C$  então  $E_2$ ', onde  $E_1$  e  $E_2$  sejam resultados que se excluem mutuamente. É de presumir que a realização da experiência refute uma das hipóteses e sustente a outra.

Um exemplo clássico é o experimento feito por Foucault para decidir entre duas concepções antagônicas sobre a natureza da luz. Uma, proposta por Huyghens e desenvolvida por Fresnel e Young, sustentava que a luz consiste em ondas transversais propagando-se num meio elástico, o éter; a outra era a concepção corpuscular de Newton, segundo a qual a luz é constituída de partículas extremamente pequenas que se movem em alta velocidade. Ambas as concepções permitiam concluir que os "raios" de luz obedecem às leis da propagação retilínea, da reflexão e da refração. Mas a concepção ondulatória implicava que a luz caminha mais depressa no ar que na água, enquanto que a corpuscular levava a conclusão oposta. Em 1850, Foucault conseguiu realizar um experimento em que as velocidades da luz no ar e na água eram diretamente comparadas. As imagens de duas fontes luminosas puntiformes eram formadas mediante raios luminosos que passavam através da água e através do ar, separadamente, antes de serem refletidos por um espelho girando em alta velocidade. Conforme a velocidade da luz fosse maior ou menor no ar que na água, a imagem da primeira fonte iria aparecer à direita ou à esquerda da imagem da segunda fonte. As implicações antagônicas confrontadas com a experiência podem portanto ser brevemente formuladas do seguinte modo: 'se se realiza o experimento de Foucault, então a primeira imagem aparece à direita da segunda imagem' e 'se se realiza o experimento de Foucault, en-

tão a primeira imagem aparece à esquerda da segunda imagem'. O experimento mostrou ser verdadeira a primeira dessas implicações.

Esse resultado foi amplamente considerado como uma refutação definitiva da concepção corpuscular e uma justificação decisiva da concepção ondulatória. Mas esse julgamento, embora perfeitamente natural, superestimava a força da experiência. Pois o enunciado de que a luz caminha mais depressa na água do que no ar não decorre simplesmente da concepção geral de que os raios de luz sejam correntes de partículas; isoladamente a suposição é demasiado indefinida para gerar qualquer consequência quantitativa. Implicações como as leis da reflexão e da refração e o enunciado sobre as velocidades da luz no ar e na água só poderão ser derivadas quando a concepção corpuscular for suplementada por suposições específicas sobre o movimento dos corpúsculos e sobre a influência exercida neles pelo meio ambiente. Tais suposições foram de fato formuladas explicitamente por Newton; e ao fazê-lo ele estabeleceu uma *teoria*<sup>2</sup> precisa sobre a propagação da luz. Dessa totalidade de princípios teóricos básicos é que decorrem as consequências experimentalmente verificáveis, tal como a averiguada por Foucault. Analogamente, a concepção ondulatória foi formulada como uma *teoria* baseada num conjunto de suposições específicas sobre ondas de éter nos diferentes meios ópticos; e novamente é este conjunto de princípios teóricos que implica as leis da reflexão e da refração e o enunciado de que a velocidade da luz é maior no ar do que na água. Conseqüentemente — admitindo a verdade de todas as outras hipóteses auxiliares — o resultado do experimento de Foucault só nos habilita a inferir que nem todas as suposições básicas ou princípios da teoria corpuscular podem ser verdadeiros — que pelo menos um deles deve ser falso. Mas não sabemos qual deles deve ser rejeitado. O que sabemos é que a concepção corpuscular da luz não pode ser mantida sem uma modificação de sua forma, sem introdução de um outro conjunto de leis básicas.

E, de fato, em 1905, Einstein propôs uma nova versão da concepção corpuscular na sua teoria dos quanta de luz, ou fótons, como vieram a ser chamados. A evidência citada por ele em apoio da sua teoria incluía um experimento realizado

2 A forma e a função das teorias serão melhor examinadas no capítulo 6.

por Lenard em 1903. Einstein caracterizou-o como um “segundo experimento crucial” para as concepções ondulatória e corpuscular, que segundo ele “eliminava” a clássica teoria ondulatória, na qual, em virtude dos trabalhos de Maxwell e Hertz, a noção de vibrações elásticas do éter fora substituída pela de ondas eletromagnéticas transversais. O experimento de Lenard, que envolvia o efeito fotoelétrico, podia ser considerado como verificação de duas implicações antagônicas quanto à energia luminosa que uma fonte puntiforme  $P$  pode transmitir, por unidade de tempo, a uma pequena tela colocada perpendicularmente aos raios de luz. Segundo a teoria clássica, essa energia diminuirá continuamente para zero à medida que a tela se afastar do ponto  $P$ ; na teoria fotônica ela deve ser pelo menos igual à transportada por um único fóton — a menos que nenhum fóton atinja a tela, caso em que a energia recebida será nula; não haverá portanto diminuição contínua para zero. O experimento de Lenard apoiou esta última alternativa. Mas, outra vez, a concepção ondulatória não foi definitivamente refutada; o resultado experimental mostrou apenas ser necessário modificar de *algum* modo o sistema das suposições básicas da teoria ondulatória. De fato, o que Einstein fez foi procurar modificar a teoria clássica o menos possível.<sup>3</sup> Em suma, um experimento do tipo aqui exemplificado não pode refutar estritamente uma de duas hipóteses rivais.

Mas também não pode “provar” ou estabelecer definitivamente a outra; pois, como foi observado de modo geral na 2.<sup>a</sup> parte do capítulo 2, as hipóteses ou teorias científicas não podem ser provadas conclusivamente por qualquer conjunto de dados disponíveis, por mais acurado e numeroso que ele seja. Isso é particularmente óbvio para hipóteses ou teorias que afirmam ou implicam leis gerais tanto para um processo que não é diretamente observável — como no caso das teorias rivais da luz — como para um fenômeno mais facilmente acessível à observação e à medida, como a queda livre. A lei de Galileu, por exemplo, refere-se a todos os casos de queda livre no passado, no presente e no futuro, ao passo que toda evidência relevante de que se dispõe em qualquer época está limitada ao conjunto de casos — todos eles pertencendo ao passado — em

<sup>3</sup> Este exemplo está discutido demoradamente no capítulo 8 de P. Frank, *Philosophy of Science* (Englewood Cliffs, N. J.: Prentice-Hall, Spectrum Books, 1962).

que medidas cuidadosas foram feitas. E mesmo que a lei de Galileu tivesse sido rigorosamente satisfeita em todos os casos observados, não se teria obviamente excluído a possibilidade de certos casos não observados no passado e no futuro não a seguirem. Em suma, a experiência mais cuidadosa e mais repetida não pode provar uma de duas hipóteses nem refutar a outra. Neste sentido estrito, uma experiência crucial é impossível na ciência.<sup>4</sup> Mas uma experiência como a de Foucault ou a de Lenard pode ser crucial num sentido menos rigoroso, mais prático: pode denunciar uma de duas teorias em conflito como seriamente inadequada e apoiar fortemente a teoria rival, exercendo, por isso, uma influência decisiva sobre o rumo subsequente tomado pela teoria e pela experimentação.

#### HIPÓTESES “AD HOC”

Quando a maneira particular de verificar uma hipótese  $H$  pressupõe enunciados auxiliares  $A_1, A_2, \dots, A_n$  — *i. e.*, quando estes são usados como premissas adicionais ao se derivar de  $H$  a implicação relevante  $I$  — então, como se viu antes, um resultado negativo, mostrando que  $I$  é falsa, diz apenas que  $H$  ou uma das hipóteses auxiliares deve ser falsa e que algo deve ser mudado nesse conjunto de sentenças para que ele se ajuste ao resultado da verificação, quer modificando ou abandonando completamente  $H$ , quer alterando o sistema de hipóteses auxiliares. Em princípio, pode-se sempre reter  $H$ , mesmo em face de resultados seriamente adversos, desde que se queira rever as hipóteses auxiliares de um modo suficientemente radical, ainda que trabalhoso. Mas a ciência não está interessada em proteger suas hipóteses ou suas teorias a qualquer preço — e tem boas razões para isso. Consideremos um exemplo. Antes de Torricelli introduzir sua concepção da pressão atmosférica, explicava-se o comportamento das bombas aspirantes admitindo que a natureza tem horror ao vácuo e que, portanto, a água sobe pelo cano da bomba para encher o vácuo criado pela elevação do êmbolo. A mesma idéia servia também para explicar di-

<sup>4</sup> Este é o famoso veredicto de Pierre Duhem, físico e historiador da ciência francês. Cf. Parte II, Cap. VI, de seu livro *The Aim and Structure of Physical Theory*, tradução de P. P. Wiener (Princeton University Press, 1954, Princeton), publicada originalmente em 1905. Prefaciando a tradução inglesa, Louis de Broglie inclui várias observações interessantes sobre a questão.

versos outros fenômenos. Quando Pascal escreveu a Périer pedindo-lhe para executar a experiência de Puy-de-Dôme, acrescentou que o resultado esperado seria uma refutação “decisiva” daquela concepção: “Se acontecer que a altura do azougue for menor no topo que na base da montanha... será necessário concluir que o peso e a pressão do ar são a única causa da suspensão do azougue e não a aversão ao vácuo: pois nenhuma dúvida existe de que há muito mais ar pesando sobre o pé de uma montanha do que sobre o seu cume e ninguém pode dizer que a natureza tenha mais horror ao vácuo ao pé de uma montanha do que no seu cume.”<sup>5</sup> Mas a última observação indica justamente a maneira de salvar a concepção de um *horror vacui* em face dos resultados de Périer. Pois estes só constituíam uma evidência decisiva contra aquela concepção admitindo também que a intensidade do horror não depende da altitude. Para reconciliar a evidência aparentemente contrária de Périer com a idéia de um *horror vacui* basta introduzir em vez daquela a hipótese auxiliar de que a aversão ao vácuo decresce quando a altitude aumenta. Essa suposição não é logicamente absurda nem patentemente falsa e sim discutível do ponto de vista científico. Pois seria introduzida *ad hoc* — *i. e.*, com o único propósito de salvar uma hipótese seriamente ameaçada por uma evidência adversa; não seria invocada para outros resultados achados e provavelmente não levaria a nenhuma implicação adicional. Ao contrário, a hipótese da pressão atmosférica conduz a outras implicações, como a mencionada por Pascal de que se um balão parcialmente inflado for transportado ao topo da montanha lá ele ficará mais inflado.

Nos meados do século XVII um grupo de físicos, os plenistas, sustentava que o vácuo não poderia existir na natureza; para salvar esta idéia face à experiência de Torricelli, um deles aventou a hipótese *ad hoc* de que no barômetro o mercúrio ficava suspenso no teto do tubo de vidro por um fio invisível chamado “*funiculus*”. De acordo com uma teoria inicialmente muito útil, desenvolvida no começo do século XVIII, uma substância chamada flogístico escapava dos metais durante a combustão. Esta concepção teve de ser abandonada quando Lavoisier mostrou experimentalmente que o produto final do pro-

<sup>5</sup> Extraído da carta de Pascal datada de 15 de novembro de 1647, em I. H. B. e A. G. H. Spiers, trad., *The Physical Treatises of Pascal* (Nova York: Columbia University Press, 1937), p. 101.

cesso de combustão pesava mais que o metal inicial. Ainda assim, alguns adeptos obstinados da teoria do flogístico procuraram reconciliá-la com os resultados de Lavoisier propondo a hipótese *ad hoc* de que o flogístico teria peso negativo, de modo que sua perda aumentaria o peso do resíduo.

Não esqueçamos, entretanto, que se, com o recuo do tempo, torna-se aparentemente fácil recusar certas sugestões do passado como hipóteses *ad hoc*, pode ser muito difícil julgar uma hipótese proposta num contexto contemporâneo. Não existe de fato critério preciso para caracterizar as hipóteses *ad hoc*, se bem que as questões sugeridas anteriormente forneçam alguma orientação: a hipótese é proposta apenas com o fim de salvar uma concepção corrente contra a evidência adversa, ou dá razão também a outros fenômenos gerando implicações significativas? Importa finalmente observar que, introduzindo hipóteses restritivas para reconciliar certa concepção básica com uma nova evidência, o sistema resultante poderá tornar-se tão complexo que terá de ser abandonado quando uma concepção alternativa mais simples for proposta.

#### VERIFICABILIDADE EM PRINCÍPIO E SIGNIFICAÇÃO EMPÍRICA

Como mostra a discussão precedente, nenhum enunciado ou conjunto de enunciados *T* pode, de modo significativo, ser proposto como uma hipótese ou teoria científica a menos que seja suscetível de uma verificação empírica objetiva, pelo menos “em princípio”. Isso equivale a dizer que deve ser possível derivar de *T* no sentido lato considerado certas implicações da forma ‘se se realizarem as condições *C*, então ocorrerá o resultado *E*’; mas essas condições não precisam ser realizadas ou tecnologicamente realizáveis na época em que *T* é proposto ou entrevisto. Tomemos, por exemplo, a hipótese de que a distância percorrida em *t* segundos por um corpo caindo livremente a partir do repouso na vizinhança da superfície da Lua é  $s = 89t^2$  cm. Dela decorre dedutivamente que as distâncias percorridas por esse corpo em 1, 2, 3, ... segundos serão 89, 376, 801, ... centímetros. A hipótese é portanto verificável em princípio, embora seja atualmente impossível realizar a verificação descrita.

Mas se um enunciado ou um conjunto de enunciados não for verificável pelo menos em princípio, isto é, em outras pala-

bras, se não possuir implicação alguma confrontável com a experiência, então não poderá ser proposto ou acolhido como uma teoria ou hipótese científica, pois nenhum dado empírico pode estar de acordo ou em desacordo com ele. Neste caso, não tem apoio algum nos fenômenos empíricos; falta-lhe, como diremos, significação empírica. Considere-se, por exemplo, a opinião de que a mútua atração gravitacional dos corpos físicos seja uma manifestação de certos "apetites ou tendências naturais" inerentes a esses corpos, como o amor, e que tornam "inteligíveis e possíveis os movimentos naturais deles".<sup>6</sup> Que implicações podem ser derivadas dessa interpretação dos fenômenos gravitacionais? Atendendo a certos aspectos característicos do amor no sentido que nos é familiar, essa opinião parece implicar que a afinidade gravitacional seria um fenômeno seletivo: nem todo par de corpos físicos se atrairia mutuamente. Nem seria a intensidade da afinidade de um corpo por um outro sempre igual à deste por aquele, nem dependeria de um modo significativo das massas dos corpos ou das distâncias entre eles. Como todas essas conseqüências são sabidamente falsas, o sentido da concepção considerada não pode ser tal que as implique. Certo, ela pretende apenas que as afinidades naturais subjacentes à atração gravitacional são como o amor. Mas, como se pode ver agora claramente, essa asserção é tão evasiva que exclui a derivação de qualquer conseqüência confrontável com a experiência. Nenhum fato empírico pode ser invocado por esta interpretação; nenhum dado observacional ou experimental pode confirmá-la ou refutá-la. Logo, em particular, não tem implicação concernente aos fenômenos gravitacionais e, portanto, não pode explicar esses fenômenos ou torná-los "inteligíveis". Para esclarecê-lo ainda melhor, suponhamos que alguém proponha a tese alternativa de que os corpos físicos se atraem gravitacionalmente uns aos outros e tendem a se mover uns para os outros em virtude de uma tendência natural semelhante ao ódio, de uma inclinação natural para colidir com os outros objetos físicos, destruindo-os. Haverá maneira concebível de emitir parecer sobre essas opiniões conflitantes? É claro que não. Nenhuma delas conduz a qualquer implicação verificável; nenhuma discriminação empírica entre elas é possível. E não se diga que a questão é "demasiado profunda" para ser decidida científica-

6 Esta idéia é exposta, por exemplo, em J. F. O'Brien, "Gravity and Love as Unifying Principles", *The Thomist*, vol. 21 (1958), 184-93.

mente: as duas interpretações verbalmente antagônicas simplesmente não fazem asserção alguma. Portanto, não faz sentido perguntar se são verdadeiras ou falsas e é por isso que a investigação científica não pode decidir entre elas. São *pseudo-hipóteses*: são hipóteses apenas em aparência.

Não se esqueça, entretanto, que uma hipótese científica em geral só conduz a implicações verificáveis quando combinadas com suposições auxiliares apropriadas. Assim é que a concepção de Torricelli da pressão exercida pelo oceano de ar só conduz a implicações verificáveis precisas supondo que a pressão do ar obedece a leis análogas à da pressão da água; é o pressuposto, por exemplo, da experiência de Puy-de-Dôme. Para julgarmos se uma hipótese proposta tem ou não significação empírica, devemos indagar portanto quais hipóteses auxiliares estão explícita ou tacitamente pressupostas no contexto dado e se, conjuntamente com estas, a hipótese dada admite implicações verificáveis (além das que decorrem diretamente das suposições auxiliares).

De resto, freqüentemente uma idéia científica é introduzida sob forma que oferece apenas possibilidades limitadas e frágeis de verificação; com bases nesses testes iniciais irá adquirindo gradativamente uma forma mais definida, mais precisa e verificável de um modo mais diversificado.

Por estas razões e por outras que nos levariam muito longe,<sup>7</sup> não é possível traçar uma linha divisória entre hipóteses e teorias que são verificáveis em princípio e as que não o são. Mas embora seja algo vaga, a distinção mencionada é importante para avaliar a significação do potencial explanatório das hipóteses e teorias propostas.

7 A questão é levada adiante em outro volume desta coleção: William Alston, *Philosophy of Language*, cap. 4. (N. do E.: Traduzido para o português e publicado, sob o título *Filosofia da Linguagem*, por Zahar Editores, Rio, 1969.) Uma discussão mais completa e mais técnica se encontra no ensaio "Empiricist Criteria of Cognitive Significance: Problems and Changes", em C. G. Hempel, *Aspects of Scientific Explanation* (Nova York: The Free Press, 1965).

## CRITÉRIOS DE CONFIRMAÇÃO E ACEITABILIDADE

Como já notamos anteriormente, um resultado favorável das verificações, ainda que numerosas e exatas, não fornece prova conclusiva para uma hipótese, mas apenas o apoio de uma evidência mais ou menos forte, que é a confirmação dela. Quão forte é esse suporte é questão que depende de várias características da evidência, que vamos agora examinar.

Na avaliação do que poderia ser chamado a aceitabilidade ou credibilidade científica de uma hipótese, um dos fatores mais importantes a ser considerado é, naturalmente, a resistência do apoio que lhe dá a extensão e o caráter da evidência relevante disponível. Mas não é o único, como veremos também neste capítulo.

Inicialmente, falaremos algo intuitivamente do que torna um apoio mais ou menos forte, do que aumenta muito ou pouco uma confirmação, do que faz crescer ou decrescer a aceitabilidade de uma hipótese e de questões semelhantes. No fim do capítulo, examinaremos rapidamente se os conceitos aqui introduzidos admitem ou não uma interpretação quantitativa precisa.

### QUANTIDADE, VARIEDADE E PRECISÃO DA EVIDÊNCIA SUSTENTADORA

Na ausência de evidência desfavorável, a confirmação de uma hipótese será normalmente considerada como crescente com o número dos resultados favoráveis nas verificações. Por exemplo, cada nova variável Cefeida encontrada com período e luminosidade conforme à lei de Leavitt-Shapley será considerada como suporte adicional à evidência da lei. Mas, falando

de modo geral, o aumento em confirmação trazido por um novo caso favorável vai-se tornando menor à medida que cresce o número de casos favoráveis previamente estabelecidos. Havendo já milhares de casos confirmatórios, a adição de mais um aumenta pouco a confirmação.

É preciso porém acrescentar: se o novo caso for obtido pelo mesmo tipo de verificação que os casos anteriores. Pois se resultar de um outro tipo, a confirmação da hipótese ficará majorada de um modo significativo. A confirmação depende não somente da quantidade de evidência favorável, mas também da sua variedade: quanto maior for esta, tanto mais forte o apoio resultante.

Suponhamos, por exemplo, que a lei em questão seja a de Snell, segundo a qual um raio de luz ao passar de um meio óptico para outro é retratado na superfície de separação de tal modo que a relação  $\frac{\sin \alpha}{\sin \beta}$  entre os senos dos ângulos de incidência e de refração é uma constante para qualquer par de meios. E suponhamos que tenham sido feitos três conjuntos de 100 medidas cada um. No primeiro, os meios e os ângulos de incidência foram mantidos constantes: em cada experimento o raio passava do ar para a água com um ângulo de incidência de  $30^\circ$  e o ângulo de refração era medido, tendo sido encontrado o mesmo valor para todos os casos. No segundo conjunto, os meios eram mantidos os mesmos, mas o ângulo  $\alpha$  variava, tendo sido encontrado o mesmo valor para  $\frac{\sin \alpha}{\sin \beta}$  em todas as medidas. No terceiro conjunto, tanto os meios como o ângulo  $\alpha$  variavam: 25 pares diferentes de meios eram examinados e para cada par quatro valores diferentes do ângulo  $\alpha$  eram usados, tendo a medida de  $\beta$  mostrado que para cada par de meios os quatro valores associados de  $\frac{\sin \alpha}{\sin \beta}$  eram iguais, tendo as relações associadas com diferentes pares diferentes valores.

Cada um desses conjuntos constitui uma classe de resultados favoráveis à lei de Snell. Todas as três classes têm a mesma extensão. Mas a terceira, que oferece a maior variedade de casos, será considerada como um apoio muito mais forte que a segunda, e esta como um apoio mais forte que a primeira. Poderia parecer que assim se julga porque no primeiro conjunto não se fez outra coisa senão repetir o mesmo experimento, de modo que o resultado positivo em todos os 100 casos não sustenta a hipótese com mais força do que já fazia o



resultado dos dois primeiros casos do conjunto. Mas isso é um erro. O que se repetiu 100 vezes não foi literalmente o mesmo experimento, pois as sucessivas execuções diferiam em vários aspectos: certamente a distância do aparelho à Lua, talvez a temperatura da fonte de luz ou a pressão atmosférica etc. O que se “manteve o mesmo” foi simplesmente certo conjunto de condições, entre as quais determinado ângulo de incidência e um particular par de meios. E ainda que as primeiras medidas nessas circunstâncias tivessem fornecido o mesmo valor para  $\text{sen } \alpha / \text{sen } \beta$ , não é logicamente impossível que as subseqüentes, nas mesmas circunstâncias, fornecessem outros valores. A repetição de medidas com resultado favorável aumentou de fato a confirmação da hipótese, embora muito menos do que fizeram as medidas executadas numa variedade mais ampla de casos.

Em geral, as teorias científicas estão apoiadas por uma variedade considerável de fatos. Lembremo-nos da confirmação encontrada por Semmelweis para a sua hipótese final. Lembremo-nos sobretudo da impressionante confirmação recebida pela teoria newtoniana do movimento e da gravitação: dela são deduzidas as leis de queda livre, do pêndulo simples, do movimento da Lua em torno da Terra e dos planetas em torno do Sol, das órbitas dos cometas e dos satélites feitos pelo homem, do movimento relativo das estrelas duplas, dos fenômenos das marés e de muitos outros fenômenos. Todos os resultados observacionais e experimentais que estão de acordo com essas leis trazem apoio à teoria de Newton.

A razão pela qual a diversidade de evidência é um fator tão importante na confirmação de uma hipótese pode ser sugerida pela seguinte consideração, relativa ao nosso exemplo das várias verificações da lei de Snell. A hipótese em questão — que vamos designar por  $S$  — se refere a *todos* os pares de meios ópticos e afirma que para um par qualquer a relação  $\text{sen } \alpha / \text{sen } \beta$  tem o mesmo valor para *todos* os associados ângulos de incidência e de refração. Quanto mais distribuídas forem as experiências sobre essas diversas possibilidades, tanto maior será a probabilidade de achar um caso desfavorável se  $S$  for falsa. Pode-se dizer que o primeiro conjunto de experimentos examina uma hipótese mais particular  $S_1$ , segundo a qual  $\text{sen } \alpha / \text{sen } \beta$  tem o mesmo valor toda vez que o raio luminoso passa do ar para a água com uma incidência de  $30^\circ$ . Portanto, se  $S_1$  fosse verdadeira mas  $S$  falsa, o primeiro tipo de

teste não o revelaria. Analogamente, o segundo conjunto de experimentos verifica uma hipótese  $S_2$ , que afirma distintamente mais do que  $S_1$  mas não tanto quanto  $S$  — a saber, que  $\text{sen } \alpha / \text{sen } \beta$  tem o mesmo valor para todos os ângulos  $\alpha$  e seus correspondentes ângulos  $\beta$  quando a luz passa do ar para a água. Aqui também, se  $S_2$  fosse verdadeira mas  $S$  falsa, o segundo tipo de teste não o revelaria. Pode-se, pois, dizer que o terceiro conjunto de experimentos verifica a lei de Snell mais completamente que os outros dois e que por isso um resultado dele, inteiramente favorável, fornece um apoio mais forte para ela.

Mas não estamos exagerando a importância da evidência diversificada? Afinal de contas, um aumento de variedade pode às vezes ser considerado como insignificante, justamente por ser incapaz de elevar a confirmação da hipótese. Assim é que no nosso primeiro conjunto de verificações da lei de Snell a variedade poderia ter sido aumentada realizando a experiência em locais diferentes, sob diferentes fases da Lua ou por experimentadores com olhos de diferentes cores. Mas procurar tais variações poderia ser uma atitude razoável se nada soubéssemos ou soubéssemos extremamente pouco sobre os fatores capazes de afetar os fenômenos ópticos. Na época da experiência de Puy-de-Dôme, por exemplo, os experimentadores não tinham idéia precisa sobre quais fatores, além da altitude, poderiam afetar o comprimento da coluna de mercúrio no barômetro; quando o cunhado de Pascal e seus associados repetiram a experiência de Torricelli no alto da montanha e acharam que a coluna de mercúrio diminuía mais de oito centímetros, decidiram logo refazer a experiência em diferentes lugares e em diferentes épocas, mudando as circunstâncias de vários modos. É o próprio Périer quem o diz em seu relatório: “Procurei a mesma coisa ainda cinco vezes, com grande precisão, em diferentes locais no alto da montanha; no interior da capela que lá se acha, fora dela, em pleno vento e abrigado dele, em bom tempo e durante a chuva e o nevoeiro que às vezes caíam sobre nós, tomando sempre a precaução de eliminar o ar no tubo; em todas essas circunstâncias achou-se a mesma altura de azougue...; este resultado nos satisfaz plenamente.”<sup>1</sup>

O julgamento, portanto, de certas maneiras de variar a evidência como importantes e de outras como insignificantes

1 W. F. Magie, org., *A Source Book in Physics*, p. 74.

baseia-se em pressupostos — talvez resultantes de pesquisas anteriores — quanto à influência provável dos fatores a serem variados sobre o fenômeno a que se refere a hipótese.

E, às vezes, quando esses pressupostos são contestados e são por isso introduzidas variações experimentais até então consideradas insignificantes, uma descoberta revolucionária pode sobrevir. É o que aconteceu com a recente derrubada de um dos pressupostos básicos da Física, o princípio da paridade, segundo o qual as leis da natureza são imparciais entre a direita e a esquerda: se um processo físico é possível (*i. e.*, se sua ocorrência não está excluída pelas leis da natureza), também o é sua imagem por reflexão (o processo visto num espelho), onde a direita e a esquerda são trocadas. Em 1956, Yang e Lee, que procuravam a razão de alguns resultados experimentais enigmáticos sobre partículas elementares, sugeriram arrojadamente que o princípio de paridade fica violado em certos casos; o que não tardou a ser claramente confirmado pela experiência.

As vezes um teste pode ser feito de modo mais rigoroso e o seu resultado mais ponderável, aumentando a precisão dos processos de observação e de medida que ele usa. Assim é que a hipótese da identidade das massas de inércia e gravitacional — justificada, por exemplo, pela igualdade da aceleração em queda livre de todos os corpos — foi recentemente reexaminada com métodos extremamente precisos; e os resultados, que até agora sustentaram a hipótese, reforçaram enormemente a confirmação dela.

#### CONFIRMAÇÃO POR “NOVAS” IMPLICAÇÕES

Quando uma hipótese se destina a explicar certos fenômenos observados, será naturalmente formulada de tal modo que implique a ocorrência deles; logo o próprio fato a ser explicado constituirá evidência confirmatória dela. Mas é altamente desejável para uma hipótese científica que seja também confirmada por “nova” evidência, por fatos que não eram conhecidos ou não eram levados em conta no momento da formulação. E muitas hipóteses e muitas teorias em Ciência Natural tiveram, com efeito, a confirmação consideravelmente robustecida por esses fenômenos “novos”.

A questão fica bem esclarecida por um exemplo que remonta ao último quarto do século XIX, quando os físicos procuravam as regularidades inerentes às raias que se encontravam em profusão nos espectros de emissão e de absorção dos gases. Em 1855, um mestre-escola suíço, J. J. Balmer, propôs uma fórmula que ele pensava expressar a regularidade dos comprimentos de onda correspondentes às raias de emissão do espectro de hidrogênio. Baseado nas medidas feitas por Angström de quatro raias desse espectro, Balmer achou a seguinte fórmula geral:

$$\lambda = b \frac{n^2}{n^2 - 2^2}$$

onde  $b$  é uma constante cujo valor Balmer determinou empiricamente como sendo 3645,6 Å e  $n$  é um inteiro maior que 2. Para  $n = 3, 4, 5$  e  $6$ , essa fórmula fornece valores para  $\lambda$  que concordam estreitamente com os medidos por Angström; Balmer porém confiava que os outros valores também representassem comprimentos de onda de raias que ainda não tinham sido medidos — e nem mesmo encontrados — no espectro de hidrogênio. (Na realidade, Balmer desconhecia que outras raias já tinham sido observadas e medidas.) Atualmente, já são conhecidas 35 raias consecutivas na chamada série de Balmer e todas elas têm comprimentos de onda em boa concordância com os valores previstos pela fórmula de Balmer.<sup>2</sup>

Não é de surpreender que uma tão notável confirmação por “novos” fatos previstos com exatidão aumente a crença que tínhamos na hipótese. Entretanto, surge aqui um enigma. Suponhamos, por um momento, que a fórmula de Balmer só tivesse sido proposta depois que as 35 raias atualmente registradas na série tivessem sido cuidadosamente medidas. Neste caso fictício, ter-se-ia obtido exatamente o mesmo resultado experimental que o que de fato o foi por medidas feitas, em parte antes, e em muito maior parte depois, do estabelecimento da fórmula. Deveria essa fórmula ser considerada como menos bem confirmada no caso fictício que no caso real? Poderia

<sup>2</sup> Um relato lúcido e completo, de onde se extraiu este breve resumo, encontra-se no cap. 33 de G. Holton e D. H. D. Roller, *Foundations of Modern Physical Science* (Reading, Mass.: Addison-Wesley Publishing Co., 1958).

parecer razoável respondermos afirmativamente pela seguinte razão: é sempre possível construir uma hipótese que esteja de acordo com um conjunto *qualquer* de dados quantitativos, do mesmo modo que é sempre possível desenhar uma curva regular passando por um número finito de pontos. Assim sendo, não há nada de surpreendente que uma fórmula como a de Balmer possa ser estabelecida no nosso caso fictício. O que é notável e dá crédito a uma hipótese é que ela se ajuste aos casos “novos” como sucedeu com a de Balmer no caso real. Mas a isso se poderia replicar que, mesmo no caso fictício, a fórmula de Balmer não é simplesmente uma hipótese arbitrária capaz de se ajustar aos 35 comprimentos de onda medidos; antes, é uma hipótese de simplicidade formal impressionante; e é o fato mesmo de ela conter essas 35 medidas numa fórmula matematicamente simples que lhe dá muito maior credibilidade que a que seria atribuída a uma fórmula muito complexa também se ajustando aos mesmos dados. Para dizê-lo em linguagem geométrica: se se puder fazer passar uma curva simples pelos pontos representativos dos resultados de medidas, tem-se muito maior confiança em haver descoberto uma lei geral subjacente do que se a curva for complicada, sem uniformidade perceptível. (Adiante, neste capítulo, retomaremos esta questão da simplicidade.) De resto, do ponto de vista da Lógica, a firmeza do apoio que uma hipótese recebe de um certo conjunto de dados só depende do que é afirmado pela hipótese e do que sejam os dados: saber se foi a hipótese ou o conjunto dos dados que se apresentou em primeiro lugar é questão puramente histórica e por isso não pode ser levado em conta na confirmação da hipótese. Esta é a concepção certamente implícita nas teorias estatísticas da verificação, recentemente desenvolvidas, e também em algumas análises lógicas contemporâneas da confirmação e da indução, como veremos brevemente ao fim do capítulo.

#### O APOIO TEÓRICO

O apoio que pode ser reclamado para uma hipótese não precisa ser inteiramente do tipo indutivo que consideramos até agora: não precisa consistir inteiramente — ou mesmo parcialmente — de dados que confirmam as conseqüências derivadas

delas. O apoio pode vir também “de cima”, isto é, de hipóteses mais amplas ou de teorias que implicam a hipótese considerada e que têm o apoio de uma evidência independente. Para exemplificar, consideremos novamente a lei hipotética para a queda livre na Lua  $s = 89 t^2$  cm. Embora nenhuma de suas conseqüências tenha sido jamais verificada por experiência na Lua, tem entretanto um forte *apoio teórico*, pois decorre dedutivamente da teoria newtoniana do movimento e da gravitação (fortemente apoiada por uma evidência altamente diversificada) juntamente com a informação de que o raio e a massa da Lua são 0,272 e 0,0123 dos da Terra e que a aceleração de gravidade na vizinhança da superfície da Terra é de 981 centímetros por segundo por segundo.

Por outro lado, a confirmação de uma hipótese que já tem apoio indutivo pode ser reforçada se receber “de cima” um apoio dedutivo. É o que aconteceu, por exemplo, com a fórmula de Balmer. Balmer entreviu a possibilidade de o espectro de hidrogênio conter outras séries de raias, cujos comprimentos de onda obedeceriam a uma generalização da sua fórmula, a saber

$$\lambda = b \frac{n^2}{n^2 - m^2}$$

onde  $m$  é um inteiro positivo e  $n$  qualquer inteiro maior que  $m$ . Para  $m = 2$  recai-se na fórmula já conhecida;  $m = 1, 3, 4, \dots$  determinariam novas séries de raias. E, de fato, a existência de séries correspondentes a  $m = 1, 3, 4$  e  $5$  foi estabelecida posteriormente pela exploração experimental das partes invisíveis infra-vermelho e ultra-violeta do espectro de hidrogênio. Chegou-se assim a um forte apoio empírico para uma hipótese mais geral que implicava a fórmula original de Balmer como caso especial, fornecendo portanto um apoio dedutivo para ela. E em 1913 surgiu um apoio dedutivo por uma teoria, quando Bohr mostrou que a fórmula generalizada — e portanto a original de Balmer — decorria da sua teoria do átomo de hidrogênio. Essa dedução reforçou enormemente o apoio à fórmula de Balmer, porque a colocou no contexto das concepções quânticas desenvolvidas por Planck, Einstein e Bohr, que estavam apoiadas por diversas evidências além das medidas

espectroscópicas que forneceram suporte indutivo à fórmula de Balmer.<sup>3</sup>

Correlativamente, a credibilidade de uma hipótese será atingida adversamente se entrar em conflito com as hipóteses ou teorias já aceitas como bem confirmadas. No *New York Medical Record*, de 1877, um médico de Iowa, Dr. Caldwell, relatando uma exumação a que teria testemunhado, assegurou que o cabelo e a barba de um homem que fora enterrado barbeado e de cabelos cortados arrebentaram o caixão e cresceram através das fendas.<sup>4</sup> Ainda que apresentado por uma testemunha presuntiva, a afirmação será rejeitada sem muita hesitação porque colide com os fatos bem estabelecidos sobre o crescimento do cabelo humano depois da morte.

Analogamente, a nossa discussão anterior da pretensão de Ehrenhaft de ter experimentalmente estabelecido a existência de cargas subelétricas mostra como o conflito com uma teoria amplamente sustentada milita contra uma hipótese.

Entretanto, o princípio a que nos estamos referindo deve ser aplicado com discricção e com restrições. Senão, poderia ser usado para proteger qualquer teoria contra qualquer descoberta que lhe fosse contrária. Ora, a ciência não está interessada em defender concepções favoritas contra as evidências que possam lhes ser contrárias. Em virtude mesmo do seu objetivo, está sempre pronta a renunciar a uma hipótese já aceita ou pelo menos a modificá-la. Mas para desalojar uma teoria bem estabelecida exigem-se razões ponderáveis; exige-se sobretudo que os resultados experimentais adversos possam ser repetidos. E mesmo quando “efeitos” experimentalmente reproduzíveis entram em conflito com uma teoria robusta e fecunda, esta poderá continuar a ser usada nos contextos em que não crie dificuldades. Foi o que Einstein reconheceu quando, ao propor a teoria dos quanta de luz para explicar fenômenos como o efeito fotoelétrico, observou que para tratar da reflexão, da refração e da polarização da luz a teoria eletromagnética era provavelmente insubstituível; e de fato ainda é usada neste contexto. Uma teoria de largo âmbito, já triunfante em muitos domínios, só será abandonada normalmente quando uma outra teoria ainda mais

<sup>3</sup> Para detalhes, ver Holton e Roller, *Foundations of Modern Physical Science*, cap. 34 (especialmente a seção 7).

<sup>4</sup> B. Evans, *The Natural History of Nonsense* (Nova York: Alfred A. Knopf, 1946), p. 133.

satisfatória se apresentar — mas boas teorias são difíceis de aparecer.<sup>5</sup>

#### SIMPLICIDADE

Outro aspecto que afeta a aceitabilidade de uma hipótese é a sua simplicidade comparada com a de hipóteses alternativas que justificam o mesmo fenômeno.

Consideremos uma ilustração esquemática. Suponhamos que a investigação de certo tipo de sistemas físicos (Cefeidas, molas elásticas, líquidos viscosos ou o que for) sugira que certa característica quantitativa,  $n$ , desses sistemas possa ser uma função de outra característica  $u$  e, assim, determinada univocamente por  $u$  (do mesmo modo que o período de um pêndulo é função do seu comprimento). Procuremos portanto construir uma hipótese enunciando a forma exata da função tendo constatado muitos casos em que  $u$  tinha os valores 0, 1, 2, ou 3 e correspondentemente  $n$  os valores 2, 3, 4 e 5. Suponhamos ainda que não tivéssemos pressuposto algum sobre qual poderia ser a forma da relação funcional e que as seguintes três hipóteses tenham sido propostas à luz dos nossos dados:

$$\begin{aligned} H_1: n &= u^4 - 6u^3 + 11u^2 - 5u + 2 \\ H_2: n &= u^5 - 4u^4 - u^3 + 16u^2 - 11u + 2 \\ H_3: n &= u + 2 \end{aligned}$$

Cada uma dessas hipóteses se ajusta aos dados: para cada um dos quatro valores examinados de  $u$  cada uma delas faz corresponder exatamente o valor achado associado. Em linguagem geométrica: traduzindo cada uma das três hipóteses por um gráfico, as três curvas obtidas contêm cada uma os quatro pontos dados (0,2), (1,3), (2,4) e (3,5).

Não havendo, como foi admitido, qualquer pressuposto que nos indicasse uma escolha diferente, a hipótese teria a nossa preferência, por ser mais simples que  $H_1$  e  $H_2$ . Isso sugere que, de duas hipóteses em acordo com os mesmos dados

<sup>5</sup> Este ponto está tratado de modo sugestivo, usando como exemplo a teoria flogística da combustão, no capítulo 7 de J. B. Conant, *Science and Common Sense*. Uma concepção geral estimulante de como nascem e caem as teorias científicas está desenvolvida em T. S. Kuhn, *The Structure of Scientific Revolutions* (Chicago: The University of Chicago Press, 1962).

e que não diferem no que ainda possa ser relevante para a confirmação, a mais simples seria a mais bem aceita.

A importância da simplicidade para teorias inteiras é frequentemente exemplificada com o destronamento da concepção geocêntrica do sistema solar, herdada de Ptolomeu, pela heliocêntrica de Copérnico. A concepção de Ptolomeu era engenhosa e rigorosa, mas “suntuosamente complicada por círculos principais e subcírculos, com diferentes raios, velocidades, inclinações e diferentes valores e direções de excentricidade”.<sup>6</sup>

Inegavelmente, existe em ciência uma preferência marcante pelas teorias e hipóteses mais simples, mas não é fácil formular critérios de simplicidade num sentido relevante que justifiquem essa preferência.

Qualquer critério de simplicidade teria que ser objetivo, é claro; não se poderia referir a uma sedução intuitiva ou à facilidade com que uma hipótese ou teoria possa ser compreendida ou lembrada etc., pois estes são fatores que variam de pessoa a pessoa. No caso de hipóteses quantitativas como  $H_1$ ,  $H_2$ ,  $H_3$ , poder-se-ia pensar em julgar da simplicidade observando-se os gráficos correspondentes. Em coordenadas retangulares, o gráfico de  $H_3$  é uma reta, enquanto os de  $H_1$  e  $H_2$  são curvas muito mais complicadas passando pelos quatro pontos dados. Mas este critério parece arbitrário. Pois se usarmos coordenadas polares, representando  $u$  pelo ângulo diretor e  $n$  pelo raio vector, então  $H_3$  determinaria uma espiral, enquanto a função determinando uma “simples” reta seria bastante complicada.

Quando, como no nosso exemplo, todas as funções estão expressas por polinômios, a ordem do polinômio poderia servir como índice da complexidade;  $H_2$  seria mais complexa que  $H_1$ , por sua vez mais complexa que  $H_3$ . Mas outros critérios são necessários quando funções de outra natureza, como as trigonométricas, devam ser também consideradas.

Sugere-se às vezes que o número de *suposições básicas* seja um indicador da complexidade de uma teoria. Mas suposições podem ser combinadas e parceladas de vários modos; não

6 E. Rogers, *Physics for the Inquiring Mind* (Princeton: Princeton University Press, 1960). Os capítulos 14 e 16 dessa obra oferecem uma esplêndida descrição e apreciação dos dois sistemas; dão mais substância à proclamada superioridade em simplicidade do esquema de Copérnico, mas mostram também como ele era capaz de dar a razão de vários fatos, já conhecidos na época de Copérnico, que o sistema de Ptolomeu não podia explicar.

há maneira inequívoca de contá-las. Por exemplo, dizer que para qualquer par de pontos existe exatamente uma reta passando por eles pode ser contado como expressão de duas suposições em vez de uma: a de que existe pelo menos uma tal reta e a de que existe no máximo uma. E mesmo que houvesse acordo na contagem, as diferentes suposições básicas ainda poderiam diferir pela complexidade, devendo portanto ser pesadas em vez de contadas. Observações semelhantes se aplicariam à sugestão de que o número de *conceitos básicos* usados numa teoria poderia servir como índice de sua complexidade.

A questão dos critérios de simplicidade recebeu recentemente uma atenção especial da parte dos lógicos e dos filósofos, que obtiveram resultados interessantes, mas ainda não conseguiram uma caracterização geral satisfatória da simplicidade. Entretanto, como está sugerido pelos nossos exemplos, existem certamente casos em que mesmo na ausência de critérios explícitos há substancial acordo sobre qual seja a mais simples de duas hipóteses ou teorias rivais.

Outro problema intrincado atinente à simplicidade é o da sua justificação: que razões existem para seguir o chamado *princípio da simplicidade*, isto é, o preceito de que se deve preferir, estimar como mais aceitável, entre duas hipóteses ou teorias rivais e igualmente confirmadas aquela que é a mais simples?

Muitos grandes cientistas manifestaram a convicção de que as leis básicas da natureza são simples. Se assim o fosse, poder-se-ia de fato admitir que a mais provavelmente verdadeira de duas hipóteses rivais é a mais simples. Mas supor que as leis básicas da natureza são simples é, naturalmente, pelo menos tão problemático quanto a legitimidade do princípio de simplicidade e não pode portanto fornecer uma justificação para ele.

Alguns cientistas e filósofos — entre os quais Mach, Avenarius, Ostwald e Pearson — sustentaram que a ciência visa dar uma descrição econômica ou parcimoniosa do mundo e que as hipóteses gerais promovidas a leis da natureza são expedientes econômicos para o pensamento, servindo para condensar um número indefinido de casos particulares (como os de queda livre) numa única fórmula simples (como a lei de Galileu); desse ponto de vista parece inteiramente razoável adotar a mais simples das hipóteses adversárias. O argumento seria convincente se tivéssemos que escolher entre diferentes descrições *de um mesmo conjunto de fatos*; mas ao adotar uma entre várias

hipóteses em disputa, tais como  $H_1$ ,  $H_2$ ,  $H_3$  acima, adotamos também as *predições* que ela implica quanto aos casos ainda não verificados; e a esse respeito as hipóteses divergem largamente. Assim é que, para  $u = 4$ ,  $H_1$ ,  $H_2$ ,  $H_3$  predizem para  $n$  os valores 150, 30 e 6 respectivamente. Cabe então perguntar: Basta reconhecer que  $H_3$  é matematicamente a mais simples para considerá-la a mais provável de ser verdadeira, para basear nela o que esperamos acontecer no caso não-examinado  $u = 4$  e não nas outras hipóteses que acertam nos casos já medidos com a mesma precisão?

Uma resposta interessante a esta questão foi sugerida por Reichenbach.<sup>7</sup> Em resumo, o seu argumento é o seguinte: suponhamos que no nosso exemplo  $n$  seja de fato uma função de  $u$ ,  $n = f(u)$ . Seja  $g$  o seu gráfico em algum sistema de coordenadas, cuja escolha não é essencial. A verdadeira função  $f$  e o seu gráfico  $g$  são, naturalmente, desconhecidos pelo cientista que mede os valores associados das duas variáveis. Admitindo, para favorecer ao argumento, que suas medidas sejam exatas, ele achará certo número de pontos "dados" que pertencem à "verdadeira" curva  $g$ . Suponhamos em seguida que, de acordo com o princípio de simplicidade, ele trace a curva mais simples, isto é, a intuitivamente mais regular passando por esses pontos. O gráfico assim obtido, que chamaremos  $g_1$ , pode afastar-se consideravelmente da verdadeira curva, tendo, entretanto, com esta os pontos dados em comum. Mas à medida que o cientista vai determinando mais pontos irá traçando novos gráficos mais simples  $g_2$ ,  $g_3$ ,  $g_4$ , ... que irão coincidindo cada vez mais com a verdadeira curva  $g$ , assim como as funções associadas  $f_2$ ,  $f_3$ ,  $f_4$  ... aproximar-se-ão cada vez mais da verdadeira relação funcional  $f$ . A obediência ao princípio de simplicidade não pode pois garantir que se obtenha a função  $f$  de uma só vez ou mesmo em várias; mas se existir uma relação funcional entre  $u$  e  $n$ , o processo conduzirá gradualmente a uma função que se aproxima da verdadeira na ordem desejada.

O argumento de Reichenbach, aqui reproduzido em forma um tanto simplificada, é engenhoso, mas sua força é limitada. Pois, por mais longe que se tenha ido na construção dos gráfi-

7 H. Reichenbach, *Experience and Prediction* (Chicago: The University of Chicago Press, 1938), seção 42.

cos e das funções, o processo não fornece indicação alguma sobre a aproximação com a qual foi atingida a verdadeira função — se é que existe uma verdadeira função. (Como já notamos antes, o volume de um corpo gasoso pode parecer ser, mas de fato não é, função apenas da temperatura.) Além disso, o argumento baseado na convergência para uma curva verdadeira poderia ser usado para justificar outros métodos, intuitivamente complexos e não-razoáveis, de desenhar os gráficos. Por exemplo, vê-se imediatamente que unindo dois pontos dados adjacentes por um semicírculo cujo diâmetro seja a distância entre os pontos as curvas obtidas convergiriam eventualmente para a verdadeira curva, se esta existisse. Contudo, a despeito dessa "justificação", o procedimento não seria considerado como modo legítimo de formar hipóteses quantitativas. Entretanto, outros procedimentos não simples — como o de unir pontos dados adjacentes por arcos em forma de U, cujos comprimentos sempre excedem um valor mínimo determinado — não são justificáveis dessa maneira, sendo mesmo autodestruidores, como pode ser mostrado pelo argumento de Reichenbach. Sua idéia guarda assim um interesse próprio.

Muito diferente é a concepção de Popper. Para ele a mais simples de duas hipóteses é aquela que tem maior conteúdo empírico e pode portanto ser mais facilmente falsificada (ser verificada como falsa mais facilmente), se de fato for falsa; e isso é da maior importância em ciência, que procura submeter suas conjecturas à mais completa verificação e falsificação possível. Ele mesmo resume o seu argumento com as seguintes palavras: "Se nosso objetivo é o conhecimento, os enunciados simples devem ter cotação mais alta que os menos simples *porque eles nos dizem mais, porque o conteúdo empírico deles é maior e porque são verificáveis em melhor grau.*"<sup>8</sup> Popper torna sua noção de simplicidade como grau de falsificabilidade mais explícita por meio de dois critérios diferentes. De acordo com um deles, a hipótese de que a órbita de um planeta seja um círculo é mais simples do que a que afirma

8 K. R. Popper, *The Logic of Scientific Discovery* (Londres: Hutchinson, 1959), p. 142 (os grifos são do autor). A apresentação das idéias a que estamos nos referindo é feita nos capítulos VI e VII desse livro, que contém várias observações luminosas sobre o papel da simplicidade na ciência.

que seja uma elipse, porque a primeira poderia ser falsificada pela determinação de quatro posições que não pertençam a um mesmo círculo (três pontos podem ser sempre unidos por um círculo), ao passo que a falsificação da segunda hipótese exigiria a determinação de pelo menos seis posições do planeta. Neste sentido, a hipótese mais simples é a mais facilmente falsificável e é também a mais forte porque logicamente implica a hipótese menos simples. Este critério certamente contribui para esclarecer a espécie de simplicidade que interessa à Ciência.

Mas Popper diz alternativamente que uma hipótese é mais falsificável, logo mais simples, que outra quando implica esta outra e tem portanto maior conteúdo num sentido estritamente dedutivo. Ora, nem sempre maior conteúdo se une a maior simplicidade. Certo, uma teoria forte como a teoria newtoniana do movimento e da gravitação pode ser considerada como mais simples que uma vasta coleção de leis desconexas e de alcance mais limitado, que são implicadas por ela. Mas a desejável espécie de simplificação assim conseguida por uma teoria não é apenas uma questão de maior conteúdo; pois se duas hipóteses desvinculadas (*e.g.*, a lei de Hooke e a de Snell) forem afirmadas conjuntamente, a conjunção nos diz mais, sem ser mais simples, que cada componente. Nem qualquer das três hipóteses  $H_1$ ,  $H_2$ ,  $H_3$  consideradas acima, que certamente não são igualmente simples, diz mais que uma das outras; nem diferem quanto à falsificabilidade. Se falsas, qualquer uma delas pode ser revelada falsa com a mesma facilidade: um único caso contrário, por exemplo o par (4, 10), uma vez medido, falsificaria a todas elas.

Assim, ainda que as diferentes idéias aqui rapidamente revistas iluminem de certo modo o *rationale* do princípio da simplicidade, permanece sem solução satisfatória o problema de achar para ele uma formulação precisa e uma justificação unificada.<sup>9</sup>

9 O leitor desejoso de aprofundar estas questões encontrará auxílio nas seguintes discussões: S. Barker, *Induction and Hypothesis* (Ithaca: Cornell University Press, 1957); "A Panel Discussion of Simplicity of Scientific Theories", *Philosophy of Science*, vol. 28 (1961), 109-71; W. V. O. Quine, "On Simple Theories of a Complex World", *Synthese*, vol. 15 (1963), 103-6.

#### A PROBABILIDADE DAS HIPÓTESES

Nosso exame mostrou que a credibilidade de uma hipótese  $H$  numa dada época depende, estritamente falando, do que é relevante na totalidade do conhecimento científico da época, o que inclui toda evidência relevante para  $H$  e todas as hipóteses e teorias então aceitas que lhe dão algum apoio. A rigor, portanto, deveríamos falar da *credibilidade de uma hipótese  $H$  relativa a certo corpo de conhecimentos*, que é o conjunto  $K$  de todos os enunciados aceitos pela ciência da época.

Surge naturalmente a questão de saber se é possível expressar essa credibilidade em termos quantitativos exatos, mediante uma definição que para qualquer hipótese  $H$  e qualquer conjunto  $K$  de enunciados determine um número  $c(H, K)$  que será o grau de credibilidade que  $H$  possui em relação a  $K$ . E, já que falamos freqüentemente em hipóteses mais ou menos prováveis, perguntamos logo se este conceito quantitativo não poderia ser definido de modo a satisfazer aos princípios básicos da teoria da probabilidade. Neste caso, a credibilidade de  $H$  relativa a  $K$  seria um número real não inferior a 0 e não superior a 1; uma hipótese que é verdadeira por razões puramente lógicas (tal como 'Amanhã choverá ou não choverá no Corcovado') terá sempre a credibilidade 1; e a credibilidade da hipótese de que seja verdadeiro um ou outro de dois enunciados  $H_1$  e  $H_2$  logicamente incompatíveis será igual à soma de suas credibilidades:  $c(H_1 \text{ ou } H_2, K) = c(H_1, K) + c(H_2, K)$ .

De fato, várias teorias para essas probabilidades foram propostas.<sup>10</sup> Partindo de certos axiomas, como os que acabamos de mencionar, chegam a uma variedade de teoremas mais ou menos complexos que servem para determinar certas probabilidades *contanto que outras já sejam conhecidas*; mas não oferecem uma definição da probabilidade de uma hipótese relativa a uma informação dada.

E a dificuldade de definir o conceito  $c(H, K)$ , levando em consideração todos os diferentes fatores que encontramos, é enorme, para dizer o menos; pois como vimos não ficou sequer

10 Uma delas pelo economista John Maynard Keynes, em seu livro *A Treatise on Probability* (Londres: Macmillan and Company, Ltd., 1921):

claro como caracterizar com rigor fatores como a simplicidade de uma hipótese ou a variedade da evidência que a sustenta; muito menos, como expressá-los numericamente.

Entretanto, certos resultados elucidativos e de enorme alcance foram obtidos recentemente por Carnap, que estudou o problema em linguagem modelo rigorosamente formalizada, cuja estrutura lógica é consideravelmente mais simples que a requerida para os propósitos da ciência. Carnap desenvolveu um método geral de definir o que chamou o grau de confirmação para qualquer hipótese expressa em tal linguagem. O conceito assim definido satisfaz a todos os princípios da teoria da probabilidade, o que permitiu a Carnap referir-se a ele como a *probabilidade lógica ou indutiva* da hipótese relativa à informação dada.<sup>11</sup>

<sup>11</sup> Carnap deu uma rápida e elementar exposição das idéias básicas em seu artigo "Statistical and Inductive Probability", reimpresso em E. H. Madden, org., *The Structure of Scientific Thought* (Boston: Houghton Mifflin Company, 1960), pp. 269-79. Uma exposição mais recente e que muito esclarece o assunto encontra-se no artigo de Carnap "The Aim of Inductive Logic", incluído em E. Nagel, P. Suppes e A. Tarski, orgs., *Logic, Methodology and Philosophy of Science*, Proceedings of the 1960 International Congress (Stanford: Stanford University Press, 1962), pp. 303-18.

## 5

## AS LEIS E SEU PAPEL NA EXPLICAÇÃO CIENTÍFICA

### DUAS EXIGÊNCIAS BÁSICAS PARA AS EXPLICAÇÕES CIENTÍFICAS

Explicar os fenômenos do mundo físico é um dos principais objetivos das Ciências Naturais. De fato, quase todas as investigações científicas que serviram como ilustrações nos capítulos precedentes visaram não à descoberta de um fato particular, mas à conquista de uma concepção explicativa; procurou-se saber como era contraída a febre puerperal, por que havia uma limitação característica para a capacidade elevatória das bombas, por que a transmissão da luz obedecia às leis da óptica geométrica etc. Neste capítulo e no próximo vamos examinar com algum detalhe o caráter das explicações científicas e a espécie da compreensão que elas fornecem.

Que o homem sempre e persistentemente preocupou-se em compreender a enorme diversidade das ocorrências no mundo que o envolvia, deixando-o muitas vezes perplexo e não raro amedrontado, prova-o a multiplicidade de mitos e metáforas que imaginou para justificar a existência mesma do mundo e de si próprio, a vida e a morte, os movimentos dos astros, a sucessão regular do dia e da noite, as cambiantes estações, a chuva e o bom tempo, o relâmpago e o trovão. Algumas dessas explicações se baseavam em concepções antropomórficas das forças da natureza, outras apelavam para poderes ou agentes invisíveis, quando não invocavam o destino ou os inescrutáveis desígnios de um Deus. E é inegável que davam a quem as aceitava o sentimento de uma compreensão, porque lhe aplacava a perplexidade; neste sentido eram "respostas" às perguntas formuladas. Mas por mais satisfatórias que o fossem psicologicamente, não eram adequadas à finalidade da ciência que é, em suma, a de desenvolver uma concepção do universo apoiada clara e logi-



camente em nossa experiência e portanto apta a uma verificação objetiva. As explicações científicas devem, por esta razão, satisfazer a dois requisitos, que chamaremos o requisito da relevância explanatória e o requisito da verificabilidade.

O astrônomo Francesco Sizi apresentou o seguinte argumento para demonstrar por que, ao contrário do que seu contemporâneo Galileu afirmava ter visto com uma luneta, não pode haver satélites circulando em torno de Júpiter:

Existem sete janelas na cabeça: duas ventas, duas orelhas, dois olhos e uma boca. Do mesmo modo, existem no céu duas estrelas propiciadoras, duas desfavoráveis, duas luminosas e uma só indecisa e indiferente, que é Mercúrio. Daí e de muitos outros fenômenos semelhantes da natureza (sete metais etc.), que seria fatigante enumerar, concluímos que o número dos planetas é necessariamente sete. . . Além disso, os satélites são invisíveis a olho nu, logo não podem ter influência sobre a Terra, logo são inúteis, logo não existem.<sup>1</sup>

O defeito principal desse argumento é evidente: os “fatos” que aduz, ainda que aceitos sem discussão, são inteiramente irrelevantes para o ponto em pauta; não fornecem razão alguma para negar que Júpiter tenha satélites; o uso de palavras como ‘logo’ e ‘necessariamente’, com o fim de dar uma impressão de relevância, é inteiramente ilegítimo.

Muito diferente é a explicação do arco-íris dada pela Física. O fenômeno surge então como resultado da reflexão e da refração da luz branca do Sol nas gotículas esféricas de água que existem numa nuvem. É justamente o que as leis da óptica permitem prever toda vez que água pulverizada for iluminada por uma fonte de luz branca situada atrás do observador. Assim, mesmo que nunca tivéssemos visto um arco-íris, a explicação constituiria bom fundamento para acreditar que o fenômeno surgiria nas condições especificadas. A esta característica é que queremos nos referir quando dizemos que a explicação satisfaz ao *requisito da relevância explanatória*: a informação aduzida fornece bom fundamento para acreditar que o fenômeno a ser explicado de fato aconteceu ou acontecerá. É a

<sup>1</sup> Transcrito de Holton e Roller, *Foundations of Modern Physical Science*, p. 160.

condição a ser satisfeita para que estejamos autorizados a dizer: “O fenômeno está explicado — é justamente o que se esperava nas circunstâncias dadas.”

O requisito traduz uma condição necessária para uma explicação adequada, mas não suficiente. Por exemplo, o deslocamento para o vermelho nos espectros das galáxias distantes fornece uma forte base para acreditar *que* essas galáxias se afastam de nós com enormes velocidades, mas não para explicar *por que* esse afastamento.

Para introduzir o segundo requisito, consideremos uma vez mais a concepção da atração gravitacional como manifestação de uma tendência natural comparável ao amor. Como já observamos, essa concepção não tem nenhuma implicação verificável. Portanto, nenhum resultado empírico poderia sustentá-la ou refutá-la. Sendo assim vazia de qualquer conteúdo empírico, não pode justificar a expectativa dos fenômenos característicos da atração gravitacional: falta-lhe poder explicativo objetivo. O mesmo se pode dizer sobre as explicações feitas em termos de um destino inescrutável: invocar uma idéia como esta, longe de ser sinal de uma visão profunda, é apenas renúncia a qualquer explicação. Ao contrário, os enunciados em que se baseia a explicação física do arco-íris têm várias implicações verificáveis: por exemplo, quanto às condições em que se vê um arco-íris no céu, quanto à ordem das cores que nele figuram, quanto ao seu aparecimento na poeira líquida levantada pelo quebrar das ondas ou por uma fonte artificial etc. Esses exemplos ilustram uma segunda condição para as explicações científicas, que chamaremos *o requisito da verificabilidade*: os enunciados que constituem uma explicação científica devem prestar-se à verificação empírica.

Como já foi sugerido, a concepção da gravitação como uma afinidade universal subjacente não pode ter poder explanatório porque não tem implicações verificáveis. Com efeito, para justificar a ocorrência da gravitação universal ou de qualquer um de seus aspectos característicos, a concepção teria que implicá-los quer dedutivamente quer num sentido mais fraco indutivo-probabilístico; mas então ela seria verificável no que se refere a essas conseqüências. Este exemplo mostra que os dois requisitos não são independentes: uma explicação que satisfaz à exigência de relevância satisfaz também à de verificabilidade. (É claro que a recíproca não é verdadeira.)



Diremos que é o esquema das explicações por subsunção dedutiva sob leis gerais ou das *explicações dedutivo-nomológicas*. (A raiz do termo 'nomológico' é a palavra grega 'nomos', para lei.) Diremos também que o argumento explanatório subsume o *explanandum* sob essas leis ou que estas são as *leis de cobertura* para o fenômeno *explanandum*.

O fenômeno *explanandum* numa explicação dedutivo-nomológica pode ser um acontecimento que ocorreu em época e lugar particulares, como foi o resultado da experiência de Périer; pode ser também alguma regularidade encontrada na natureza, como a dos aspectos geralmente exibidos pelos arcos-íris; pode ser ainda uma uniformidade expressa por uma lei empírica, como a de Galileu ou a de Kepler. As explicações dedutivas dessas uniformidades invocarão leis de alcance mais vasto, como as leis da reflexão e da refração, ou as leis newtonianas do movimento e da gravitação. Como mostra este uso das leis de Newton, as leis empíricas ficam muitas vezes explicadas por meio de princípios teóricos que se referem a estruturas e processos subjacentes às uniformidades em pauta. Voltaremos a este gênero de explicação no próximo capítulo.

As explicações dedutivo-nomológicas satisfazem ao requisito da relevância explanatória no sentido mais forte possível: a informação explanatória que elas fornecem implica a sentença *explanandum* dedutivamente e permite assim concluir logicamente por que é de esperar o fenômeno *explanandum*. (Encontraremos em breve outras explicações científicas que satisfazem ao requisito apenas num sentido mais fraco, indutivo.) E o requisito de verificabilidade também é satisfeito, pois o *explanans* implica entre outras coisas que nas condições especificadas o fenômeno *explanandum* ocorrerá.

Algumas explicações científicas obedecem ao esquema D-N) de um modo bastante exato. É o que acontece, particularmente, quando certos aspectos quantitativos de um fenômeno ficam explicados por derivação matemática a partir de leis gerais de cobertura, como no caso da reflexão em espelhos esféricos e parabólicos. Outro exemplo é a célebre explicação proposta por Leverrier (e independentemente por Adams) das irregularidades peculiares ao movimento do planeta Urano, que não podiam ser justificadas pela atração gravitacional exercida pelos outros planetas então conhecidos. Leverrier suspeitou que elas fossem devidas a um planeta exterior ainda não observado e calculou a posição, a massa e outras características

que esse planeta deveria possuir para, de acordo com a teoria de Newton, dar razão quantitativa das irregularidades constatadas. Sua explicação foi sensacionalmente confirmada pela descoberta, na posição prevista, de um novo planeta, Netuno, que tinha exatamente aquelas características calculadas por Leverrier. Aqui também a explicação tem o caráter de um argumento dedutivo cujas premissas incluem leis gerais — no caso, as leis newtonianas do movimento e da gravitação — e enunciadas que especificam os valores particulares ao planeta perturbador de várias grandezas.

Não raro, entretanto, as explicações dedutivo-nomológicas são enunciadas em forma elíptica: omitem a menção de certas suposições pressupostas pela explicação mas tacitamente aceitas no contexto dado. São explicações às vezes expressas na forma '*E* porque *C*', onde *E* é o evento a ser explicado e *C* algum evento ou estado de coisas antecedente ou concomitante a *E*. Como exemplo, tomemos o enunciado: 'A lama na calçada permaneceu líquida durante a geada porque foi salpicada'. Esta explicação não menciona explicitamente lei alguma, mas tacitamente pressupõe pelo menos uma: que o ponto de solidificação da água é mais baixo quando há sal dissolvido nela. De fato, é precisamente em virtude dessa lei que o salpico adquire o papel explanatório, e especificamente causal, a ele atribuído pelo porquê do enunciado elíptico. Esse enunciado, acidentalmente, também é elíptico em outros sentidos; por exemplo, admite tacitamente certas suposições sobre as condições físicas vigentes, como a de que a temperatura não baixou muito. Acrescentando essas suposições e a lei omitidas ao enunciado de que o sal foi espalhado na lama, obtém-se as premissas para uma explicação dedutivo-nomológica do fato de haver a lama permanecido líquida.

Comentários semelhantes se aplicam à explicação dada por Semmelweis de que a febre puerperal era causada pela matéria em decomposição introduzida na corrente sanguínea através das feridas abertas. Assim formulada, a explicação não faz menção de lei geral alguma; mas pressupõe que tal contaminação da corrente sanguínea provoca em geral um envenenamento do sangue acompanhado dos sintomas característicos da febre puerperal, pois isso é o que está implicado pela asserção de que a contaminação *causa* a febre puerperal. Esta generalização foi certamente admitida sem discussão por Semmelweis, para quem a causa da doença fatal de Kolletschka

não apresentava problema etiológico: uma vez introduzida matéria infectada na corrente sanguínea, resulta o envenenamento do sangue. (Kolletschka não fora o primeiro a morrer de envenenamento do sangue resultante de um corte com bisturi infectado. Por uma ironia trágica, o próprio Semmelweis sofrerá o mesmo destino.) E, uma vez explicitada a premissa omitida, vê-se que a explicação faz referência a leis gerais.

Leis gerais estão sempre pressupostas quando se diz que um particular evento da espécie *G* (por exemplo, dilatação de um gás sob pressão constante; passagem de corrente pelo fio de uma bobina) foi *causado* por um evento de outra espécie *F* (por exemplo, aquecimento do gás; movimento da bobina através de um campo magnético). Para vê-lo, não precisamos entrar nas complexas ramificações da noção de causa; basta notarmos que o ditado "Mesmas causas, mesmos efeitos", aplicado a esses enunciados, implica dizer que toda vez que ocorrer um evento da espécie *F*, ele será acompanhado de um evento da espécie *G*.

Dizer que uma explicação repousa em leis gerais não é dizer que a sua descoberta requer a descoberta de leis. O que há de decisivo na revelação trazida por uma explicação pode provir às vezes da descoberta de um fato particular (por exemplo, a existência de um planeta até então despercebido; a matéria infectada introduzida durante o exame pelas mãos do médico) que, em virtude de leis gerais já aceitas, dá a razão do fenômeno *explanandum*. Em outros casos, como o das raias no espectro de hidrogênio, o triunfo explanatório consiste na descoberta de uma lei de cobertura (no caso, a de Balmer) ou, eventualmente, de uma teoria explicativa (no caso, a de Bohr); e, em outros casos ainda, a maior façanha de uma explicação está em mostrar que, e exatamente como, o fenômeno *explanandum* pode ser justificado por leis e dados sobre fatos particulares já conhecidos: é o caso da derivação explanatória das leis de reflexão para espelhos esféricos e parabólicos partindo das leis básicas da óptica geométrica juntamente com enunciados sobre as características geométricas desses espelhos.

Um problema explanatório não determina por si mesmo a espécie de descoberta requerida para sua solução. Leverrier tentou explicar os desvios observados no movimento de Mercúrio relativamente ao calculado teoricamente pela atração devida a um planeta ainda não observado, Vulcano, que deve-

ria ser muito denso, muito pequeno e estar colocado entre o Sol e Mercúrio. Mas, ao contrário do que sucedeu com as anomalias de Urano, Vulcano não foi achado. Uma explicação satisfatória só veio a ser encontrada muito mais tarde pela teoria da relatividade generalizada, que justificou as irregularidades de Mercúrio não pela existência de um elemento perturbador, mas deduzindo-as de um novo sistema de leis.

#### LEIS UNIVERSAIS E GENERALIZAÇÕES ACIDENTAIS

Como acabamos de ver, as leis desempenham um papel essencial nas explicações dedutivo-nomológicas. Fornecem o elo em razão do qual circunstâncias particulares (indicadas por  $C_1, C_2 \dots, C_k$ ) podem servir para explicar a ocorrência de um evento. E quando o *explanandum* não é um evento particular, mas uma uniformidade como a das características dos espelhos esféricos e parabólicos, as leis explicativas mostram um sistema de uniformidades mais compreensivo, das quais a uniformidade dada é uma caso especial.

As leis necessárias às explicações dedutivo-nomológicas têm uma característica básica em comum: são, como passaremos a dizer, enunciados de forma universal. Em linhas gerais, um enunciado dessa espécie assevera uma conexão uniforme entre diferentes fenômenos empíricos ou entre diferentes aspectos de um fenômeno empírico. É um enunciado de que, onde e quando ocorrerem condições de uma espécie determinada *F*, então, sempre, e sem exceção, ocorrerão certas condições de outra espécie *G*. (Nem todas as leis científicas são deste tipo. Nas seções seguintes, vamos encontrar leis de forma probabilística e explicações baseadas nelas.)

Aqui vão alguns exemplos de enunciados em forma universal: sempre que a temperatura de um gás aumentar, ficando constante a sua pressão, o seu volume aumentará; sempre que se dissolver um sólido num líquido, subirá o ponto de ebulição desse líquido; sempre que um raio de luz se refletir numa superfície plana, o ângulo de reflexão será igual ao ângulo de incidência; sempre que se partir uma barra imantada, os pedaços obtidos também serão ímãs; sempre que um corpo cair livremente no vazio, partindo do repouso e de uma altura não muito grande, a distância percorrida em *t* segundos será de  $490 t^2$  cm. As leis das ciências naturais são em maioria quantitativas: estabelecem

relações matemáticas entre diferentes características quantitativas dos sistemas físicos (por exemplo, entre o volume, a pressão e a temperatura de um gás) ou de processos (por exemplo, entre o tempo e a distância percorridos em queda livre na lei de Galileu; entre o período de revolução de um planeta e sua distância média ao Sol na terceira lei de Kepler; entre os ângulos de incidência e de refração na lei de Snell).

Estritamente falando, um enunciado que assevera uma conexão uniforme não será considerado uma lei se não houver razões para admiti-lo como verdadeiro: normalmente, ninguém fala de falsas leis da natureza. Mas se isso fosse rigidamente observado, os enunciados habitualmente chamados leis de Galileu e leis de Kepler não seriam classificados como leis, pois de acordo com o que se sabe hoje em dia eles só valem aproximadamente; e, como veremos mais tarde, a teoria física explica por que assim o é. Observações análogas se aplicam às leis da óptica geométrica. Por exemplo, mesmo em meio homogêneo, a luz não se move rigorosamente em linha reta: pode ser encurvada por uma aresta. Usaremos entretanto a palavra 'lei' de modo um tanto liberal, aplicando o termo também a enunciados do tipo aqui mencionado, válidos apenas com aproximação e com restrição que a teoria justifica. Voltaremos a este ponto quando, no próximo capítulo, considerarmos a explicação das leis pelas teorias.

Vimos que as leis invocadas nas explicações científicas dedutivo-nomológicas têm uma forma básica: 'Em todos os casos em que se realizam condições de espécie *F*, realizam-se também condições da espécie *G*'. Interessa observar, entretanto, que nem todo enunciado com esta forma universal, ainda que verdadeiro, pode ser qualificado como lei da natureza. Por exemplo, a sentença 'Todas as rochas nesta caixa contêm ferro' tem forma universal (*F* é a condição de ser uma rocha na caixa, *G* a de conter ferro); contudo, mesmo sendo verdadeira, não seria considerada como uma lei, e sim como uma asserção de algo que "acontece ser o caso", como uma "generalização acidental". Como outro exemplo, tomemos o enunciado: 'Todos os corpos constituídos de ouro puro têm massa inferior a 100.000 quilogramas'. Sem dúvida alguma, todos os blocos de ouro até agora examinados pelo homem estão de acordo com esse enunciado; há, assim, uma considerável evidência confirmatória dele e nenhum caso se conhece que o refute. É mesmo possível que na história do Universo nunca tenha existido ou venha a existir um

corpo de ouro puro com massa superior à de 100.000 quilogramas. Se assim fosse, a generalização em pauta seria não somente bem confirmada, mas verdadeira. E, todavia, é de presumir que sua verdade continuasse a ser vista como acidental, porque nenhuma lei fundamental da natureza, concebida pela ciência contemporânea, exclui a possibilidade de haver — ou mesmo a possibilidade de produzirmos — um sólido objeto de ouro tendo massa superior a 100.000 quilogramas.

Portanto, uma lei científica não fica adequadamente definida como um enunciado verdadeiro em forma universal: a condição é necessária mas não suficiente para as leis do tipo em discussão.

O que é que distingue então uma lei genuína de uma generalização acidental? O problema é intrincado e foi discutido intensamente nos últimos anos. Vejamos rapidamente algumas das principais idéias que emergiram do debate, que ainda continua.

Uma notável e sugestiva diferença, notada por Nelson Goodman,<sup>3</sup> é a seguinte: uma lei pode, ao passo que uma generalização acidental não pode, servir para sustentar *condicionais contrafatuais*, isto é, enunciados da forma 'Se *A* fosse (tivesse sido) o caso, então *B* seria (teria sido) o caso', onde de fato *A* não é (não foi) o caso. Assim, a asserção 'Se esta vela de parafina tivesse sido colocada numa chaleira com água fervendo teria derretido' pode ser sustentada aduzindo-se a lei de que a parafina é líquida acima de 60 graus centígrados (e o fato de ser 100 graus centígrados o ponto de ebulição da água). Mas o enunciado 'Todas as rochas nesta caixa contêm ferro' não pode ser usado analogamente para sustentar o enunciado contrafactual 'Se este seixo tivesse sido colocado na caixa, ele conteria ferro'. Do mesmo modo, uma lei, ao contrário de uma generalização acidentalmente verdadeira, pode sustentar *condicionais subjuntivos*, isto é, sentenças do tipo 'Se *A* vier a acontecer, também acontecerá *B*', onde se deixa em aberto se sim ou não *A* venha a acontecer. O enunciado 'Se esta vela de parafina vier a ser colocada em água fervendo ela derreterá' é um exemplo.

3 Em seu ensaio "The Problem of Counterfactual Conditionals", reproduzido como primeiro capítulo do seu livro, *Fact, Fiction, and Forecast*, 2.<sup>a</sup> ed. (Indianapolis: The Bobbs-Merrill Co., Inc., 1965). Essa obra levanta problemas tão fundamentais quanto fascinantes sobre as leis, os enunciados contrafatuais e o raciocínio indutivo, examinando-os de um ponto de vista analítico superior.

Estreitamente ligada a essa diferença há uma outra, que é de especial interesse para nós: uma lei pode, ao passo que uma generalização accidental não pode, servir de base para uma explicação. Assim, a fusão de uma particular vela de parafina que foi colocada em água fervendo pode ser explicada, de conformidade com o esquema D-N), pela referência aos fatos particulares que acabamos de mencionar e à lei de que a parafina funde quando sua temperatura ultrapassa 60 graus centígrados. Mas o fato de uma particular rocha na caixa conter ferro não pode ser analogamente explicada pela referência ao enunciado geral de que todas as rochas na caixa contêm ferro.

Poderia parecer plausível dizer, à guisa de uma distinção adicional, que o último enunciado serve simplesmente como uma formulação convenientemente breve de uma conjunção finita do tipo: 'A rocha  $r_1$  contém ferro, e a rocha  $r_2$  contém ferro, . . . , e a rocha  $r_{63}$  contém ferro', ao passo que a generalização sobre a parafina refere-se a um conjunto potencialmente infinito de casos particulares e portanto não pode ser parafraseada por uma conjunção finita de enunciados que descrevem casos individuais. A distinção é sugestiva, mas é exagerada. Para começar, a generalização 'Todas as rochas nesta caixa contêm ferro' não nos diz de fato quantas rochas existem na caixa, nem dá nomes  $r_1$ ,  $r_2$  etc. às rochas particulares. Logo, a sentença geral não é equivalente logicamente a uma conjunção finita do tipo mencionado. Para formular uma conjunção apropriada, necessitaríamos de uma informação adicional, que poderia ser obtida colocando uma etiqueta numerada em cada rocha da caixa. Além disso, a generalização 'Todos os corpos de ouro puro têm massa inferior a 100.000 quilogramas' não seria aceita como uma lei mesmo que existisse no Universo uma infinidade de corpos feitos de ouro. Assim, o critério em tela falha por várias razões.

Finalmente, observemos que um enunciado de forma universal pode ser classificado como uma lei mesmo sem ter sido verificado em algum caso particular. Um exemplo é a sentença: 'Em qualquer corpo celeste que tenha o mesmo raio que a Terra e uma massa duas vezes maior, a queda livre a partir do repouso obedece à lei  $s = 4,9t^2$  m. Pode não haver no Universo inteiro objeto que tenha esse raio e essa massa, e contudo o enunciado tem o caráter de uma lei. Pois ele (ou antes, uma estreita aproximação dele, como no caso da

lei de Galileu) decorre da teoria newtoniana do movimento e da gravitação em conjunção com o enunciado de que a aceleração de queda livre na Terra é de 9,8 metros por segundo por segundo; tem assim um forte apoio teórico, exatamente como a lei mencionada anteriormente da queda livre na Lua.

Já observamos que uma lei pode sustentar enunciados condicionais subjuntivos e contrafatuais sobre casos potenciais, isto é, sobre casos particulares que possam ocorrer ou que poderiam ter ocorrido mas não ocorreram. De modo análogo, a teoria de Newton sustenta nosso enunciado geral numa versão subjuntiva que sugere sua condição de lei, a saber: 'Em qualquer corpo celeste que pudesse existir com o mesmo tamanho da Terra mas com o dobro de sua massa, a queda livre obedeceria à fórmula  $s = 9,9t^2$  metros. Ao contrário, a generalização sobre as rochas não pode ser parafraseada como afirmando que qualquer rocha que estivesse na caixa conteria ferro, nem esta última afirmação teria evidentemente qualquer apoio teórico.

Analogamente, nós não usaríamos nossa generalização sobre a massa dos corpos de ouro — chamemo-la  $H$  — para apoiar enunciados como este: 'Dois corpos de ouro puro cujas massas individuais somadas dão mais de 100.000 quilogramas não podem ser fundidos para formar um corpo único; ou, se a fusão for possível, a massa do corpo resultante será menor que 100.000 kg', pois as teorias vigentes da Física e da Química não excluem a espécie de fusão mencionada nem implicam que haveria um perda de massa do valor referido. Portanto, ainda que a generalização  $H$  fosse verdadeira, isto é, ainda que nenhuma exceção a ela viesse a ocorrer, isso constituiria mero acidente ou mera coincidência, a julgar pela teoria corrente que permite a ocorrência de exceções a  $H$ .

Depende, pois, em parte das teorias aceitas na época a decisão sobre se um enunciado de forma universal é ou não considerado como uma lei. Isso não quer dizer que "generalizações empíricas" — enunciados de forma universal que estão bem confirmados pela experiência mas que não se baseiam numa teoria — não sejam classificadas como leis: as leis de Galileu, de Kepler e de Boyle, por exemplo, foram aceitas como tal antes de receberem uma justificação teórica. A relevância da teoria é, antes, a seguinte: um enunciado de forma universal, quer esteja confirmado empiricamente, quer não tenha sido ainda submetido a uma verificação, será classificado

como lei se for implicado por uma teoria aceita (os enunciados deste gênero são freqüentemente chamados de leis teóricas); mas, ainda que venha a ser bem confirmado pela experiência e presumido como verdadeiro de fato, não será qualificado como uma lei se excluir certas ocorrências hipotéticas (como a fusão de dois blocos de ouro com massa resultante superior a 100.000 quilogramas, no caso de nossa generalização *H*) que uma teoria aceita considera possíveis.<sup>4</sup>

#### AS EXPLICAÇÕES PROBABILÍSTICAS: SEUS FUNDAMENTOS

Nem toda explicação científica está baseada em leis de forma estritamente universal. Por exemplo, pode-se explicar que Paulinho esteja com sarampo dizendo que ele apanhou a doença de seu irmão, que a tivera, e gravemente, alguns dias antes. Ainda uma vez, o que se faz é ligar o evento *explanandum* a uma ocorrência anterior, a exposição de Paulinho ao sarampo; diz-se que esta fornece uma explicação porque existe uma conexão entre ficar perto de um doente de sarampo e apanhar a doença. Entretanto, essa conexão não pode ser expressa por uma lei de forma universal; pois nem todo caso de exposição ao sarampo produz contágio. Tudo quanto se pode dizer é que as pessoas expostas ao sarampo contrairão a doença com alta probabilidade, isto é, numa alta percentagem de todos os casos. Enunciados gerais deste tipo, que examinaremos daqui a pouco mais de perto, serão chamados *leis de forma probabilística* ou, abreviadamente, *leis probabilísticas*.

No nosso exemplo, então, o *explanans* consiste na lei probabilística que acabamos de mencionar e no enunciado de que Paulinho esteve exposto ao sarampo. Ao contrário do que acontece na explicação dedutivo-nomológica, esses enunciados *explanans* não implicam dedutivamente o enunciado *explanandum* de que Paulinho apanhou sarampo; pois nas inferências dedutivas de premissas verdadeiras a conclusão é invariavelmente verdadeira, ao passo que neste exemplo é claramente possível que os enunciados *explanans* sejam verdadeiros sem que o seja o *explanandum*. Diremos, abreviadamente, que o

<sup>4</sup> Para uma análise mais extensa do conceito de lei e para referências bibliográficas adicionais, ver E. Nagel, *The Structure of Science* (Nova York: Harcourt, Brace & World, Inc., 1961), cap. 4.

*explanans* implica o *explanandum*, não com “certeza dedutiva”, mas somente com certeza aproximada ou com alta probabilidade.

O argumento explanatório a que assim se chega pode ser esquematizado da seguinte maneira:

É alta a probabilidade para pessoas expostas  
ao sarampo de apanharem a doença  
Paulinho esteve exposto ao sarampo  
\_\_\_\_\_ [faz altamente provável]  
Paulinho apanhou sarampo.

Na costumeira apresentação de um argumento dedutivo, que usamos no esquema D-N) visto anteriormente, a conclusão fica separada das premissas por uma só linha, o que serve para indicar que as premissas implicam logicamente a conclusão. A dupla linha usada no último esquema indica que as “premissas” (o *explanans*) fazem que a “conclusão” (a sentença *explanandum*) seja mais ou menos provável; o grau de probabilidade fica sugerido pela notação entre colchetes.

Argumentos desta espécie serão chamados *explicações probabilísticas*. Como se depreende da nossa discussão, uma explicação probabilística tem certas características básicas em comum com o correspondente tipo de explicação dedutivo-nomológico. Em ambos os casos, o evento dado é explicado pela referência a outros, com os quais o evento *explanandum* está ligado por leis. Mas num caso as leis são de forma universal; no outro, de forma probabilística. Enquanto uma explicação dedutiva mostra que pela informação contida no *explanans* o *explanandum* deve ser esperado com “certeza dedutiva”; uma explicação indutiva mostra apenas que pela informação contida no *explanans* o *explanandum* deve ser esperado com alta probabilidade, e talvez com “certeza prática”; dessa maneira é que o último argumento satisfaz ao requisito de relevância explanatória.

#### PROBABILIDADES ESTATÍSTICAS E LEIS PROBABILÍSTICAS

Devemos agora considerar mais de perto os dois traços característicos da explicação probabilística que acabamos de anotar: as leis probabilísticas que ela invoca e o gênero peculiar de implicação probabilística que liga o *explanans* ao *explanandum*.

Suponhamos que se façam sucessivas extrações numa urna contendo várias bolas de mesmo tamanho e de mesma massa, mas não necessariamente de mesma cor. Em cada extração retira-se somente uma bola e anota-se a sua cor. Recoloca-se em seguida a bola na urna, cujo conteúdo é completamente misturado antes da nova extração. Tem-se assim um exemplo de processo fortuito ou de experimento fortuito, conceito que em breve caracterizaremos com mais pormenores. Nós nos referimos ao procedimento que acabamos de descrever como o experimento  $U$ , a cada extração como uma execução de  $U$  e à cor da bola retirada como o resultado da execução.

Se são brancas todas as bolas da urna, então é verdadeiro um enunciado de forma estritamente universal sobre os resultados produzidos pela execução de  $U$ : toda extração da urna produz uma bola branca ou, simplesmente, produz o resultado  $B$ . Se somente 600 das 1000 bolas contidas na urna são brancas, então é verdadeiro sobre  $U$  um enunciado geral de forma probabilística: a probabilidade para uma execução de  $U$  produzir uma bola branca, ou o resultado  $B$ , é 0,6; em símbolos:

$$a) \quad P(B,U) = 0,6$$

Analogamente, a probabilidade de obter cara como resultado do experimento fortuito  $M$  de atirar uma moeda sem defeitos é dada por

$$b) \quad P(C,M) = 0,5$$

e a probabilidade de obter um ás como resultado do experimento fortuito de lançar um dado regular é

$$c) \quad P(A,D) = 1/6$$

Que significam esses enunciados? De acordo com uma opinião muito divulgada, chamada às vezes de concepção "clássica" da probabilidade, o enunciado  $a$ ) teria que ser interpretado da seguinte maneira: cada execução de  $U$  efetua uma escolha de uma entre 1000 possibilidades básicas, ou alternativas básicas, individualmente representadas pelas bolas na urna; dessas possíveis escolhas, 600 são "favoráveis" ao resultado  $B$ ; a probabilidade de tirar uma bola branca é simplesmente o

quociente entre o número de escolhas favoráveis disponíveis e o número de todas as escolhas possíveis, isto é, 600/1000. A interpretação clássica de  $b$ ) e  $c$ ) seria análoga.

Mas esta caracterização é inadequada; se antes de cada extração as 600 bolas brancas estivessem colocadas abaixo das 400 restantes — nova espécie de experimento com a urna que chamaremos  $U'$  — o quociente entre as alternativas básicas favoráveis e as possíveis continuaria o mesmo, mas a probabilidade de tirar uma bola branca seria menor que em  $U$ , onde houve mistura completa das bolas antes de cada extração. A concepção clássica leva em conta esta dificuldade exigindo que as alternativas básicas, mencionadas na sua definição de probabilidade, sejam "equipossíveis" ou "equiprováveis" — exigência presumivelmente violada no caso do experimento  $U'$ .

Esta cláusula adicional levanta a questão de como definir equipossibilidade ou equiprobabilidade. Questão penosa e controvertida, passaremos por cima dela porque — mesmo admitindo que a equiprobabilidade tivesse sido satisfatoriamente caracterizada — a concepção clássica ainda assim seria inadequada, pois se atribuem também probabilidades a resultados de experimentos fortuitos para os quais não se conhece maneira plausível de assinalar alternativas básicas equiprováveis. Por exemplo, para o experimento fortuito  $D$  de lançar um dado regular, as seis faces podem ser consideradas como representativas das alternativas equiprováveis; mas atribuímos probabilidades a resultados como sair um ás, ou um número ímpar de pontos etc., também no caso de um dado carregado, mesmo sem poder indicar quais resultados básicos seriam equiprováveis.

Para chegarmos a uma interpretação mais satisfatória dos nossos enunciados probabilísticos, consideremos como se poderia avaliar a probabilidade de sair um ás com um dado que se sabe não ser regular. Obviamente poderíamos consegui-lo fazendo um grande número de lançamentos e achando a *freqüência relativa*, isto é, a proporção dos casos em que o ás ficou para cima. Se, por exemplo, o experimento  $D'$  de lançar o dado é realizado 300 vezes e o ás fica para cima em 62 casos, então a freqüência relativa 62/300 seria considerada como um valor aproximado da probabilidade  $p(A,D')$  de obter um ás com o dado. Procedimentos análogos poderiam ser usados para estimar as probabilidades associadas com o lançamento de uma moeda, a rotação de uma roleta etc. De modo semelhante, as



probabilidades associadas com a desintegração radioativa, com as transições entre diferentes estados de energia atômica, com processos genéticos etc., são determinadas pela averiguação das frequências relativas correspondentes; entretanto, isso é muitas vezes feito por meios altamente indiretos e não pela contagem de eventos atômicos individuais ou eventos individuais das outras espécies relevantes.

A interpretação em termos de frequências relativas se aplica também a enunciados como *b*) e *c*), concernentes a resultados do lançamento de uma moeda perfeita (isto é, homogênea e rigorosamente cilíndrica) ou do lançamento de um dado regular (homogêneo e rigorosamente cúbico): o que interessa ao cientista (ou ao jogador, neste caso) ao fazer um enunciado probabilístico é a frequência relativa com que um certo resultado *R* pode ser esperado numa longa série de repetições de certo experimento fortuito *F*. A contagem das alternativas básicas "equiprováveis" e das que, dentre elas, são "favoráveis" a *R*, pode ser considerada como um recurso heurístico para adivinhar a frequência relativa de *R*. E na verdade, quando um dado ou uma moeda regular são lançados um grande número de vezes, as diferentes faces tendem a ficar para cima com igual frequência. Isso poderia ser esperado por considerações de simetria, do gênero freqüentemente usado na formação das hipóteses físicas, pois nosso conhecimento empírico não fornece razão alguma para se esperar que qualquer uma das faces seja mais favorecida que as outras. Tais considerações são muitas vezes úteis heurísticamente, mas não devem ser estimadas como certas ou como verdades evidentes por si mesmas: suposições de simetria assaz plausíveis, como a do princípio de paridade, foram refutadas pela experiência no nível subatômico. Suposições sobre equiprobabilidades estão portanto sempre sujeitas a correção à luz dos dados empíricos sobre as reais frequências relativas do fenômeno em questão. Este ponto fica ilustrado também pelas teorias estatísticas dos gases desenvolvidas por Bose e Einstein e por Fermi e Dirac, respectivamente, que se apóiam em diferentes suposições sobre a equiprobabilidade das distribuições de partículas num espaço das fases.

As probabilidades especificadas nas leis probabilísticas representam portanto frequências relativas. Entretanto, não podem, a rigor, ser definidas como frequências relativas numa longa série de repetições do experimento fortuito relevante. Pois a proporção, digamos, dos ases obtidos pelo lançamento

de um certo dado mudará, ainda que muito pouco, à medida que se prolonga a série de lançamentos e mesmo em duas séries que têm exatamente a mesma extensão o número de ases é comumente diferente. Acha-se entretanto que, à medida que cresce o número de lançamentos, a frequência relativa de cada um dos diferentes resultados tende a mudar cada vez menos, ainda que os resultados dos sucessivos lançamentos continuem a variar de maneira irregular e praticamente imprevisível. Esta é em geral a característica de um experimento fortuito *F* com resultados  $R_1, R_2, \dots, R_n$ : execuções sucessivas de *F* dão um ou outro desses resultados de uma maneira irregular, mas a frequência relativa dos resultados tende a se tornar estável quando o número de execuções aumenta. E as probabilidades dos resultados  $p(R_1, F), p(R_2, F), \dots, p(R_n, F)$  podem ser consideradas como valores ideais que as frequências reais tendem a assumir à medida que se tornam cada vez mais estáveis. Por conveniência matemática, as probabilidades são definidas às vezes como os *limites* matemáticos para os quais convergem as frequências relativas quando o número de execuções aumenta indefinidamente. Mas essa definição tem certos defeitos conceptuais e, em estudos matemáticos mais recentes sobre o assunto, o conteúdo empírico almejado para o conceito de probabilidade é deliberadamente, e por boas razões, caracterizado de modo mais vago por meio da chamada *interpretação estatística da probabilidade*:<sup>5</sup>

O enunciado

$$p(R, F) = f$$

significa que numa longa série de execuções do experimento fortuito *F* é quase certo que a proporção dos casos com resultado *R* seja próxima de *f*. O conceito de *probabilidade estatística* assim caracterizado deve ser cuidadosamente distinguido do conceito de *probabilidade lógica ou indutiva*, que consideramos no capítulo 4. A probabilidade lógica é uma relação lógica entre *enunciados* precisos; a sentença

$$c(H, K) = f$$

<sup>5</sup> Maiores detalhes sobre o conceito de probabilidade estatística e sobre os defeitos da definição como um limite são encontrados na monografia de E. Nagel, *Principles of the Theory of Probability* (Chicago: University of Chicago Press, 1939). Nossa versão da interpretação estatística segue a dada por H. Cramer nas páginas 148-49 do seu livro *Mathematical Method of Statistics* (Princeton: Princeton University Press, 1946).

assevera que a hipótese  $H$  é sustentada, ou tornada provável, com grau  $f$  pela evidência formulada no enunciado  $K$ . A probabilidade estatística é uma relação quantitativa entre espécies reproduzíveis de eventos: uma certa espécie de resultado,  $R$ , e uma certa espécie de processo fortuito,  $F$ ; representa, grosso modo, a frequência relativa com que o resultado  $R$  tende a ocorrer numa longa série de execuções de  $F$ .

O que os dois conceitos possuem em comum são suas características matemáticas: ambos satisfazem aos princípios básicos da teoria matemática da probabilidade:

a) Os valores numéricos possíveis de ambas as probabilidades variam de 0 a 1:

$$\begin{aligned} 0 &\leq p(R,F) \leq 1 \\ 0 &\leq c(H,K) \leq 1 \end{aligned}$$

b) A probabilidade para que ocorra um de dois resultados que se excluem mutuamente é a soma das probabilidades dos resultados tomados separadamente; a probabilidade, com qualquer evidência  $K$ , para que valha uma ou outra de duas hipóteses que se excluem mutuamente, é a soma das probabilidades respectivas:

$$\begin{aligned} \text{Se } R_1, R_2 \text{ se excluem mutuamente, então} \\ p(R_1 \text{ ou } R_2, F) &= p(R_1, F) + p(R_2, F) \\ \text{Se } H_1, H_2 \text{ são hipóteses que se excluem logicamente, então} \\ c(H_1 \text{ ou } H_2, K) &= c(H_1, K) + c(H_2, K) \end{aligned}$$

c) A probabilidade de um resultado que ocorre necessariamente em todos os casos — tal como  $R$  ou não  $R$  — é 1; a probabilidade, com qualquer evidência, de uma hipótese que é logicamente (e neste sentido necessariamente) verdadeira, tal como  $H$  ou não  $H$ , é 1:

$$\begin{aligned} p(R \text{ ou não } R, F) &= 1 \\ c(H \text{ ou não } H, K) &= 1 \end{aligned}$$

As hipóteses científicas que têm a forma de enunciados de probabilidade estatística podem ser, e o são, verificadas pelo exame das frequências relativas em longas séries de execuções; e, falando em linhas gerais, a confirmação delas é julgada em termos da proximidade do acordo entre as probabilidades hipotéticas e as frequências observadas. A lógica de

tais verificações, entretanto, apresenta problemas especiais que pedem por um exame, ainda que breve.

Consideremos a hipótese,  $H$ , de que a probabilidade de lançar um ás com um certo dado seja 0,15; em notação concisa  $p(A,D) = 0,15$ , onde  $D$  é o experimento fortuito de lançar o dado em questão. A hipótese  $H$  não implica dedutivamente quantos ases sairão numa série finita de lançamentos. Não implica, por exemplo, que exatamente em 75 dos primeiros 500 lançamentos sairá um ás, nem mesmo que o número de vezes em que sairá um ás esteja compreendido, digamos, entre 50 e 100. Logo, se a proporção dos ases realmente obtida num grande número de lançamentos diferir consideravelmente de 0,15, isso não refuta  $H$  no sentido em que uma hipótese de forma estritamente universal, como “Todos os cisnes são brancos”, pode ser refutada por um só contra-exemplo, como o de um cisne preto, em virtude do argumento *modus tollens*. Analogamente, se numa longa série de lançamentos a proporção dos ases aparecer de fato muito próxima de 0,15, isso não confirma  $H$  no sentido em que uma hipótese fica confirmada pela descoberta de que uma sentença  $I$ , logicamente implicada por ela, é de fato verdadeira. Pois, neste último caso, a hipótese assevera  $I$  por implicação lógica e o resultado da verificação é confirmatório no sentido de mostrar que uma certa parte do que a hipótese assevera é de fato verdadeira. Mas nada de estritamente análogo fica mostrado para  $H$  por medidas de frequência confirmatórias, pois  $H$  não assevera por implicação que a frequência dos ases numa longa série de lançamentos será certamente muito próxima de 0,15.

Mas embora  $H$  não impeça logicamente que a proporção dos ases obtidos numa longa série de lançamentos possa afastar-se grandemente de 0,15, certamente implica logicamente que esses afastamentos sejam altamente improváveis no sentido estatístico, isto é, que se repetirmos um grande número de vezes o experimento de executar uma longa série de lançamentos (digamos, 1000 deles por série), então somente uma diminuta proporção dessas longas séries produzirá uma proporção de ases que difere consideravelmente de 0,15.

Admite-se habitualmente que os resultados de sucessivos lançamentos de um mesmo dado sejam “estatisticamente independentes”, isto é, grosso modo, que a probabilidade de obter um ás num lançamento não dependa do resultado do lançamento precedente. A análise matemática mostra que, juntamente

com esta suposição de independência, nossa hipótese  $H$  determina dedutivamente a probabilidade estatística para que a proporção dos ases obtidos em  $n$  lançamentos não difira de 0,15 além de uma quantidade determinada. Por exemplo, é de 0,976 a probabilidade para que, numa série de 1000 lançamentos, a proporção dos ases obtidos fique entre 0,125 e 0,175; e é de 0,995 a probabilidade para que, em 10000 lançamentos, a proporção dos ases fique entre 0,14 e 0,16. Pode-se dizer então que, sendo  $H$  verdadeira, é praticamente certo que numa longa série de execuções a proporção dos ases diferirá muito pouco da probabilidade hipotética 0,15. Logo, se a frequência observada de um resultado numa longa série não estiver próxima da probabilidade a ela atribuída por uma hipótese probabilística, então é muito provável que a hipótese seja falsa. Neste caso, a frequência observada conta como uma desconfirmação da hipótese ou como redução de sua credibilidade; e se for achada uma evidência desconfirmadora suficientemente forte, a hipótese será considerada como praticamente refutada, embora não logicamente, e será por isso rejeitada. Analogamente, uma concordância estreita entre probabilidade hipotética e frequência observada tenderá a confirmar a hipótese probabilística e pode levar à sua aceitação. Para que hipóteses probabilísticas sejam aceitas ou rejeitadas à luz da evidência estatística fornecida pelas frequências observadas, há que apelar para normas apropriadas que determinarão *a)* quais desvios das frequências observadas em relação às probabilidades enunciadas por uma hipótese podem ser considerados como razões para rejeitar a hipótese e *b)* com que aproximação devem as frequências observadas concordar com a probabilidade hipotética para que se possa aceitar a hipótese. Essas normas podem ser mais ou menos rígidas conforme a escolha e serão de uma severidade variável em geral com o contexto e com os objetivos da pesquisa em questão. Em linhas gerais, a severidade dependerá da importância que se dá, no contexto, à conveniência de evitar duas espécies possíveis de erro: rejeitar a hipótese que está sendo examinada apesar de ser ela verdadeira e aceitá-la apesar de falsa. A importância deste ponto é particularmente clara quando a aceitação ou a rejeição da hipótese serve de base à ação prática. Por exemplo, se a hipótese se refere à provável eficácia e segurança de uma nova vacina, a decisão sobre sua aceitação terá que levar em conta o grau de concordância dos resultados estatísticos com as probabilidades especificadas pela

hipótese, mas também quão séria seria a consequência de aceitar a hipótese e agir em conformidade (*v. g.*, inoculando crianças com a vacina) quando de fato ela é falsa ou de rejeitar a hipótese e agir em consequência (*e. g.*, destruindo a vacina e modificando ou interrompendo o processo de manufatura) quando de fato a hipótese é verdadeira. Os problemas complexos que surgem neste contexto formam a matéria da teoria das verificações e decisões estatísticas, que se desenvolveu nas décadas recentes baseada na teoria matemática da probabilidade e estatística.<sup>6</sup>

Muitas leis e muitos princípios teóricos importantes das Ciências Naturais são de caráter probabilístico, embora sejam freqüentemente de forma mais complicada que os simples enunciados de probabilidade que discutimos. Por exemplo, de acordo com a teoria física corrente, a desintegração radioativa é um fenômeno fortuito em que os átomos de cada elemento radioativo possuem uma probabilidade característica de desintegrar durante um determinado período de tempo. As leis probabilísticas correspondentes são usualmente formuladas como enunciados que dão a "vida média" do elemento referido por eles. Assim, as leis de que a "vida média" do rádio<sup>226</sup> é de 1620 anos e a do polônio<sup>218</sup> é de 3,05 minutos significam ser de 1/2 a probabilidade para um átomo de rádio<sup>226</sup> desintegrar-se dentro de 1620 anos e ser de 1/2 a probabilidade para um átomo de polônio desintegrar-se dentro de 3,05 minutos. De acordo com a interpretação estatística citada anteriormente, essas leis implicam que, de um grande número de átomos de rádio<sup>226</sup> ou de polônio<sup>218</sup> existentes a um certo instante, praticamente a metade continuará existindo ainda 1620 anos ou 3,05 minutos depois; a outra parte desintegrou-se radioativamente. Outro exemplo bem conhecido é o das hipóteses feitas em teoria cinética para explicar várias uniformidades no comportamento dos gases, inclusive as leis de Termodinâmica: são hipóteses probabilísticas sobre a regularidade estatística nos movimentos e nos choques das moléculas.

Convém finalmente acrescentar algumas observações sobre a noção de lei probabilística. Poderia parecer que todas as leis científicas devessem ser classificadas como probabilísticas, de vez

6 Sobre o assunto, ver R. D. Luce e H. Raiffa, *Games and Decisions* (Nova York: John Wiley & Sons, Inc., 1957).

que a evidência de apoio achada para elas é sempre a de um conjunto de descobertas e verificações finita e logicamente inconclusivo, que lhes pode conferir somente uma probabilidade mais ou menos alta. Mas este argumento esquece que a distinção entre leis de forma universal e leis de forma probabilística não se refere à força do suporte evidencial para os dois tipos de enunciado, mas à forma deles, que reflete o caráter lógico do que eles afirmam. Uma lei de forma universal é essencialmente uma afirmação de que em *todos* os casos onde são realizadas condições da espécie *F*, realizam-se também condições da espécie *G*; uma lei de forma probabilística assevera, essencialmente, que sob certas condições, que constituem a execução de um experimento fortuito *R*, uma certa espécie de resultado ocorrerá numa determinada percentagem dos casos. Verdadeiros ou não, bem amparados ou mal amparados, esses dois tipos de afirmação diferem quanto ao caráter lógico e é sobre essa diferença que se baseia a nossa distinção.

Como foi visto antes, uma lei de forma universal 'Sempre que *F* então *G*' não é de modo algum o equivalente abreviado de um relatório onde se registrou a associação de uma ocorrência de *G* a cada ocorrência de *F* até então examinada. Pois contém também asserções sobre todos os casos não examinados de *F*, passados, presentes e futuros; e implica, ainda, condicionais contrafatuais e hipotéticos sobre, por assim dizer, "possíveis ocorrências de *F*": é justamente essa característica que dá a essas leis o seu poder explanatório. E o mesmo se pode dizer das leis de forma probabilística. A lei que diz ser a desintegração radioativa do rádio<sup>226</sup> um processo fortuito com uma vida média associada de 1620 anos não equivale evidentemente a um relatório sobre as taxas de desintegração que foram observadas em certas amostras de rádio<sup>226</sup>. Ela refere-se ao processo de desintegração de qualquer corpo de rádio<sup>226</sup>, passado, presente ou futuro; e implica condicionais subjuntivos e contrafatuais como, por exemplo: se dois corpos de rádio<sup>226</sup> forem combinados num só, as taxas de desintegração permanecerão as mesmas como se os dois corpos se mantivessem separados. Aqui também esta é a característica que dá às leis probabilísticas sua força preditiva e explanatória.

## O CARÁTER INDUTIVO DA EXPLICAÇÃO PROBABILÍSTICA

Um dos tipos mais simples de explicação probabilística é o que está ilustrado pelo nosso exemplo do sarampo de Paulinho. A forma geral desse argumento explanatório pode ser enunciada do seguinte modo:

$$\frac{p(R,F) \text{ é próximo de } 1}{i \text{ é um caso de } F} \quad (\text{faz altamente provável})$$

$$i \text{ é um caso de } R$$

Ora, a alta probabilidade que, conforme está indicado entre colchetes, o *explanans* confere ao *explanandum*, certamente não é uma probabilidade estatística, pois caracteriza uma relação entre sentenças e não entre (espécies de) eventos. Podemos dizer, empregando um termo introduzido no capítulo 4, que a probabilidade em questão representa a credibilidade racional do *explanandum*, dada a informação fornecida pelo *explanans*; e como foi notado anteriormente, na medida em que essa noção pode ser interpretada como uma probabilidade ela representa uma probabilidade lógica ou indutiva.

Em alguns casos simples, existe um modo natural e óbvio de exprimir numericamente esta probabilidade. Se, por exemplo, for determinado o valor numérico de  $p(R,F)$  num argumento do tipo que vimos de considerar, então será razoável dizer que a probabilidade indutiva conferida pelo *explanans* ao *explanandum* tem este mesmo valor numérico; a explicação probabilística resultante tem a forma:

$$\frac{p(R,F) = f}{i \text{ é um caso de } F} \quad (r)$$

$$i \text{ é um caso de } R$$

Se o *explanans* for mais complexo, a determinação das correspondentes probabilidades indutivas para o *explanandum* levanta problemas difíceis, em parte ainda não resolvidos. Mas, seja ou não possível atribuir probabilidades numéricas exatas a todas essas explicações, as considerações precedentes mostram que quando um evento é explicado mediante leis probabilísticas, o *explanans* confere ao *explanandum* somente um suporte indutivo mais ou menos forte. Podemos então distinguir as explicações dedutivo-nomológicas das explicações probabilísticas di-

zendo que as primeiras efetuam uma subsunção dedutiva sob leis de forma universal e que as últimas efetuam uma subsunção indutiva sob leis de forma probabilística.

Diz-se às vezes que justamente por causa do seu caráter indutivo, uma interpretação probabilística não explica a ocorrência de um evento, já que o *explanans* não exclui logicamente a sua não-ocorrência. Mas o papel importante e cada vez maior que as leis e as teorias probabilísticas desempenham na ciência e nas suas aplicações faz que seja preferível considerar as interpretações baseadas nesses princípios também como explicações, embora de espécie menos rigorosa que as de forma dedutivo-nomológica. Tomemos, para exemplo, a desintegração radioativa de um miligrama de polônio<sup>218</sup>. Suponhamos que o que fica dessa quantidade após 3,05 minutos tenha uma massa compreendida entre 0,499 e 0,501 miligramas. Podemos dizer que este fato fica explicado pela lei probabilística da desintegração do polônio<sup>218</sup>; pois essa lei, em combinação com os princípios da probabilidade matemática, implica dedutivamente que, dado o enorme número de átomos num miligrama de polônio<sup>218</sup>, a probabilidade do resultado mencionado é incomparavelmente maior, de modo que a sua ocorrência num caso particular pode ser esperada com “certeza prática”.

Tomemos, para outro exemplo, a explicação dada pela teoria cinética dos gases para a generalização estabelecida empiricamente que se chamou lei de difusão de Graham. Segundo ela, nas mesmas condições de temperatura e de pressão, as velocidades com que diferentes gases escapam, ou difundem-se, através de uma parede porosa delgada são inversamente proporcionais às raízes quadradas dos seus pesos moleculares; de modo que, quanto maior for a quantidade de gás difundida por segundo através da parede, mais leves serão as suas moléculas. A explicação se apóia na consideração de que a massa do gás que se difunde através da parede, por segundo, é proporcional à velocidade média de suas moléculas e, portanto, que a lei de Graham terá sido explicada se se puder mostrar que as velocidades moleculares médias dos diferentes gases puros são inversamente proporcionais às raízes quadradas dos seus pesos moleculares. Para mostrá-lo, a teoria faz certas suposições cuja significação ampla é a de que um gás consiste de um número muito grande de moléculas movendo-se ao acaso com velocidades diferentes, que mudam freqüentemente em

virtude das colisões, e que este comportamento fortuito exhibe certas uniformidades probabilísticas — em particular, a de que as moléculas de um dado gás, com temperatura e pressão determinadas, terão diferentes velocidades cujas ocorrências têm probabilidades diferentes bem determinadas. Essas suposições permitem calcular os valores probabilisticamente esperados — os chamados valores “mais prováveis” — que as velocidades médias dos diferentes gases possuirão nas mesmas condições de temperatura e pressão. Como mostra a teoria, esses valores médios mais prováveis são de fato inversamente proporcionais às raízes quadradas dos pesos moleculares dos gases. Mas as velocidades reais de difusão, que são medidas experimentalmente e estão sujeitas à lei de Graham, dependem dos valores reais que as velocidades médias têm nos vastos mas finitos enxames de moléculas que constituem os gases em questão. E os valores médios reais estão relacionados aos correspondentes avaliados probabilisticamente, aos valores “mais prováveis”, de maneira que é essencialmente análoga à relação entre a proporção de gases que ocorrem numa vasta mas finita série de lançamentos de um mesmo dado e a correspondente probabilidade de sair um ás com este dado. Do que teoricamente se concluiu sobre as avaliações probabilísticas segue-se apenas que, em vista do número muito grande de moléculas envolvidas, é esmagadoramente *provável* que a qualquer instante as velocidades médias reais tenham valores muito próximos dos “mais prováveis” e que, portanto, é *praticamente certo* que elas sejam, como estes, inversamente proporcionais às raízes quadradas de suas massas moleculares, satisfazendo assim à lei de Graham.<sup>7</sup>

Parece razoável dizer que esta interpretação fornece uma explicação, embora “apenas” com probabilidade associada muito alta, da razão pela qual os gases exibem a uniformidade expressa pela lei de Graham; de fato, nos compêndios e nos tratados de Física, as interpretações teóricas deste gênero probabilístico são amplamente apresentadas como explicações.

7 As velocidades “médias” aqui mencionadas são tecnicamente definidas como velocidades quadráticas médias. Um esboço sucinto da explicação teórica da lei de Graham pode ser achada no cap. 25 de Holton e Roller, *Foundations of Modern Physical Science*. A distinção, não mostrada explicitamente nessa apresentação, entre o valor médio de uma grandeza para um número finito de casos e o valor avaliado ou esperado probabilisticamente dessa grandeza está rapidamente discutida no cap. 6 (especialmente seção 4) de R. P. Feynman, R. B. Leighton e M. Sands, *The Feynman Lectures on Physics* (Reading, Mass.; Addison-Wesley Publishing Co., 1963).

## AS TEORIAS E A EXPLICAÇÃO TEÓRICA

### AS CARACTERÍSTICAS GERAIS DAS TEORIAS

Nos capítulos precedentes tivemos repetidamente ocasião de mencionar o importante papel que as teorias desempenham na explicação científica. Vamos agora examinar sistematicamente e com alguma minúcia a natureza e a função delas.

Uma teoria é usualmente introduzida quando um estudo prévio de uma classe de fenômenos revelou um sistema de uniformidades que podem ser expressas em forma de leis empíricas. A teoria procura então explicar essas regularidades e, em geral, proporcionar uma compreensão mais profunda e mais apurada dos fenômenos em questão. Com este fim, interpreta os fenômenos como manifestações de entidades e de processos que estão, por assim dizer, por trás ou por baixo deles e que são governados por leis teóricas características, ou princípios teóricos, que permitem explicar as uniformidades empíricas previamente descobertas e, quase sempre, prever "novas" regularidades. Consideremos alguns exemplos.

Os sistemas de Ptolomeu e Copérnico procuraram explicar os movimentos observados, "aparentes", dos astros, mediante suposições apropriadas sobre seus movimentos "reais" e sobre a estrutura do universo. As teorias corpuscular e ondulatória da luz explicaram as uniformidades previamente estabelecidas, expressas nas leis da propagação retilínea, da reflexão, da refração e da difração, como conseqüências das leis básicas admitidas para os processos subjacentes que descreviam a natureza da luz. Assim é que a refração de um feixe de luz ao passar do ar para o vidro foi explicada, pela teoria ondulatória de Huyghens, como conseqüência de serem as ondas luminosas mais lentas num meio mais denso e, pela teoria corpuscular de Newton, como devida à atração mais forte exercida sobre as partículas de luz pelo meio mais denso. Acidental-

mente, esta concepção não implicava somente o observado desvio de um feixe luminoso; combinada com outras suposições básicas da teoria de Newton, implicava também que as partículas de luz são aceleradas quando penetram em meio mais denso e não retardadas como afirmava a teoria de Huyghens. Essas implicações antagônicas foram submetidas a uma verificação cerca de duzentos anos mais tarde por Foucault, na experiência rapidamente mencionada no capítulo 3 e cujo resultado apoiou a implicação relevante da teoria ondulatória.

Para dar mais um exemplo, a teoria cinética dos gases fornece explicações para uma vasta variedade de regularidades empiricamente estabelecidas, concebendo-as como manifestações de regularidades estatísticas em subjacentes fenômenos moleculares e atômicos.

As entidades e os processos básicos introduzidos por uma teoria, assim como as leis admitidas para governá-los, devem ser especificadas com clareza e precisão apropriadas; de outro modo, a teoria não poderia servir ao seu propósito científico. Este ponto importante é ilustrado pela concepção neovitalista dos fenômenos biológicos. É bem sabido que os sistemas vivos exibem uma variedade impressionante de aspectos distintamente teleológicos, isto é, caracterizados pelo fim a que se destinam. Recordemos, entre outros, a regeneração em certas espécies dos membros amputados; o desenvolvimento, em outras espécies, de organismos normais a partir de embriões que foram avariados ou mesmo cortados em vários pedaços no início do crescimento; e a notável coordenação de numerosos processos num organismo em desenvolvimento que, como se obedecesse a um plano comum, conduz ao indivíduo adulto. De acordo com o neovitalismo, esses fenômenos não ocorrem nos sistemas desprovidos de vida e não podem ser explicados por meio de conceitos e leis da Física e da Química somente; antes, são manifestações de agentes teleológicos subjacentes, de natureza não-física, denominados forças vitais ou enteléquias. Agem, as enteléquias, de maneira específica que se admite não violar os princípios da Física e da Química e que, dentro das possibilidades deixadas em aberto por esses princípios, dirigem os processos orgânicos de tal modo que, mesmo na presença de fatores perturbadores, os embriões se transformam em indivíduos normais e os organismos adultos, quando afastados do estado de funcionamento apropriado, são a ele reconduzidos.

Esta concepção parece fornecer-nos uma compreensão mais profunda desses notáveis fenômenos biológicos dando-nos a impressão de ficarmos mais familiarizados, mais “à vontade” com eles. Mas, compreender neste sentido não é o que se quer em ciência e um sistema conceptual que explique os fenômenos neste sentido intuitivo não será, somente por esta razão, qualificado como uma teoria científica. As suposições feitas por uma teoria científica sobre os processos subjacentes devem ser suficientemente precisas para permitir a derivação de implicações específicas concernentes aos fenômenos que ela pretende explicar. E a isso a doutrina neovitalista não satisfaz. Não indica sob que circunstâncias as enteléquias entram em ação, nem de que modo específico dirigem os processos biológicos: nenhum aspecto particular do desenvolvimento do embrião, por exemplo, pode ser inferido da doutrina, nem esta nos habilita a prever que comportamento biológico ocorrerá sob determinadas condições experimentais. Por isso, quando um novo tipo de “diretiva orgânica” é encontrado, tudo que a doutrina neovitalista nos permite fazer é um pronunciamento *post factum*: “Mais uma manifestação das forças vitais!”, nenhuma base ela nos oferece para dizer: “Isso é justamente o que se deveria esperar em virtude das suposições teóricas — a teoria o explica!”

Esta inadequação de neovitalismo não é devida à circunstância de serem as enteléquias concebidas como agentes imateriais, que não podem ser vistos ou tocados. É o que se vê claramente quando o comparamos com a explicação dos movimentos planetários fornecida pela teoria de Newton. Ambas as concepções invocam agentes imateriais: forças vitais por uma, forças gravitacionais pela outra. Mas a teoria newtoniana contém hipóteses específicas, expressas pelas leis do movimento e pela lei da gravitação, que determinam: *a*) quais forças gravitacionais cada conjunto de corpos físicos com massas e posições conhecidas exerce sobre os outros, e *b*) quais mudanças de velocidade e, conseqüentemente, de localização são provocadas por essas forças. É esta característica que dá à teoria o poder de explicar as uniformidades previamente observadas e também o de prever e retrodizer. Poder de que Halley tirou partido para prever que o cometa por ele observado em 1682 voltaria em 1759 e para identificá-lo aos cometas cujo aparecimento havia sido registrado em seis ocasiões prévias, remontando ao ano de 1066. Poder que permitiu a espetacular descoberta do planeta Netuno, na posição prevista pelo cálculo feito a partir das

irregularidades registradas no movimento de Urano e, posteriormente, a descoberta de Plutão baseada nas irregularidades da órbita de Netuno.

#### OS PRINCÍPIOS INTERNOS E OS PRINCÍPIOS DE TRANSPOSIÇÃO

Podemos então dizer, em linhas gerais, que a formulação de uma teoria pedirá a especificação de dois tipos de princípios que chamaremos abreviadamente de princípios internos e princípios de transposição.\* Os primeiros caracterizarão as entidades e os processos básicos invocados pela teoria, assim como as leis a que supostamente obedecem. Os últimos indicarão como esses processos estão relacionados aos fenômenos empíricos com que já estamos familiarizados e que a teoria pode então explicar, prever ou retrodizer. Vejamos alguns exemplos.

Na teoria cinética dos gases, os princípios internos são os que caracterizam os “microfenômenos” em nível molecular e os princípios de transposição são os que ligam certos aspectos dos microfenômenos a correspondentes feições “macroscópicas” de um gás. Na explicação da lei de difusão de Graham, discutida na sexta parte do capítulo 5, os princípios internos incluem as suposições sobre o caráter fortuito dos movimentos moleculares e as leis probalísticas que os governam e os princípios de transposição contêm a hipótese sobre a proporcionalidade da taxa de difusão, que é característica macroscópica do gás, à velocidade média de suas moléculas, que é quantidade definida em termos de “micronível”.

Na explicação pela teoria cinética da lei de Boyle, segundo a qual a pressão de um gás, à temperatura constante, é inversamente proporcional ao seu volume, as hipóteses internas invocadas são as mesmas que para a lei de Graham; a ligação com a macroquantidade, pressão, é estabelecida pela hipótese de que a pressão exercida por um gás sobre o recipiente que o contém resulta dos choques das moléculas sobre as paredes desse recipiente e é quantitativamente igual ao valor médio da quantidade de movimento total que as moléculas comunicam por segundo à unidade de área da parede. Essas suposições levam a concluir que a pressão de um gás é inversamente proporcional ao seu volume e diretamente proporcional à energia cinética

\* Literalmente, “princípios-ponte” (*bridge principles*). (N. do T.)

média de suas moléculas. A explicação usa então uma segunda hipótese de transposição: a de que a energia cinética média das moléculas de uma determinada massa de gás permanece constante enquanto permanecer constante a temperatura; este princípio, junto com a prévia conclusão, conduz evidentemente à lei de Boyle.

Nestes dois exemplos pode-se dizer dos princípios de transposição que eles ligam certas entidades admitidas, que não podem ser observadas ou medidas diretamente (tais como as moléculas, suas massas, suas quantidades de movimento e suas energias), com aspectos mais ou menos diretamente observáveis ou mensuráveis de sistemas físicos de tamanho médio (*e.g.*, a temperatura medida por um termômetro ou a pressão medida por um manômetro). Mas os princípios de transposição nem sempre relacionam “inobserváveis teóricos” com “observáveis experimentais”, como mostra a explicação dada por Bohr da generalização empírica expressa pela fórmula de Balmer, que permite, como vimos, calcular facilmente os comprimentos de onda das raías discretas que aparecem (em número teoricamente infinito) no espectro do hidrogênio. A explicação de Bohr está baseada nas seguintes hipóteses: *a*) a luz emitida pelo vapor “excitado” elétrica ou termicamente resulta da energia libertada quando os elétrons nos átomos individuais saltam para um nível energético mais baixo; *b*) para um elétron de um átomo de hidrogênio só são permitidos níveis energéticos que formam um conjunto discreto (teoricamente infinito); *c*) a energia  $\Delta E$  libertada por um salto de elétron produz luz de um comprimento de onda  $\lambda$  dado pela lei  $\lambda = (h \cdot c) / \Delta E$  onde  $h$  é a constante universal de Planck e  $c$  é a velocidade da luz. Em consequência, cada uma das raías no espectro de hidrogênio corresponde a um “salto quântico” entre dois níveis energéticos determinados, e a fórmula de Balmer decorre rigorosamente das hipóteses teóricas de Bohr. Os princípios internos invocados aqui incluem as hipóteses que caracterizam o modelo de Bohr para o átomo de hidrogênio como constituído de um núcleo positivo e de um elétron que se move em torno dele em uma ou outra de uma série de órbitas possíveis, cada uma das quais corresponde a um nível de energia; e da hipótese *b*) acima. As hipóteses *a*) e *c*) são princípios de transposição: correlacionam as entidades teóricas “inobserváveis” com o que deve ser explicado — os comprimentos de onda das raías existentes no espectro de emissão do hidrogênio. Esses comprimentos de onda

não são observáveis no sentido ordinário da palavra, e não podem ser medidos tão simplesmente e tão diretamente como, digamos, o comprimento e a largura de um retrato ou o peso de um saco de batatas. A medição deles é um procedimento altamente indireto que se apóia em numerosas suposições, entre as quais as da teoria ondulatória da luz. Mas no contexto que estamos considerando, essas suposições, mais do que admitidas, estão pressupostas no próprio enunciado da uniformidade para a qual se procura uma explicação. Assim, os fenômenos que correspondem pelos princípios de transposição às entidades e aos processos básicos postulados por uma teoria não precisam ser “diretamente” observáveis ou mensuráveis: podem muito bem ser caracterizados em termos de teorias previamente estabelecidas, cujos princípios estão pressupostos na observação e na medição deles.

Sem princípios de transposição, como vimos, uma teoria não teria poder explanatório. Podemos acrescentar agora que sem eles ela seria inverificável. Pois os princípios internos de uma teoria tratam de peculiares entidades e processos postulados por ela (tais como os saltos de elétrons de um nível energético para outro, na teoria de Bohr) e são, portanto, expressos em grande parte à custa de “conceitos teóricos” característicos, que se referem a essas entidades e a esses processos. Mas as implicações desses princípios teóricos só poderão ser verificadas se forem expressas em termos de coisas e ocorrências com que já estejamos familiarizados, que saibamos de antemão observar, medir e descrever. Em outras palavras, embora sejam os princípios internos de uma teoria formulados em *termos teóricos* característicos (‘núcleo’, ‘elétron orbital’, ‘nível energético’, ‘salto quântico’), as implicações verificáveis devem ser expressas em termos (como ‘vapor de hidrogênio’, ‘espectro de emissão’, ‘comprimento de onda associado a uma raía espectral’) que, poderíamos dizer, estejam “de antemão compreendidos”, termos que tenham sido introduzidos antes da teoria e possam ser usados independentemente dela. A eles nos referiremos como *termos de antemão disponíveis* ou *termos pré-teóricos*. A derivação dessas implicações verificáveis a partir dos princípios internos da teoria requer evidentemente premissas adicionais que correlacionem os dois conjuntos de conceitos; este é o papel desempenhado pelos princípios de transposição (correlacionando por exemplo a energia liberada num salto de elétron com o comprimento de onda da luz emitida como resultado). Sem princí-



pios de transposição, os princípios internos de uma teoria não conduziriam a implicações confrontáveis com o que já nos é familiar e a exigência de verificabilidade seria violada.

#### COMPREENSÃO TEÓRICA

A verificabilidade e o poder explanatório, embora de importância decisiva, são apenas condições necessárias mínimas a serem satisfeitas por uma teoria; pois esta pode satisfazê-las sem elucidar grande coisa e sem despertar interesse científico.

Quais são as características que distinguem uma boa teoria científica não é possível dizê-lo de maneira muito precisa. Algumas delas foram sugeridas no capítulo 4, ao discutirmos o que suporta a confirmação e a aceitabilidade das hipóteses científicas. Cumpre agora acrescentar algumas observações.

Num campo de investigação onde já se conseguiu alguma compreensão pelo estabelecimento de leis empíricas, uma boa teoria aprofundará e alargará essa compreensão. Em primeiro lugar, oferecerá uma interpretação sistematicamente unificada de fenômenos bem diversos, vendo atrás deles um mesmo processo subjacente e apresentando as diferentes uniformidades empíricas exibidas por eles como manifestação das mesmas leis básicas. Toda uma enorme diversidade de regularidades empíricas (queda dos corpos; pêndulo simples; movimentos da Lua, dos planetas, dos cometas, das estrelas duplas e dos satélites artificiais; marés etc.) está subsumida nos princípios básicos da teoria newtoniana do movimento e da gravitação. Toda uma vasta variedade de uniformidades reveladas pela experiência é vista pela teoria cinética dos gases como manifestação de certas uniformidades probabilísticas fundamentais nos movimentos fortuitos das moléculas. E a teoria de Bohr do átomo de hidrogênio não fundamenta apenas a uniformidade expressa pela fórmula de Balmer, que se refere somente a uma série de raios no espectro do hidrogênio, mas também as leis empíricas análogas que representam os comprimentos de onda de outras séries de raios do mesmo espectro, inclusive várias séries cujas raias se encontram nas partes invisíveis infravermelho e ultravioleta do espectro.

Uma teoria aprofundará também nossa compreensão mostrando, como o faz freqüentemente, que as leis empíricas previamente formuladas, cuja explicação ela procura, não são a

rigor exatas e sem exceção. Assim é que a teoria de Newton mostra que as leis de Kepler só valem aproximadamente e explica por que: a órbita de um planeta que se movesse em torno do Sol, sujeito apenas à influência gravitacional deste, seria de fato uma elipse, mas a trajetória verdadeira se afasta dessa elipse rigorosa em virtude da atração exercida pelos outros planetas e de modo que a teoria permite calcular com exatidão. Analogamente a teoria de Newton interpreta a lei galileiana da queda livre como manifestação especial das leis básicas do movimento sob atração gravitacional; mas ao fazê-lo mostra também que a lei (mesmo restrita à queda livre no vácuo) só vale aproximativamente. Uma das razões é que a aceleração de queda livre não é uma constante (o dobro do fator 490 na fórmula  $s = 490t^2$ ), mas cresce durante a queda, pois segundo a segunda lei newtoniana do movimento a aceleração é diretamente proporcional à força aplicada e segundo a lei newtoniana da gravitação essa força é inversamente proporcional ao quadrado da distância que separa o corpo do centro da Terra. Observações semelhantes aplicam-se às leis de óptica geométrica encaradas do ponto de vista da teoria ondulatória da luz. Por exemplo, mesmo em meio homogêneo a luz não se propaga rigorosamente em linha reta; pode ser difratada por uma aresta. E as leis da óptica geométrica para a formação de imagens por espelhos curvos ou por lentes só valem aproximadamente e dentro de certos limites.

Poder-se-ia ficar tentado a dizer que as teorias, muitas vezes, refutam as leis previamente estabelecidas em vez de explicá-las. Mas isso seria deformar completamente a visão proporcionada pela teoria que, ao contrário, justifica com rigor a aproximação em que valem aquelas generalizações empíricas. Assim é que, segundo as leis de Newton, as leis de Kepler são perfeitamente válidas quando as massas dos planetas perturbadores são pequenas em relação à massa do Sol ou grandes são as distâncias deles ao planeta em questão relativamente à distância deste ao Sol; e a lei de Galileu vale com boa aproximação para quedas livres de pequenas alturas.

Finalmente, uma boa teoria pode alargar nosso conhecimento e nossa compreensão ao predizer e explicar fenômenos que não eram conhecidos no momento de ser formulada: a concepção torricelliana de um oceano de ar levou Pascal a prever que o comprimento da coluna barométrica diminuiria com a altitude; a teoria einsteiniana da relatividade generalizada não somente explicou a já conhecida rotação lenta da órbita de

Mercúrio mas predisse o encurvamento de um raio de luz num campo gravitacional, como foi depois confirmado por medições astronômicas; e a teoria maxwelliana do eletromagnetismo predisse a existência e características importantes das ondas eletromagnéticas, como foi posteriormente confirmado pela obra experimental de Heinrich Hertz, base da tecnologia da radiotransmissão e de tantas outras aplicações.

Previsões espetaculares como estas certamente reforçam nossa confiança numa teoria que já nos deu uma explicação sistematicamente unificada de leis previamente estabelecidas e muitas vezes também uma correção delas. A visão que a teoria nos proporciona é muito mais profunda que a fornecida por leis empíricas; daí ter-se formado a opinião de que uma explicação cientificamente adequada de uma classe de fenômenos empíricos só pode ser alcançada por uma teoria apropriada. Com efeito, parece ser um fato que, mesmo nos limitando a um estudo dos aspectos mais ou menos diretamente observáveis ou mensuráveis do nosso universo e tentando explicá-los, como foi discutido no capítulo 5, por meio de leis enunciadas em termos desses observáveis, nossos esforços teriam um sucesso bem limitado. Pois as leis que são formuladas ao nível da observação acabam por valer de um modo apenas aproximado e dentro de certos limites; recorrendo entretanto teoricamente a entidades e eventos subjacentes à superfície que nos é familiar, podemos chegar a uma exposição muito mais compreensiva e muito mais exata. Poder-se-ia mesmo pôr em dúvida que sejam concebíveis mundos mais simples onde todos os fenômenos estivessem por assim dizer na superfície observável, onde ocorressem talvez apenas mudanças de cor e de figura, dentro de uma estreita faixa de possibilidades e estritamente de acordo com algumas leis simples de forma universal.

#### O "STATUS" DAS ENTIDADES TEÓRICAS

Seja como for, foi descendo abaixo do nível dos fenômenos empíricos familiares que as Ciências Naturais conseguiram chegar às suas concepções mais profundas e de maior alcance; não é pois de surpreender que alguns pensadores considerem as estruturas, as forças e os processos subjacentes, postulados pelas teorias estabelecidas, como os únicos constituintes reais do universo. Esta é a opinião de Eddington na provocante introdução

ao seu livro *The Nature of the Physical World*. Eddington começa dizendo aos leitores que, ao sentar-se para escrever, aproximou suas cadeiras de suas duas mesas, e passa a expor as diferenças entre as duas mesas:

Uma delas me é familiar desde a infância... Tem extensão, é relativamente permanente, é colorida e, sobretudo, é *substancial*... A mesa n.º 2 é a minha mesa científica. É... feita quase que exclusivamente de vazio. Dispersas nesse vazio estão numerosas cargas elétricas movendo-se com grande velocidade; mas o tamanho total delas não chega à bilionésima parte do tamanho da própria mesa. (Entretanto) suporta o papel em que escrevo tão satisfatoriamente quanto a mesa n.º 1; pois quando coloco a folha sobre esta, há uma sucessão vertiginosa de choques das partículas elétricas contra o verso, de modo que o papel fica praticamente mantido no mesmo nível como se fora uma peteca... Tudo está em saber se o papel está equilibrado como se estivesse sobre um enxame de moscas... ou se está amparado porque existe uma substância embaixo dele, sendo propriedade intrínseca de uma substância a de ocupar espaço com exclusão de outra substância... Não preciso dizer que a Física moderna, usando uma lógica implacável e as mais delicadas experiências, convenceu-me que a minha segunda mesa, a científica, é a única que realmente está ali... Nem preciso acrescentar que a Física moderna jamais conseguirá esconjurar a primeira mesa — estranho composto de natureza exterior, de imagens mentais e de preconceito atávico — que permanece visível aos meus olhos e tangível ao meu tato.<sup>1</sup>

Mas essa concepção, por mais persuasiva que seja a sua apresentação, é insustentável. Explicar um fenômeno não é suprimi-lo. Não é o objetivo nem o efeito das explicações teóricas mostrar que as coisas e os acontecimentos familiares à experiência quotidiana não estão "realmente ali". A teoria cinética dos gases certamente não mostra que não existem coisas como os corpos macroscópicos gasosos que mudam de volume quando muda a pressão, que se difundem através das paredes porosas com velocidades características etc. e que "realmente" são apenas enxames de moléculas a zumbirem em movimentos caóticos. Ao contrário, a teoria admite sem discussão que existem esses acontecimentos e uniformidades macroscópicas e procura explicá-los em termos de microestrutura dos gases e dos microproces-

<sup>1</sup> A. S. Eddington, *The Nature of the Physical World* (Nova York: Cambridge University Press, 1929), pp. ix-xii (grifo no original); citado com gentil permissão da Cambridge University Press.

soos que estão envolvidos nas suas transformações. Que os macrofenômenos estão pressupostos pela teoria é o que se vê claramente na referência explícita que os seus princípios de transposição fazem a características macroscópicas — como a pressão, o volume, a temperatura, a velocidade de difusão — que estão associadas com macroobjetivos e macroprocessos. Do mesmo modo, a teoria atômica da matéria não nega que a mesa é um objeto substancial, sólido e duro; não discute essas coisas e procura mostrar em virtude de que aspectos dos microprocessos subjacentes a mesa exhibe aquelas características macroscópicas. Ao fazê-lo, a teoria pode, evidentemente, revelar serem enganosas certas noções particulares que poderíamos ter mantido sobre a natureza de um corpo gasoso ou de um objeto sólido, como por exemplo a noção de serem esses corpos físicos perfeitamente homogêneos, por menor que seja a parte considerada; mas, ao corrigir concepções falsas como esta, estamos longe de pretender que os objetos quotidianos e suas características familiares não estejam “realmente ali”.

Alguns cientistas e alguns filósofos da ciência são de opinião diametralmente oposta a esta que acabamos de considerar. Em linhas gerais, eles negam a existência de “entidades teóricas” ou acham que as hipóteses teóricas sobre elas são ficções engenhosamente inventadas, que permitem uma concepção formalmente simples e convenientemente descritiva e preditiva das coisas e dos acontecimentos observáveis. Esta opinião foi sustentada de várias maneiras e com razões bem diversas.

Um tipo de consideração que influenciou os recentes estudos filosóficos sobre a questão pode ser resumido da seguinte maneira: para que uma teoria tenha uma significação clara, os novos conceitos teóricos usados na sua formulação devem ser claros e objetivamente definidos em termos de conceitos já disponíveis e compreendidos. Mas, via de regra, tais definições plenas não são fornecidas na habitual formulação de uma teoria e um exame lógico mais cerrado da maneira pela qual os novos conceitos são ligados aos já disponíveis sugere que essas definições possam ser de fato inatingíveis. Mas, continua o argumento, uma teoria expressa em termos de conceitos tão inadequadamente caracterizados deve, por sua vez, carecer de uma significação plenamente definida: seus princípios, que pretendem falar sobre certas entidades e ocorrências teóricas, não são absolutamente enunciados precisos; não são verdadeiros nem falsos; quando muito formam uma conveniente e efetiva apare-

lhagem simbólica para inferir certos fenômenos empíricos (como o aparecimento de raias características num espectrógrafo convenientemente colocado) a partir de outros (como a passagem de uma descarga elétrica através do gás hidrogênio).

No próximo capítulo examinaremos melhor como se determina o significado de um termo científico. Por ora, notemos apenas que a exigência de uma definição plena é demasiado severa. É possível tornar claro e preciso o uso de um conceito do qual não se tem uma definição plena, mas somente uma determinação parcial do seu significado. Por exemplo, a caracterização do conceito de temperatura pelas leituras de um termômetro de mercúrio não fornece uma definição geral de temperatura; nada diz sobre uma temperatura abaixo do ponto de solidificação ou acima do ponto de ebulição do mercúrio. Contudo, dentro desses limites, o conceito pode ser usado de maneira precisa e objetiva. E pode ser aplicado além desses limites pela especificação de outros métodos para medir temperaturas. Outro exemplo é dado pelo princípio de que a massa de um corpo é inversamente proporcional à aceleração comunicada pela força aplicada. Não se define assim o significado pleno da massa de um corpo, mas consegue-se uma caracterização parcial que permite a verificação de certos enunciados onde aparece o conceito de massa. Analogamente, em qualquer teoria, os princípios de transposição fornecem critérios para o uso dos termos teóricos em termos de conceitos já compreendidos. Portanto, a ausência de definições plenas dificilmente poderá justificar a concepção de que os termos teóricos e os princípios teóricos que os contêm sejam meramente dispositivos de computação simbólica.

Um segundo argumento contra a existência de entidades teóricas difere bastante do primeiro:

Qualquer conjunto de fatos empíricos, por mais rico e variado que seja, pode em princípio ser subsumido em leis ou teorias muito diferentes. Por exemplo, podemos unir por curvas muito diferentes, como vimos, os pontos representativos, num gráfico, dos pares de valores simultaneamente determinados pela experiência de duas variáveis físicas; cada uma dessas curvas representa uma lei compatível com os pares associados efetivamente medidos. O mesmo se pode dizer sobre as teorias. Mas quando duas teorias alternativas se aplicam aos mesmos fenômenos empíricos — como o faziam as teorias corpuscular e ondulatória da luz antes dos “experimentos cruciais” do sé-

culo XIX — a mesma “existência real” deve ser atribuída tanto às entidades postuladas por uma como às entidades postuladas pela outra; mas isso implica negar que essas entidades realmente existam.

Este argumento nos obrigaria a dizer quando julgamos ouvir um pássaro cantar que não devemos admitir a existência real do pássaro, pois o som poderia ser explicado pela hipótese de alguém estar assoviando como um pássaro. Mas, evidentemente, existem maneiras de achar qual das suposições é verdadeira, se alguma o for; pois além de explicarem o som ouvido, as duas hipóteses têm outras implicações que podemos verificar para saber se foi “realmente” um pássaro ou uma pessoa ou alguma outra coisa que produziu o som. Analogamente, como vimos, as duas teorias da luz têm implicações adicionais discordantes pelas quais podem ser, e o foram, submetidas a uma verificação que confirme apenas uma. É verdade que a eliminação gradual de algumas das hipóteses ou teorias rivais nunca poderá chegar ao ponto em que somente uma delas fique de pé; nunca poderemos estabelecer *com certeza* que uma teoria seja a verdadeira, que as entidades que ela introduz sejam reais. Mas reconhecê-lo não é revelar uma falha inerente às construções teóricas e sim registrar uma característica que permeia *todo* conhecimento empírico.

Um terceiro argumento ainda foi aduzido e, em resumo, é o seguinte: A investigação científica visa, em última análise, a uma descrição sistemática e coerente dos “fatos”, dos fenômenos que percebemos pelos nossos sentidos. Suas suposições explanatórias deveriam, a rigor, referir-se somente a entidades e processos que fossem pelo menos fatos potenciais, isto é, potencialmente acessíveis aos nossos sentidos. Hipóteses e teorias que pretendem ir além dos fenômenos de nossa experiência podem, quando muito, ser úteis artifícios formais, mas não podem representar aspectos do mundo físico. Foi com razões deste jaez que o eminente físico-filósofo Ernst Mach, entre outros, sustentou que a teoria atômica da matéria fornecia um modelo matemático para a representação de certos fatos, mas que nenhuma “realidade” física podia ser atribuída aos átomos e às moléculas.

Já observamos, entretanto, que se a ciência se limitasse ao estudo dos fenômenos observáveis, dificilmente seria capaz de formular leis gerais explanatórias com a precisão e o alcan-

ce dos princípios que se referem a entidades subjacentes como as moléculas, os átomos e as partículas subatômicas. E se esses princípios são verificados e confirmados essencialmente do mesmo modo que as hipóteses referentes a coisas e eventos mais ou menos diretamente observáveis ou mensuráveis, parece arbitrário rejeitar como fictícias as entidades postuladas teoricamente.

Mas, afinal, existe ou não existe uma diferença importante entre os dois níveis? Suponhamos que se queira explicar o comportamento de uma “caixa preta”, que responde a diferentes “entradas” com “saídas” específicas e complexas. Poderíamos aventar uma hipótese sobre a estrutura interna da caixa — talvez um mecanismo com rodas, engrenagens e catracas, talvez um circuito com bobinas, válvulas e pilhas. A hipótese poderia ser verificada variando as “entradas” e conferindo as correspondentes “saídas”; ouvindo os ruídos produzidos pela caixa etc. Mas se as componentes da estrutura imaginada forem todas macroscópicas e, em princípio, acessíveis à observação, restará sempre a possibilidade de abrir a caixa e verificar a hipótese por inspeção direta. Essa inspeção direta é que não é possível quando a caixa é um gás e a relação “entrada”-“saída” é a observada entre as variações de pressão e as correspondentes mudanças de volume sob temperatura constante e é explicada pelo comportamento de micromecanismos moleculares.

Não é verdade porém que a distinção seja tão clara e convincente como parece, pois a classe de observáveis a que se refere não é delimitada de maneira precisa. Presumivelmente ela deveria incluir todas as coisas, todas as propriedades e todos os processos cuja presença ou ocorrência pudesse ser constatada por observadores humanos normais “imediatamente”, sem a mediação de instrumentos especiais ou de hipóteses e teorias interpretativas. As rodas, as engrenagens e as catracas do nosso exemplo pertencem certamente a essa classe, assim como os seus movimentos solidários. Observáveis também neste sentido são os fios e as chaves do nosso outro exemplo. Mas surgiram dúvidas quanto à classificação de coisas como as válvulas. Inegavelmente, uma válvula é um objeto físico que pode ser “diretamente” percebido; mas quando nos referimos a uma válvula (como poderíamos ter feito na explicação do comportamento da caixa preta) estamos pensando

num objeto que tem uma estrutura física característica; podemos perguntar então se uma válvula é observável neste sentido, se a propriedade de ser uma válvula é contestável pela observação imediata. Sabemos que não o é, pois a propriedade de ser uma válvula, de funcionar convenientemente como se admitiu na hipótese sobre a caixa preta, só pode ser verificada pelo uso de instrumentos cujas leituras para serem significativas pressupõem leis e princípios teóricos da Física. Mas se para caracterizarmos um objeto como uma válvula temos que ir além do reino dos observáveis, o exemplo da caixa preta perde a sua força.

De resto, o argumento poderia prosseguir numa direção diferente. Quando dizemos que um fio no interior da caixa preta é um observável, certamente não queremos dizer que um fio fino transformou-se numa entidade fictícia porque a vista cansada nos obriga a usar óculos para vê-lo. Mas então seria arbitrário classificar como fictícios objetos, como um fio capilar ou uma partícula de pó, que só são visíveis ao olho humano munido de uma lente. E pela mesma razão teremos que admitir a existência de objetos que só podem ser observados com auxílio de um microscópio, logo depois a de objetos que só podem ser observados por meio de contadores Geiger, câmaras de bolha, microscópios eletrônicos e outros instrumentos.

Há assim uma transição gradual entre os objetos macroscópicos da experiência quotidiana e as bactérias, os vírus, as moléculas, os átomos e as partículas subatômicas; qualquer linha traçada para dividi-los em objetos físicos reais e entidades fictícias seria inteiramente arbitrária.<sup>2</sup>

#### EXPLICAÇÃO E "REDUÇÃO AO FAMILIAR"

Diz-se às vezes que as explicações científicas efetuam a redução de um fenômeno enigmático, senão estranho, a fatos e princípios com que já estamos familiarizados. Sem dúvida, esta

<sup>2</sup> Nossa discussão do *status* das entidades teóricas limitou-se à consideração de algumas questões básicas importantes. Um estudo mais completo e mais penetrante, assim como referências à literatura adicional, encontra-se nos caps. 5 e 6 de E. Nagel, *The Structure of Science*. Outra obra estimulante que trata dessas questões é J. J. C. Smart, *Philosophy and Scientific Realism* (Londres: Routledge and Kegan Paul Ltd.; Nova York: The Humanities Press, 1963).

caracterização se adapta perfeitamente bem a algumas explicações. As explicações pela teoria ondulatória das leis de óptica previamente estabelecidas, as explicações trazidas pela teoria cinética dos gases e mesmo os modelos de Bohr para os átomos de hidrogênio e de outros elementos invocam certas idéias com as quais estamos familiarizados pelo uso na descrição e explicação dos fenômenos a que estamos acostumados, tais como a propagação de ondas na água, os movimentos e as colisões de bolas de bilhar, os movimentos dos planetas em torno do Sol. Alguns escritores, entre os quais o físico N. R. Campbell, chegaram a afirmar que para uma teoria ser de algum valor deve "revelar alguma analogia": as leis básicas que os seus princípios internos especificam para as entidades e os processos teóricos devem ser "análogas a algumas leis conhecidas", como por exemplo as leis para a propagação das ondas luminosas são análogas (porque têm a mesma forma matemática) às leis para a propagação das ondas na água.

Contudo, esta opinião não resiste a um exame mais demorado. Antes de mais nada, ela implicaria a idéia de que os fenômenos com os quais já estamos familiarizados não precisam ou não são suscetíveis de explicação científica; na verdade, a ciência procura explicar fenômenos "familiares" como a sucessão regular do dia e da noite e das estações, as fases da Lua, o relâmpago e o trovão, a disposição das cores no arco-íris ou nas películas de óleo, e a observação de que o café e o leite, ou a areia branca e a areia preta, uma vez misturados, não mais se separarão. A explicação científica não visa criar um sentimento de familiaridade com os fenômenos da natureza. Este é um sentimento que pode muito bem ser evocado por interpretações metafóricas sem qualquer valor explicativo, como a da gravitação pela "afinidade natural" ou a dos processos biológicos pela obediência a forças vitais. Não é esta espécie intuitiva e altamente subjetiva de compreensão a procurada pela explicação científica, e particularmente pela explicação teórica, mas uma visão objetiva, que se alcança por uma unificação sistemática, pela revelação de serem os fenômenos manifestações de estruturas e processos comuns que obedecem a princípios específicos e que podem ser verificados. Se essa concepção puder ser dada numa conceituação que revele certas analogias com a dos fenômenos familiares, tanto melhor.

Se não for, a ciência não hesitará em explicar mesmo o que é familiar por uma redução ao que não é familiar, mediante conceitos e princípios novos que podem de início causar repugnância à nossa intuição. É o que aconteceu com as assustadoras implicações da teoria da relatividade referentes à relatividade do comprimento, da massa, da duração temporal e da simultaneidade; é o que aconteceu também com o princípio da incerteza em mecânica quântica e a renúncia desta a uma concepção estritamente causal dos processos que envolvem individualmente as partículas elementares.

## 7

## FORMAÇÃO DE CONCEITOS

## DEFINIÇÃO

Os enunciados científicos são tipicamente formulados em termos especiais, tais como 'massa', 'força', 'campo magnético', 'entropia', 'espaço das fases' etc. Para que esses termos sirvam ao fim a que se destinam seus significados devem ser determinados de modo a assegurarem aos enunciados resultantes uma verificabilidade apropriada e uma aptidão a serem usadas nas explicações, nas predições e nas retrodições. Neste capítulo vamos considerar como isso é feito.

Para este fim, será conveniente distinguir claramente entre conceitos, tais como os de massa, força, campo magnético etc., e os *termos* correspondentes, isto é, as expressões verbais ou simbólicas que representam aqueles conceitos. Para nos referirmos a termos particulares de qualquer outra natureza, precisamos de nomes ou de designações para eles. De acordo com a convenção seguida em Lógica e Filosofia analítica, formamos um nome ou designação para um termo colocando-o entre aspas simples, como fizemos na primeira sentença desta seção ao mencionarmos os termos 'massa', 'força' etc. Nós nos ocuparemos, então, neste capítulo, com os métodos que especificam os significados dos termos científicos e com as exigências a que esses métodos devem satisfazer.

Pode parecer que desses métodos o mais óbvio, e talvez o único adequado, seja a definição. Convém pois examiná-lo imediatamente.

As definições são propostas com um ou outro de dois fins bastante diferentes, a saber:

a) enunciar ou descrever o que se aceita como significado, ou como significados, de um termo já em uso;

b) atribuir, por estipulação, um significado especial a dado termo, que pode ser uma expressão verbal ou simbólica nunca vista (tal como 'pi-méson') ou um "velho" termo que deve ser usado num sentido técnico específico (como, por exemplo, o termo 'estranheza' é usado na teoria das partículas elementares).

As definições que servem ao primeiro propósito são chamadas *descritivas*; as que servem ao segundo propósito são chamadas *estipulativas*.

As do primeiro gênero podem ser enunciadas na forma

\_\_\_\_\_ tem o mesmo significado que -----

O termo a ser definido, ou o *definiendum*, ocupa o lugar da linha cheia à esquerda; a expressão definidora, ou o *definiens*, ocupa o lugar da linha fragmentada à direita. Exemplos de definições descritivas são:

'Menino' tem o mesmo significado de 'criança do sexo masculino'.

'Apêndice' tem o mesmo significado de 'inflamação do apêndice'.

'Simultâneos' tem o mesmo significado de 'ocorrendo ao mesmo tempo'.

Definições como essas visam analisar o significado aceito de um termo e descrevê-lo com auxílio de outros termos — cujos significados devem estar previamente compreendidos para que a definição sirva ao seu propósito. São definições descritivas que chamaremos mais especificamente de *definições analíticas*, pois, como veremos no próximo capítulo, existem enunciados que podem ser considerados como definições descritivas de tipo não-analítico: determinam a extensão de um termo, isto é, o seu domínio de aplicação e não a sua intenção, isto é, o seu significado. Quer de uma, quer de outra espécie, as definições descritivas pretendem descrever certos aspectos do uso consagrado de um termo; pode-se, por isso, dizer delas que são mais ou menos precisas e, mesmo, verdadeiras ou falsas.

As definições estipulativas, por outro lado, servem para introduzir uma expressão a ser usada em certo sentido específico no contexto de uma discussão, de uma teoria ou de algo semelhante. A elas pode ser dada a forma

\_\_\_\_\_ deve ter o mesmo significado que -----  
ou

Por \_\_\_\_\_ entendamos a mesma coisa que por -----

As expressões à esquerda e à direita são aqui também chamadas o *definiendum* e o *definiens*, respectivamente. As definições resultantes têm o caráter de estipulações ou convenções, que evidentemente não podem ser qualificadas como verdadeiras ou falsas. Os exemplos seguintes ilustram diferentes modos em que elas se apresentam na literatura científica; cada um deles pode facilmente ser posto numa das formas-padrão que acabamos de mencionar.

Usemos o termo 'acolia' como abreviação para 'falta de secreção biliar'.

O termo 'densidade' será uma abreviação de 'massa por unidade de volume'.

Por ácido entender-se-á eletrólito que fornece íons de hidrogênio.

Partículas de carga zero e número de massa um serão chamadas nêutrons.

Um termo definido analítica ou convencionalmente pode ser sempre substituído numa sentença pelo seu *definiens*, transformando a sentença numa equivalente que não contém mais o termo. Por exemplo, a sentença 'a densidade do ouro é maior que a do chumbo' pode ser traduzida em 'um dado volume de ouro tem maior massa que o mesmo volume de chumbo'. Neste sentido, como observou Quine, definir um termo é mostrar como evitá-lo.

A injunção 'Define os teus termos!' tem a auréola de um sólido preceito científico; com efeito, pode parecer que, idealmente, cada termo usado numa teoria científica ou num dado ramo da Ciência deva ser definido com precisão. Mas isso é logicamente impossível, pois, após uma definição, teríamos, por nossa vez, que definir cada termo usado no *definiens* à custa de outros termos e assim por diante, sem nunca "cair num círculo vicioso", isto é, sem nunca definir um termo à custa de outro já usado anteriormente. Exemplo de um "círculo vicioso" ter-se-ia na seguinte seqüência de definições, onde a frase 'deve ter o mesmo significado de' está substituída pelo símbolo abreviatório '=<sub>DF</sub>':

'criança' =<sub>DF</sub> 'menino ou menina'

'menino' =<sub>DF</sub> 'criança do sexo masculino'

'menina' =<sub>DF</sub> 'criança, mas não menino'

Para determinar o significado de 'menino', poderíamos substituir o termo 'criança' na segunda definição por seu *definiens* como está especificado na primeira. Mas assim fazendo obte-

ríamos a expressão 'menino ou menina do sexo masculino' que define o termo 'menino' à custa de si mesmo (e de outros termos) e, portanto, fracassa no seu intento. A mesma dificuldade surgiria se procurássemos na terceira definição o significado de 'menina'. A única maneira de escapar a esta dificuldade, obedecendo ao preceito de definir *cada* termo de um dado sistema, é a de nunca usar num *definiens* um termo que já tenha sido definido anteriormente na seqüência. Mas neste caso, a seqüência nunca chegaria a um fim, pois, por mais longe que se tenha ido, ficaria por definir os termos usados no último *definiens*, já que por hipótese eles não foram definidos antes. Esta obediência ao preceito por meio de uma série infinita de definições seria na realidade uma desobediência, pois nossa compreensão de um termo dependeria da do seguinte, que por sua vez dependeria da do seguinte e assim por diante indefinidamente, de modo que nenhum termo ficaria realmente explicado.

Nem todo termo de um sistema científico, portanto, pode ser definido à custa de outros termos do sistema: tem que haver um conjunto de termos, chamados primitivos, que não recebem definição dentro do sistema e que servem de base para definir todos os outros termos. Isso é levado em conta de um modo muito claro na formulação axiomática das teorias matemáticas, como, por exemplo, nas diferentes axiomatizações modernas da Geometria euclidiana: uma lista de termos primitivos é explicitamente especificada e todos os outros termos são introduzidos por cadeias de definições estipulativas que reconduzem a expressões onde só figuram termos primitivos.<sup>1</sup>

Quanto aos termos usados numa teoria científica, convém lembrar aqui que, como ficou sugerido no capítulo 6, eles podem ser divididos em duas classes: a dos termos propriamente teóricos, que são característicos da teoria, e a dos termos pré-teóricos, de antemão disponíveis. Alguns dos termos teóricos são definidos à custa de outros, exatamente como numa teoria puramente matemática: em Mecânica, a velocidade e a aceleração de um ponto material são definidos como a primeira e a segunda derivadas da posição desse ponto em relação ao tempo; em teoria atômica, um dêuteron pode ser definido como

<sup>1</sup> Maiores detalhes sobre este ponto se encontram em outro volume desta coleção: S. Barker, *Philosophy of Mathematics*, pp. 22-26, 40-41. (N. do E.: Traduzido para o português e publicado, sob o título *Filosofia da Matemática*, por Zahar Editores, Rio, 1969.)

o núcleo do isótopo de hidrogênio cujo número de massa é 2; etc. Tais definições desempenham um papel importante na formulação e no uso da teoria, mas são incapazes de dar conteúdo empírico aos termos definidos. Para este fim, são necessários enunciados que especifiquem os significados dos termos teóricos por meio de expressões já compreendidas, que possam ser usadas sem referência à teoria, e que são precisamente os termos que havíamos chamado de pré-teóricos. Aos enunciados, que assim determinam o significado dos "termos característicos", isto é, dos termos propriamente teóricos de uma dada teoria, por meio de um vocabulário pré-teórico, isto é, previamente disponível, nós chamaremos de '*sentenças interpretativas*'. Examinemos mais de perto o caráter dessas sentenças.

#### DEFINIÇÕES OPERACIONAIS

Uma concepção muito particular do caráter das sentenças interpretativas foi apresentada pela chamada escola operacionista que surgiu da obra metodológica do físico P. W. Bridgman.<sup>2</sup> A idéia central do operacionismo é a de que o significado de cada termo científico deve ser determinado pela indicação de uma operação bem definida que forneça um critério para sua aplicação. Esses critérios são muitas vezes chamados de "definições operacionais". Se são ou não definições no sentido estrito, é uma questão que consideraremos mais tarde. Primeiro, vamos ver alguns exemplos.

No início da investigação química, o termo 'ácido' poderia ter sido "definido operacionalmente" do seguinte modo: para achar se o termo 'ácido' se aplica a um dado líquido — isto é, se o líquido é um ácido — coloque-se nele uma tira de papel de tornassol azul; o líquido é um ácido se e somente se o papel virar vermelho. Este critério indica uma bem definida *operação de teste* — a de inserir o papel azul de tornassol — para achar se o termo se aplica ou não a um dado líquido, e menciona um *resultado de teste* bem determinado — a mudança para o vermelho da cor do papel — que deve ser considerado como indicando que o termo se aplica ao líquido dado.

<sup>2</sup> A primeira exposição, hoje clássica, de Bridgman está em seu livro *The Logic of Modern Physics* (Nova York: The Macmillan Company, 1927).



Analogamente, o termo 'mais duro que' aplicado a minerais pode ser caracterizado operacionalmente como segue: para determinar se o mineral  $m_1$  é mais duro que o mineral  $m_2$ , faz-se passar uma ponta feita de  $m_1$ , sob pressão, ao longo da superfície de uma amostra de  $m_2$  (operação de teste); diz-se que  $m_1$  é mais duro que  $m_2$  se e somente se a amostra ficar arranhada (resultado específico do teste).

Algumas definições que não fazem menção explícita de operações e de resultados podem ser facilmente postas em forma de uma determinação operacional. Por exemplo, esta caracterização de um ímã: barra de ferro ou de aço cujas extremidades atraem e seguram a limalha de ferro. Uma versão explicitamente operacionista rezaria: para achar se o termo 'ímã' se aplica a uma dada barra de ferro ou de aço, coloque-se limalha de ferro perto dela. Se a limalha for atraída pelas extremidades da barra e ficar agarrada a elas, a barra é um ímã.

Os termos considerados nos nossos três exemplos — 'ácido', 'mais duro que', 'ímã' — foram criados para representar conceitos não-quantitativos; os critérios operacionais nada tinham que estipular quanto a *graus* de acidez ou de dureza ou quanto a intensidade de imantação. Mas o preceito operacionista certamente pretendia também ser seguido na caracterização de termos como 'comprimento', 'massa', 'velocidade', 'temperatura', 'carga elétrica' e análogos, que representam conceitos quantitativos admitindo valores numéricos. A definição operacional é então concebida como a especificação de um procedimento para determinar o valor numérico de uma dada quantidade em casos particulares: as definições operacionais tomam o caráter de regras de medição.

Assim é que uma definição operacional de 'comprimento' poderia descrever um procedimento para determinar o comprimento da distância entre dois pontos empregando réguas; uma definição operacional de 'temperatura' descreveria como a temperatura de um corpo — por exemplo, um líquido — seria determinada por meio de um termômetro de mercúrio, e assim por diante.

O procedimento operacional mencionado em qualquer definição operacional deve ser escolhido de tal forma que possa ser executado por qualquer observador competente e que o

resultado possa ser objetivamente assegurado, sem depender essencialmente de quem realiza o exame. Não seria permitido, por exemplo, para definir o termo 'mérito estético' em relação a um quadro, usar este preceito operacional: contemple a pintura e anote numa escala de 1 a 10 o grau que melhor lhe parece indicar a beleza da pintura.

Insistindo em inequívocos critérios operacionais de aplicação para todos os termos científicos, procura o operacionismo garantir a verificabilidade objetiva de todos os enunciados científicos. Consideremos, por exemplo, a seguinte hipótese: 'A fragilidade do gelo aumenta quando a temperatura diminui; ou, mais precisamente, de dois pedaços de gelo de temperaturas diferentes, o de temperatura mais baixa é mais frágil que o outro' e suponhamos que tenham sido especificados procedimentos operacionais adequados para determinar se é gelo uma dada substância e para medir, ou pelo menos comparar, as temperaturas de diferentes pedaços de gelo. A hipótese ainda não tem significação clara — ainda não conduz a implicações verificáveis bem definidas — a menos que se disponha também de critérios claros para a comparação de fragilidade. Expressões como 'mais frágil que' ou 'crescente fragilidade' parecem ser intuitivamente claras, mas isso não basta para torná-las aceitáveis para uso científico. Mas se for fornecida uma regra operacional de aplicação para esses termos, a hipótese tornar-se-á verificável no sentido que tínhamos considerado. Podemos então dizer que uma escolha apropriada de critérios operacionais de aplicação para um conjunto de termos garante a verificabilidade dos enunciados em que eles ocorrem.<sup>3</sup>

Correlativamente, arguem os operacionistas, o uso de termos desprovidos de definição operacional — por mais intuitivamente claros e familiares que possam parecer — conduz a enunciados e questões sem significação. Assim, a hipótese considerada anteriormente de que a atração gravitacional é devida a uma afinidade natural subjacente, é desprovida de significação porque nenhum critério operacional foi fornecido para o conceito de afinidade natural. Assim, também, face à ausência de critérios operacionais para o movimento absoluto, fica recusada

<sup>3</sup> Existem restrições quanto à forma desses enunciados, sobre as quais podemos passar nesta discussão geral do operacionismo.

como sem significação a questão de saber se é a Terra ou o Sol que "realmente" está em movimento.<sup>4</sup>

Essas idéias básicas do operacionismo exerceram considerável influência no pensamento metodológico em Psicologia e em Ciências Sociais, onde se acentuou a necessidade de estabelecer critérios operacionais claros para os termos empregados nas hipóteses ou nas teorias. Hipóteses como a de que os mais inteligentes têm tendência a serem emocionalmente menos estáveis, ou como a da habilidade matemática estar fortemente correlacionada à habilidade musical, não podem ser objetivamente verificadas sem critérios claros de aplicação para os termos constituintes. Para esse fim não basta ter uma vaga compreensão intuitiva, que quando muito pode sugerir meios para determinar critérios objetivos.

Em Psicologia tais critérios são comumente formulados em termos de *testes* (de inteligência, estabilidade emocional, habilidade matemática etc.). Em linhas gerais, o procedimento operacional consiste em administrar o teste de acordo com especificações; o resultado são as respostas das pessoas submetidas ao teste, ou, em regra, uma avaliação qualitativa dessas respostas, obtida de modo mais ou menos objetivo e mais ou menos preciso. No teste de Rorschach, por exemplo, essa avaliação se apóia mais na competência para julgar, gradualmente adquirida pelo intérprete, e menos em critérios explícitos e precisos que a avaliação do teste de Stanford-Binet para a inteligência; o de Rorschach é, por isso, menos satisfatório que o de Stanford-Binet do ponto de vista operacionista. Algumas das principais objeções que foram levantadas contra a especulação psicanalítica são concernentes à falta de adequados critérios de aplicação para os termos psicanalíticos e às concomitantes dificuldades para tirar das hipóteses, em que figuram, alguma implicação verificável e inequívoca.

Os avisos assim lançados pelo operacionismo foram nitidamente estimulantes para o estudo filosófico e metodológico da Ciência, além de exercerem uma forte influência sobre os métodos de pesquisa em Psicologia e em Ciências Sociais. Mas, como vamos ver agora, a reconstrução operacionista do caráter

<sup>4</sup> A esse respeito, as seções 3 e 4 do cap. 13 de Holton e Roller, *Foundations of Modern Physical Science*, fornecem exemplos e comentários adicionais interessantes. O leitor pode achar também estimulante examinar, do ponto de vista do operacionismo e da exigência de verificabilidade, a significação científica das provocantes questões que Bridgman propõe quase ao fim do cap. 1 de *The Logic of Modern Physics*.

empírico da Ciência, demasiado restritiva, tende a obscurecer os aspectos sistemáticos e teóricos dos conceitos científicos e a forte interdependência da formação dos conceitos e da formação das teorias.

#### IMPORTÂNCIA SISTEMÁTICA E EMPÍRICA DOS CONCEITOS CIENTÍFICOS

O operacionismo sustenta que o significado de um termo está completa e exclusivamente determinado pela sua definição operacional. Assim, diz Bridgman: "O conceito de comprimento está portanto estabelecido quando estão estabelecidas as operações pelas quais se mede o comprimento: isto é, o conceito de comprimento contém tanto e não mais que o conjunto das operações pelas quais se determina o comprimento; o conceito é *sinônimo com o correspondente conjunto de operações*."<sup>5</sup>

Esta concepção implica que um termo científico só tem significado dentro da faixa das situações empíricas em que pode ser executado o procedimento operacional que o "define". Suponhamos, por exemplo, que se construa a Física a partir do marco zero, por assim dizer, e que se introduza o termo 'comprimento' por referência à operação de medir o comprimento de distâncias retilíneas com réguas rígidas. Nenhuma significação será então atribuída à questão 'Qual é o comprimento da circunferência deste cilindro?', nem a qualquer resposta a ela, pois a operação de medir comprimento com réguas rígidas retilíneas é evidentemente inaplicável ao caso. Para que o conceito de comprimento tenha um significado definido neste contexto é preciso especificar um novo critério operacional. Isso poderia ser feito estipulando que a circunferência de um cilindro deva ser recoberta com um fio inextensível e flexível bem ajustado a ela e em seguida medindo com uma régua rígida o comprimento do fio retificado. Analogamente, o nosso método inicial de medir comprimento não pode ser usado para determinar as distâncias de objetos extraterrestres. Enunciados sobre essas distâncias só terão significado definido, segundo o operacionismo, depois de serem especificadas operações apropriadas de medição. Uma destas poderia ser um método óptico de triangulação semelhante ao usado nos levantamentos topo-

<sup>5</sup> Bridgman, *The Logic of Modern Physics*, p. 5 (o grifo é de Bridgman).

gráficos; outra poderia ser a medição do tempo decorrido entre a emissão e a recepção de um sinal de radar enviado ao objeto extraterrestre e por este refletido.

A escolha desses critérios operacionais estaria naturalmente sujeita a uma condição importante que poderíamos chamar o *requisito de consistência*: sempre que dois procedimentos diferentes forem aplicáveis devem fornecer o mesmo resultado. Por exemplo, se a distância entre dois marcos num terreno for determinada por réguas rígidas e por triangulação óptica, os dois valores assim obtidos devem ser iguais. E, se uma escala de temperatura tiver sido “definida operacionalmente” pelas leituras de um termômetro de mercúrio e, em seguida, prolongada para baixo usando como corpo termométrico o álcool, que tem um ponto de congelamento muito mais baixo, temos de nos certificar que, dentro do intervalo em que ambos os termômetros podem ser usados, eles dão as mesmas leituras.

Ora, segundo Bridgman, dizer que duas operações de medida têm os mesmos resultados no intervalo de comum aplicabilidade é fazer uma generalização empírica que mesmo apoiada em testes cuidadosos poderia ser falsa. Por este motivo Bridgman sustenta que seria “perigoso” considerar os dois procedimentos operacionais como determinando o mesmo conceito: critérios operacionais diferentes deveriam ser considerados como caracterizações de conceitos diferentes a que, de preferência, deveriam corresponder termos diferentes. Assim, para nos referirmos às quantidades determinadas à custa de réguas e de triangulação óptica deveríamos usar os termos ‘comprimento tátil’ e ‘comprimento óptico’, respectivamente. Analogamente, deveríamos distinguir entre mercúrio-temperatura e álcool-temperatura.

Mas, como vamos ver agora, esta conclusão drástica está longe de ser autorizada pelo argumento, que exagera a necessidade de uma inequívoca interpretação empírica dos termos científicos e não leva na devida conta o que chamaremos de importância sistemática deles. Suponhamos aceita, conforme o preceito de Bridgman, a distinção entre comprimento tátil e comprimento óptico e, depois de cuidadosa experiência, estabelecida como lei putativa a igualdade numérica entre os dois comprimentos em qualquer intervalo físico a que ambos os procedimentos de medida tenham sido aplicados. Se se descobrir posteriormente que sob novas condições os dois procedimentos conduzem a resultados diferentes, a lei putativa teria de ser

abandonada, mas continuar-se-ia a usar os termos ‘comprimento tátil’ e ‘comprimento óptico’ sem mudança de significado.

Mas qual seria a consequência desta descoberta de casos de discordância se, contrariamente ao preceito de Bridgman, os dois procedimentos operacionais tivessem sido concebidos como diferentes maneiras de medir a mesma quantidade, designada simplesmente como ‘comprimento’? Não havendo mais consistência entre os dois procedimentos, um dos critérios teria de ser abandonado: o termo ‘comprimento’ continuaria a ser usado, mas com uma interpretação operacional modificada.

Portanto, fosse pelo abandono de uma lei putativa, fosse pela modificação da interpretação operacional de um termo, sempre poderia ser feito um ajuste aos resultados empíricos discordantes.

Além disso — e esta é uma objeção muito mais séria — seria difícil, senão impossível, aderir estritamente ao preceito de Bridgman. À medida que vão tomando corpo as leis e eventualmente os princípios teóricos numa área em investigação, seus conceitos vão-se ligando de vários modos entre si e com os conceitos previamente disponíveis. E esses vínculos fornecem muitas vezes critérios “operacionais” de aplicação inteiramente novos. Assim, as leis que vinculam a resistência elétrica de um metal à sua temperatura permitem a construção de um termômetro de resistência; a lei que relaciona a temperatura de um gás à pressão constante com o seu volume é a base de um termômetro de gás; termel é um aparelho que mede temperatura usando o efeito termoelétrico; o pirômetro óptico determina a temperatura dos corpos muito quentes medindo o brilho da radiação que eles emitem; e as leis e os princípios teóricos fornecem uma ampla variedade de maneiras para medir distâncias: o decréscimo da pressão atmosférica com a altitude é a base dos altímetros barométricos, usados nos aviões; distâncias submarinas são freqüentemente medidas determinando o tempo de percurso de sinais sonoros; pequenas distâncias astronômicas são medidas por triangulação óptica ou por sinais de radar; a distância dos aglomerados globulares de estrelas e dos sistemas galácticos é inferida, segundo leis, do período e do brilho aparente de certas estrelas variáveis nesses sistemas; e a medida de distâncias muito pequenas pode envolver o uso, além de pressupor a teoria, de microscópios ópticos, microscópios eletrônicos, procedimentos espectrográficos, métodos que empregam a difração de raios X e vários outros. O preceito sugere

rido por Bridgman nos obrigaria a distinguir uma variedade correspondente de conceitos de temperatura e de comprimento. E ainda assim a lista estaria longe de ser completa; pois a rigor o uso de dois barômetros, diferindo de algum modo na fabricação, para medir altitudes — ou de dois microscópios diferentes, para determinar o comprimento das bactérias — deveria ser considerado como determinando dois conceitos diferentes de comprimento, de vez que os detalhes operacionais não seriam exatamente os mesmos. O preceito operacionalista em pauta nos obrigaria assim a provocar uma proliferação de conceitos de comprimento, de temperatura e de todos os outros conceitos científicos, não só praticamente intratável, mas teoricamente interminável. E isso seria renunciar a um dos principais objetivos da Ciência, que é o de atingir uma descrição simples e sistematicamente unificada dos fenômenos empíricos.

A sistematização científica requer o estabelecimento de diversas relações, por leis ou princípios teóricos, entre os diferentes aspectos do mundo empírico que são caracterizados pelos conceitos científicos. Estes são como que os nós de uma rede cujos fios são formados pelas leis e pelos princípios teóricos. Um desses nós, por exemplo, é o conceito de temperatura, ligado aos outros nós por “fios nômicos”, dos quais fazem parte as leis que formam a base dos diferentes métodos termométricos. Quanto maior for o número de fios que terminam num nó conceptual tanto mais forte será o papel sistematizador, ou a importância sistemática deste. De resto, a simplicidade no sentido de economia de conceitos é traço importante de uma boa teoria científica. Pode-se dizer, em linhas gerais, que a significação sistemática dos conceitos num sistema teoricamente econômico é mais forte que a dos conceitos numa teoria menos econômica para o mesmo assunto.

Portanto, considerações de importância sistemática militam fortemente contra a proliferação de conceitos decorrente do preceito segundo o qual critérios operacionais diferentes determinam diferentes conceitos. E, de fato, numa teoria científica não se encontra distinção alguma entre diferentes conceitos de comprimento (por exemplo), caracterizados individualmente pelas suas próprias definições operacionais. Antes, a teoria considera um conceito básico de comprimento e vários modos, mais ou menos precisos, de medir comprimentos em diferentes circunstâncias, indicando muitas vezes o domínio e a precisão do método de medida.

Além disso, o desenvolvimento de um sistema de leis — e em especial de uma teoria — conduz frequentemente a uma modificação dos critérios operacionais originalmente adotados para alguns conceitos centrais. Por exemplo, uma caracterização operacional de comprimento terá que especificar, entre outras coisas, uma unidade de medida que, normalmente, é definida como a distância entre dois traços gravados numa particular barra de metal. Mas as leis e os princípios teóricos da Física mostram que a distância entre os traços varia com a temperatura da barra e com quaisquer esforços a que possa estar submetida. Para assegurar um padrão uniforme de comprimento, torna-se então necessário acrescentar certas condições à definição inicial. O metro, por exemplo, é definido pela distância de dois traços gravados no Metro Padrão Internacional — que é uma barra feita de platina iridiada, com uma seção reta peculiar em forma de X — quando a barra está na temperatura do gelo fundente e está simetricamente suportada por dois rolos, colocados perpendicularmente ao seu comprimento num plano horizontal e separados por 0,571 metros. A seção peculiar foi desenhada para garantir o máximo de rigidez da barra; as especificações quanto ao suporte procuraram evitar a diminuta modificação por flexão da distância entre os traços, depois que a análise teórica mostrou que a colocação prescrita para os rolos é a melhor possível no sentido que a distância entre os traços fica virtualmente inalterada para pequenas alterações na posição dos rolos.<sup>6</sup>

Consideremos um outro exemplo. Um dos mais antigos e dos mais importantes critérios empíricos para a medida do tempo foi fornecido pelas uniformidades nos movimentos aparentes do Sol e das estrelas fixas: tomou-se, como unidade de tempo, o tempo decorrido entre duas passagens consecutivas de um desses astros pela mesma posição aparente (por exemplo, do Sol pela sua posição zênite). Unidades menores foram “operacionalmente” caracterizadas por meio de relógios de sol, ampulhetas, clepsidras e, mais tarde, pelos pêndulos. Observa-se que nesta fase não faz sentido indagar se dois dias solares diferentes ou duas oscilações completas diferentes de um pêndulo são “realmente” de mesma duração. O operacionismo corretamente nos lembra que nessa fase os critérios especifi-

<sup>6</sup> Uma exposição dos detalhes e das considerações teóricas subjacentes pode ser encontrada em Norman Feather, *Mass, Length and Time* (Baltimore, Maryland: Penguin Books, 1961), cap. 2.

cados servem para *definir* a igualdade de duração e, portanto, a questão de saber se os períodos temporais marcados por eles são iguais só pode receber a resposta trivial: sim — por convenção definidora. A afirmação da igualdade deles não é um juízo sobre fatos empíricos que poderia ser um engano.

Mas a formulação e o progressivo refinamento das leis e das teorias que encerram o conceito do tempo conduziram a uma modificação desses critérios operacionais iniciais. Assim, de acordo com a Mecânica Clássica, o período de um pêndulo depende de sua amplitude; e, de acordo com a teoria heliocêntrica, que justifica o movimento aparente dos astros pela rotação diária da Terra em torno do seu eixo e pela sua revolução anual em torno do Sol, combinada com a teoria newtoniana, os diferentes dias solares têm durações temporais desiguais ainda que a Terra gire com velocidade angular constante. Mas em virtude do atrito provocado pelas marés e outros fatores semelhantes esta velocidade angular deve diminuir lentamente, o que se confirma pela comparação das datas registradas para certos eclipses solares na antiguidade com as calculadas a partir dos dados astronômicos atuais. Assim, os processos originalmente empregados para a medida do tempo passaram a ser tratados como capazes de fornecer uma medida aproximada; e eventualmente, por motivos teóricos, sistemas novos e inteiramente diversos — tais como o relógio de quartzo e os relógios atômicos — passaram a ser adotados como fontes de escalas de tempo mais precisas.

Mas como é possível que as leis ou as teorias mostrem a inexatidão dos critérios operacionais para os próprios termos em que elas são formuladas — critérios que devem ser pressupostos e usados na verificação dessas mesmas leis ou teorias? O processo pode ser comparado ao da construção de uma ponte sobre um rio: de início, a ponte é colocada sobre pontões ou sobre suportes provisórios ancorados no fundo do rio; em seguida a ponte é usada como plataforma para melhorar e mesmo deslocar as fundações; finalmente é ajustada e recebe uma superestrutura para se transformar num todo bem fundado e estruturalmente seguro. As leis e as teorias científicas podem ser baseadas em dados obtidos por meio de critérios operacionais inicialmente adotados, mas sem se ajustarem com exatidão a esses dados; pois, como vimos, outras considerações, entre as quais a de simplicidade sistemática, desempenham um papel importante na adoção das hipóteses científicas. E como as

leis e os princípios teóricos assim aceitos passam, pelo menos provisoriamente, a exprimir corretamente as relações entre os conceitos que neles figuram, não é de surpreender que os primitivos critérios operacionais venham a ser encarados como capazes de fornecer caracterizações somente aproximadas desses conceitos.

A significação empírica refletida nos claros critérios de aplicação, a que o operacionismo dá com razão tanta importância, não é o único desiderato para os conceitos científicos. A significação sistemática é outra exigência indispensável — a tal ponto que a interpretação empírica dos conceitos teóricos pode ser alterada no interesse de encarecer o poder sistematizador da rede teórica. Na investigação científica, a formação de conceitos e a formação de teorias devem caminhar de mãos dadas.

#### SOBRE AS QUESTÕES "OPERACIONALMENTE SEM SENTIDO"

Um dos problemas intrigantes que Bridgman discute, para ilustrar o uso crítico das normas operacionais, refere-se à possibilidade de haver uma mudança inverificável na escala absoluta de comprimento. Não é possível que todas as distâncias no universo estejam variando constantemente de modo a duplicarem de valor cada 24 horas?<sup>7</sup> Este fenômeno nunca poderia ser percebido pela Ciência, uma vez que as barras usadas na determinação operacional dos comprimentos alongar-se-iam na mesma proporção. Bridgman conclui daí que a questão não tem sentido: julgada pelas normas operacionais, não haveria tal expansão do universo; pretender que ainda assim ela possa ocorrer — desconhecida e para sempre imperceptível para nós — é algo sem significação operacional, sem conseqüências verificáveis mediante operações de medida.

Esta apreciação tem que ser mudada quando consideramos que em Física o conceito de comprimento não é usado isoladamente, mas em leis ou teorias que o vinculam a outros conceitos. A combinação da hipótese da expansão universal com outros princípios da Física, que servem então de hipóteses auxiliares (cf. capítulo 3), conduz de fato a implicações ope-

<sup>7</sup> Esta formulação é ligeiramente mais específica que a de Bridgman (na p. 28 de *The Logic of Modern Physics*), mas deixa intatos os pontos decisivos.

racionalmente verificáveis. Por exemplo, se a hipótese é verdadeira, então o tempo gasto por um sinal sonoro para percorrer a distância entre dois pontos — digamos, as margens opostas de um lago — duplicaria cada 24 horas; e isso seria verificável. Mas se modificarmos a hipótese acrescentando a suposição de que a velocidade dos sinais sonoros e eletromagnéticos aumenta exatamente na mesma proporção que todas as distâncias? Ainda assim a nova hipótese teria implicações verificáveis; por exemplo, se admitirmos que a expansão universal não afeta a produção de energia nas estrelas como o Sol, o brilho delas decresceria à quarta parte do valor inicial em cada período de 24 horas, pois durante este tempo a superfície quadruplicaria. Assim, a impossibilidade de verificação operacional de uma hipótese tomada isoladamente não é razão suficiente para rejeitá-la como desprovida de conteúdo empírico ou como cientificamente sem sentido. Devemos, antes, considerá-la no contexto sistemático das outras leis e hipóteses em que vai funcionar e examinar as implicações verificáveis que pode então originar. O que não quer dizer que este procedimento dê significação a todas as hipóteses que possam ser propostas; entre outras, as hipóteses sobre forças vitais e sobre afinidades naturais universais, discutidas anteriormente, continuariam excluídas.

#### O CARÁTER DAS SENTENÇAS INTERPRETATIVAS

O que dissemos sobre o operacionismo foi sugerido pelo pensamento que uma teoria só é aplicável aos fenômenos empíricos depois de ter seus termos característicos convenientemente interpretados mediante um vocabulário pré-teórico, isto é, aceito independentemente dela. Nossa discussão mostrou que a concepção operacionista dessa interpretação fornece sugestões proveitosas, mas requer modificações consideráveis. Em particular, tivemos que rejeitar a tese de que um conceito científico é “sinônimo” de um conjunto de operações. Pois, primeiro, pode haver — e os há habitualmente — vários critérios alternativos de aplicação para um mesmo termo, baseados em diferentes conjuntos de operações. Segundo, para compreender o significado de um termo científico e usá-lo apropriadamente, há que conhecer também seu papel sistematizador indicado pelos princípios teóricos em que funciona e que o vinculam a

outros termos da teoria. Terceiro, um termo científico não pode ser considerado “sinônimo” de um conjunto de operações no sentido de ter o seu significado completamente determinado por elas, pois, como vimos, elas só fornecem critérios de aplicação para um termo dentro de uma limitada faixa de condições; por exemplo, as operações que usam régua e termômetro só fornecem *interpretações parciais* para os termos ‘temperatura’ e ‘comprimento’, válidas apenas dentro de uma faixa limitada de circunstâncias.

Vistos assim, os critérios operacionais dizem menos que o que se pede a uma definição plena. Há entretanto um outro ponto de vista segundo o qual eles dizem mais — na realidade, muito mais do que habitualmente se entende por uma definição. Ordinariamente, concebe-se uma definição estipulativa como uma sentença que introduz um termo conveniente ou um símbolo abreviativo simplesmente especificando o seu *significado*, sem acrescentar qualquer informação fatural. Mas dois critérios operacionais para um mesmo termo têm implicações empíricas se, como é freqüente, houver superposição dos domínios de aplicação e se mantivermos o requisito de consistência para critérios operacionais alternativos, como observamos anteriormente. Vimos que, se diferentes procedimentos forem adotados como critérios de aplicação para um mesmo termo, defluidos enunciados desses critérios que nos casos onde se aplica mais de um daqueles procedimentos os resultados serão os mesmos, e essa implicação tem o caráter de uma generalização empírica. O enunciado considerado anteriormente, que exprime a igualdade numérica dos comprimentos “óptico” e “tátil” em todos os casos em que ambos os procedimentos possam ser usados, é um exemplo. Outro é o que assevera a igualdade das leituras feitas com termômetro de mercúrio e com termômetro de álcool no intervalo em que tanto o mercúrio como o álcool são líquidos. Este enunciado é uma consequência da estipulação de que qualquer um dos dois termômetros pode ser usado na determinação operacional das temperaturas. Em suma, as sentenças interpretativas, que fornecem critérios de aplicação para os termos científicos, combinam freqüentemente a função estipulativa de uma definição com a função descritiva de uma generalização empírica.

Há ainda um outro ponto de vista interessante e importante, segundo o qual as sentenças interpretativas diferem das definições no sentido considerado anteriormente. Os termos

científicos são freqüentemente usados apenas em locuções ou frases de certa forma característica; por exemplo, o conceito de dureza, tal como está caracterizado pelo teste do risco, destina-se a servir apenas em expressões da forma 'o mineral  $m_1$  é mais duro que o mineral  $m_2$ ' e em outras frases que são definíveis mediante tais expressões. Nesses casos, é suficiente ter uma interpretação para aquelas expressões características. No nosso exemplo, tal interpretação é fornecida pelo exame do risco, que dá um significado empírico a ' $m_1$  é mais duro que  $m_2$ ' mas não ao termo 'dureza' em si, nem a expressões como 'o mineral  $m$  é duro' ou 'a dureza do mineral  $m$  é tanto'.

Enunciados que especificam plenamente o significado de um contexto particular que contém um termo dado são chamados *definições contextuais*, para distingui-los das chamadas definições *explícitas*, tais como: 'Ácido' terá o mesmo significado de 'eletrólito que fornece íons de hidrogênio'. Por analogia, pode-se dizer então que as sentenças interpretativas para uma teoria científica fornecem usualmente interpretações contextuais para os termos teóricos. As várias maneiras de medir comprimento, por exemplo, não interpretam o termo 'comprimento' em si mas somente expressões como 'o comprimento da distância entre os pontos A e B' e 'o comprimento da linha  $l$ '; os critérios para a medida do tempo nada dizem sobre o conceito de tempo em geral; e assim por diante. No caso de certos conceitos teóricos, como 'átomo', 'eléctron', 'fóton', somente contextos muito especiais e um tanto restritos podem permitir uma interpretação que forneça base para verificação experimental. Certo, é possível dar uma *definição teórica* do termo 'eléctron', isto é, que empregue outros termos teóricos ('eléctron' quer dizer 'partícula elementar cuja massa em repouso é  $9,107 \times 10^{-28}$  g, cuja carga é  $4,802 \times 10^{-10}$  franklin e cujo giro é de meia unidade'); mas como seria uma definição operacional do termo? Certamente não podemos esperar que sejam dadas regras operacionais para determinar se o termo 'eléctron' se aplica a um dado objeto — isto é, se o objeto é um eléctron. O que pode ser formulado são interpretações contextuais para certas espécies de enunciados contendo o termo 'eléctron', tais como: 'existem eléctrons na superfície desta esfera de metal isolada', 'eléctrons estão escapando deste electródio', 'este rastro de condensação na câmara de nuvem marca a trajetória de um eléctron', e análogos. O mesmo se poderia dizer dos conceitos de campo elétrico e

campo magnético. Critérios operacionais podem ser formulados para verificar a estrutura e a intensidade deles em regiões dadas, mediante o comportamento de corpos de prova, trajetórias de partículas, fios percorridos por correntes etc. Mas tais critérios só serão válidos em condições especiais, experimentalmente favoráveis, como a homogeneidade em região suficientemente ampla ou fortes gradientes em certas distâncias, ou análogas; um enunciado que exprimir uma condição teoricamente possível mas altamente complicada do campo (abrangendo talvez fortes mudanças em distâncias muito curtas) pode não ter implicações "operacionalmente verificáveis".

Podemos agora ver claramente que os termos de uma teoria científica não podem ser pensados como tendo cada um número finito de critérios operacionais específicos ou, mais geralmente, de enunciados interpretativos ligados a eles. Pois os enunciados interpretativos são pensados como determinando os modos pelos quais as sentenças que contém o termo interpretado podem ser verificadas; em outras palavras, quando combinados a essas sentenças, os enunciados interpretativos devem conduzir a implicações verificáveis, formuladas num vocabulário de antemão disponível. Assim, a interpretação operacional da dureza, por meio do teste do risco, permite a derivação de implicações verificáveis a partir de sentenças da forma ' $m_1$  é mais duro que  $m_2$ '; a interpretação, baseada no teste pelo papel de tornassol, faz o mesmo para sentenças da forma 'o líquido  $l$  é um ácido', e assim por diante. Ora, as diferentes maneiras pelas quais (ou as implicações pelas quais) as sentenças, que contém os termos de uma teoria científica, podem ser verificadas estão determinadas pelos princípios de transposição da teoria. Esses princípios, como notamos no capítulo 6, vinculam as entidades e os processos característicos, supostos pela teoria, com os fenômenos que podem ser descritos em termos pré-teóricos, ligando assim os termos teóricos aos já entendidos previamente. Mas esses princípios não atribuem a um termo teórico um número finito de critérios de aplicação, como se vê considerando ainda uma vez o termo 'eléctron'. Já observamos que nem toda sentença que contém esse termo terá implicações verificáveis bem definidas. Contudo, as sentenças contendo o termo que produzem implicações verificáveis são de uma diversidade ilimitada, e a diversidade correspondente de verificações não pode, sem arbitrariedade, ser considerada como conforme a apenas dois, ou sete, ou vinte

critérios diferentes de aplicação para o termo 'elétron'. Aqui, então, a concepção de que os termos de uma teoria são individualmente interpretados por um número finito de critérios operacionais tem que ser abandonada em favor da idéia de um conjunto de princípios de transposição, que não interpretam os termos teóricos individualmente, mas fornecem uma variedade indefinida de critérios de aplicação pela determinação de uma variedade, igualmente indefinida, de implicações verificáveis para os enunciados que contêm um ou mais termos teóricos.

## 8

## REDUÇÃO TEÓRICA

## A CONTROVÉRSIA MECANICISMO VS. VITALISMO

Segundo a doutrina neovitalista de que já tratamos não se pode explicar certas características dos corpos vivos — como as de adaptação e de auto-regulação — sem apelar para fatores desconhecidos nas Ciências Físicas, que são as enteléquias ou forças vitais. E, segundo a nossa análise, o conceito de enteléquia, tal como é usado pelos neovitalistas, não pode fornecer explicação de fenômeno biológico algum. As razões para esta conclusão não nos autorizam a negar que os sistemas e processos biológicos difiram fundamentalmente dos puramente físico-químicos, como afirma a tese básica do vitalismo, contra a qual se opõe a chamada doutrina mecanicista de que os organismos vivos nada mais são do que sistemas físico-químicos complexos (embora não puramente mecânicos, como o velho termo 'mecanicismo' poderia sugerir).

Estas concepções antagônicas foram assunto de longos e calorosos debates, cujos detalhes não podemos reproduzir aqui. Mas evidentemente a questão só pode ser discutida com proveito se a significação das teses opostas for suficientemente esclarecida para revelar que tipos de argumento e de evidência podem ser sustentados no problema e como poderia ser decidida a controvérsia. É este problema, tipicamente filosófico, de esclarecer as concepções antagônicas que vamos agora considerar; como veremos, o resultado de nossas reflexões terá também certas implicações quanto à possibilidade de decidir a questão.

Sem dúvida a questão é saber se os organismos vivos são "meramente", ou exclusivamente, sistemas físico-químicos. Mas, qual é o sentido de dizer que eles o são? Nossas observações introdutórias sugerem que podemos sintetizar a doutrina



do mecanicismo numa dupla tese: ( $M_1$ ) todas as características dos organismos vivos são características físico-químicas — podem ficar completamente descritas em termos dos conceitos da Física e da Química; ( $M_2$ ) todos os aspectos do comportamento dos organismos vivos, que podem ser de fato explicados, podem ser explicados mediante leis e teorias físico-químicas.

Quanto à primeira dessas asserções, é claro que no momento a descrição dos fenômenos biológicos requer o uso não somente de termos da Física e da Química, mas de termos especificamente biológicos que não figuram no vocabulário daquelas ciências. Tomemos, por exemplo, o enunciado 'na primeira etapa da mitose ocorre, entre outras coisas, uma contração dos cromossomos no núcleo da célula que se divide' ou este outro, muito menos técnico: 'um ovo de galinha fertilizado, quando convenientemente chocado, produz um pinto'. Segundo a tese  $M_1$ , todos os processos e entidades biológicos neles mencionados — galinha, ovos de galinha, células, núcleos, cromossomos, fertilização e mitose — podem ser caracterizados em termos físico-químicos. A interpretação mais plausível desta tese é a de que os termos biológicos correspondentes — 'galinha', 'célula' etc. — podem ser *definidos* com auxílio de termos tomados ao vocabulário da Física e da Química, o que constitui uma versão mais específica de  $M_1$ , que designaremos por  $M_1'$ . Analogamente, se todos os fenômenos biológicos — e, portanto, em particular, todas as uniformidades expressas por leis biológicas — tiverem que ser explicáveis por meio de princípios físico-químicos, então todas as leis da Biologia terão que ser deriváveis de leis e princípios teóricos da Física e da Química. A tese de que assim o é pode ser encarada como uma versão mais específica de  $M_2$ , que chamaremos  $M_2'$ .

Os enunciados  $M_1'$  e  $M_2'$  exprimem conjuntamente o que freqüentemente se chama a tese da *reduzibilidade da Biologia à Física e à Química*. É uma tese concernente tanto aos conceitos como às leis das disciplinas mencionadas: a reduzibilidade dos conceitos e das leis de uma disciplina aos de outra é interpretada respectivamente como definibilidade dos conceitos e como derivabilidade das leis da primeira a partir dos da última. Pode-se pois dizer que o mecanicismo afirma a reduzibilidade da Biologia à Física e à Química ou, se se preferir, que nega a *autonomia da Biologia*, isto é, dos conceitos e prin-

cípios biológicos. Dir-se-á então que o neovitalismo afirma essa autonomia e suplementa essa tese com a doutrina das forças vitais. Vamos agora considerar as teses mecanicistas mais pormenorizadamente.

#### REDUÇÃO DOS TERMOS

A tese  $M_1'$ , sobre a definibilidade dos termos biológicos, não pretende, claro, afirmar a possibilidade de atribuir significados físico-químicos aos termos biológicos por definições estipulativas arbitrárias. Admite sem discussão que os termos no vocabulário da Biologia tenham significados técnicos definidos, mas pretende que, num sentido que devemos tentar esclarecer, a significação deles possa ser adequadamente expressa com auxílio de conceitos da Física e da Química. O que a tese afirma, então, é a possibilidade de serem dadas "definições descritivas" dos conceitos biológicos em termos de Física e de Química, conforme a classificação das definições que apresentamos em linhas gerais no capítulo 7. Ora, no caso, essas definições descritivas dificilmente poderiam ser analíticas. Pois seria obviamente falso pretender que para cada termo biológico — por exemplo, 'ovo de galinha', 'retina', 'mitose', 'vírus', 'hormônio' — exista uma expressão em termos físico-químicos que tenha o mesmo significado, no sentido em que 'criança' tem o mesmo significado que, ou é sinônimo de, 'menino ou menina'. Seria mesmo difícil indicar um só termo biológico para o qual se pudesse dar um sinônimo físico-químico; e seria absurdo atribuir ao mecanicismo tal interpretação de sua tese. Mas uma definição descritiva também pode ser compreendida num sentido menos estrito, em que o *definiens* não precisa ter o mesmo significado, ou intenção, que o *definiendum*, mas somente a mesma extensão, ou aplicação. O *definiens* então especifica condições que são, de fato, satisfeitas por todos os casos, e somente por eles, aos quais se aplica o *definiendum*. Um exemplo tradicional é a definição de 'homem' como 'bípede implume'; não assevera que a palavra 'homem' tenha o mesmo significado que a expressão 'bípede implume', mas apenas que tem a mesma extensão, que o termo 'homem' se aplica a todas as coisas que são bípedes implumes e somente a estas, ou que ser um bípede implume é condição necessária e suficiente para

ser um homem. Podemos referir-nos a enunciados deste gênero como *definições em extensão* e podemos esquematizá-los na forma.

————— tem a mesma extensão que —————

São deste tipo as definições a que um mecanicista pode recorrer para ilustrar e apoiar sua tese. Expressam condições físico-químicas necessárias e suficientes para a aplicabilidade dos termos biológicos e são portanto os resultados de pesquisas biofísicas ou bioquímicas quase sempre difíceis. É o que se exemplifica pela caracterização de substâncias como a penicilina, a testosterona e o colesterol em termos de suas estruturas moleculares — uma façanha que permite “definir” os termos biológicos mediante termos puramente químicos. Mas tais definições não pretendem expressar os significados dos termos biológicos. O significado original da palavra ‘penicilina’, por exemplo, teria que ser indicado caracterizando a penicilina como uma substância bactericida produzida pelo fungo *Penicillium notatum*; a testosterona é originalmente definida como um hormônio sexual masculino, produzido pelos testículos; e assim por diante. A caracterização dessas substâncias pela estrutura molecular é alcançada não por análise do significado, mas por análise química; o resultado constitui uma descoberta bioquímica, e não lógica ou filosófica, expresso por leis empíricas e não por declarações de sinonímia. Na realidade, ao aceitarmos as caracterizações químicas como novas definições dos termos biológicos, fazemos uma mudança não só de significado ou intenção, mas também de extensão. Pois os critérios químicos classificam como penicilina ou como testosterona certas substâncias que não foram produzidas por sistemas orgânicos, mas foram sintetizadas num laboratório.

O importante a reter é que o estabelecimento de tais definições requer pesquisa empírica. Portanto, em geral, saber se um termo biológico é “definível” somente à custa de termos de Física e de Química é uma questão que não pode ser respondida pela simples contemplação do significado, ou por qualquer outro procedimento não-empírico. Logo, a tese  $M_1'$  não pode ser estabelecida nem refutada por razões *a priori*, isto é, por considerações que possam ser desenvolvidas “anteriormente” à — ou, melhor, independentemente da — evidência empírica.

## REDUÇÃO DAS LEIS

Passamos agora à segunda tese,  $M_2'$ , na nossa interpretação do mecanicismo — a que afirma serem as leis e os princípios teóricos da Biologia deriváveis dos da Física e da Química. É claro que deduções lógicas a partir de enunciados formulados exclusivamente em termos de Física e de Química não chegarão a leis caracteristicamente biológicas, de vez que estas têm que conter também termos especificamente biológicos.<sup>1</sup> Para obter essas leis, precisamos de premissas adicionais, que expressem conexões entre as características físico-químicas e as biológicas. A situação lógica aqui é a mesma que existe no uso explanatório de uma teoria, onde são exigidos princípios de transposição, além dos princípios teóricos internos, para a derivação de conseqüências que podem ser expressas exclusivamente em termos pré-teóricos. Aqui, para deduzir leis biológicas de leis físico-químicas, são necessárias premissas adicionais que contenham termos biológicos e termos físico-químicos e tenham o caráter de leis que vinculam certos aspectos físico-químicos de um fenômeno a certos aspectos biológicos. Um enunciado conectivo desta espécie pode tomar a forma especial das leis que acabamos de considerar e que servem de base a uma definição em extensão dos termos biológicos, pois afirmam que a presença de certas características físico-químicas (por exemplo, uma substância ser de tal e tal estrutura molecular) é condição necessária e suficiente para a presença de certas características biológicas (por exemplo, ser testosterona). Outros enunciados conectivos podem exprimir condições físico-químicas que são necessárias mas não suficientes, ou condições que são suficientes mas não necessárias para uma dada característica biológica. As generalizações ‘onde existe vertebrado vivo existe oxigênio’ e ‘qualquer fibra nervosa conduz

<sup>1</sup> Poderia parecer óbvio que as conseqüências logicamente dedutíveis de um conjunto de premissas não possam conter termos “novos”, isto é, termos que não ocorram nas premissas. Ora, o enunciado de Física: ‘Um gás se expande quando aquecido sob pressão constante’ implica logicamente ‘Um gás se expande ou se transforma num enxame de mosquitos quando sob pressão constante’, que é um enunciado de Biologia. Mas a mesma premissa de Física permite também a dedução dos enunciados ‘Um gás se expande ou não se transforma num enxame de mosquitos quando aquecido sob pressão constante’, ‘Um gás se expande ou se transforma num coelho quando aquecido sob pressão constante’ etc. Em geral, qualquer enunciado de Biologia que pode ser deduzido de uma lei física tem esta peculiaridade: substituindo os termos especificamente biológicos que nele ocorrem por suas negações ou por quaisquer outros termos, obtém-se uma sentença igualmente deduzível da lei física. Neste sentido a lei física fracassa como explicação de qualquer fenômeno especificamente biológico.

impulsos elétricos' são do primeiro tipo; o enunciado que o gás tabun (caracterizado por sua estrutura molecular) bloqueia a atividade nervosa e por isso causa a morte no homem é do segundo tipo. E muitos outros tipos de enunciados conectivos são concebíveis.

Uma forma muito simples de derivação de uma lei biológica a partir de uma lei físico-química poderia ser esquematizada da seguinte maneira: Sejam ' $P_1$ ', ' $P_2$ ' expressões que contêm apenas termos físico-químicos e sejam ' $B_1$ ', ' $B_2$ ' expressões que contêm um ou mais de um termo especificamente biológico (podendo conter também termos físico-químicos). Seja uma lei físico-química de enunciado 'todos os casos de  $P_1$  são casos de  $P_2$ ' — que chamaremos  $L_P$  — e sejam dadas as seguintes leis de conexão: 'Todos os casos de  $B_1$  são casos de  $P_1$ ' e 'Todos os casos de  $P_2$  são casos de  $B_2$ ' (a primeira diz que as condições físico-químicas de tipo  $P_1$  são necessárias para a ocorrência do estado ou condição biológicas  $B_1$ ; a segunda, que as condições físico-químicas  $P_2$  são suficientes para o aspecto biológico  $B_2$ ). Então, como se vê facilmente, uma lei puramente biológica pode ser logicamente deduzida da lei físico-química  $L_P$  em conjunção com as leis de conexão, a saber: 'todos os casos de  $B_1$  são casos de  $B_2$ ' (ou 'Sempre que ocorrerem os aspectos biológicos  $B_1$ , ocorrerão também os aspectos biológicos  $B_2$ ').

Em geral, pois, o número de leis biológicas explicáveis mediante leis físico-químicas depende do número de leis de conexão convenientes que possam ser estabelecidas. E isso, mais uma vez, não pode ser decidido por argumentos *a priori*; a resposta só pode ser encontrada pela pesquisa biológica e biofísica.

#### REFORMULAÇÃO DO MECANICISMO

Sem dúvida, as teorias da Física e da Química e as leis de conexão que são disponíveis no momento atual não bastam para reduzir os termos e as leis da Biologia aos da Física e da Química. Mas a pesquisa neste terreno avança rapidamente, fazendo sempre crescer o alcance da interpretação físico-química dos fenômenos biológicos. Poder-se-ia então interpretar o mecanicismo como a opinião de que no futuro a Biologia será reduzida à Física e à Química. Mas esta formulação

não pode ser feita sem cautela. Pois na nossa discussão admitimos ser possível separar claramente os termos de Física e de Química de um lado e os especificamente biológicos do outro. Certo, diante de qualquer termo científico atualmente em uso, é provável que não haja dificuldade em decidir intuitivamente se ele pertence a um ou a outro desses vocabulários ou a nenhum deles. Mas seria muito difícil formular explicitamente critérios gerais mediante os quais qualquer termo científico agora em uso, e também qualquer termo que venha a ser introduzido no futuro, possa ser identificado de modo inequívoco como pertencente ao vocabulário específico de tal disciplina particular. Pode mesmo ser impossível dar tais critérios. Pois no decorrer da pesquisa futura a linha divisória entre a Biologia e a Física-e-Química pode tornar-se tão pouco nítida como a que separa nos nossos dias a Física da Química. Pode muito bem acontecer que teorias futuras, formuladas em termos de espécies inteiramente novas, forneçam explicações tanto para os fenômenos atualmente chamados biológicos como para os que são agora denominados físicos ou químicos. No vocabulário de uma tal teoria unificante a distinção entre termos físico-químicos e termos biológicos não teria mais sentido, nem a questão de reduzir a Biologia à Física e à Química.

Um desenvolvimento teórico deste gênero, entretanto, não está ainda a nosso alcance. E enquanto não estiver, é melhor interpretar o mecanicismo como um princípio heurístico, como um preceito orientador das pesquisas, do que como uma tese ou uma teoria sobre a natureza dos fenômenos biológicos. Assim compreendido, o mecanicismo estimula o cientista a persistir na procura de teorias básicas físico-químicas dos fenômenos biológicos, em vez de se resignar à opinião de que os conceitos e princípios da Física e da Química são impotentes para dar uma explicação adequada dos fenômenos da vida. Os triunfos alcançados pela pesquisa biofísica e bioquímica orientada por este preceito constituem uma credencial à qual a concepção vitalista nada tem a contrapor.

#### REDUÇÃO DA PSICOLOGIA; O BEHAVIORISMO

A questão da redutibilidade também foi levantada para outras disciplinas científicas além da Biologia. E é de particular interesse no caso da Psicologia, onde se coloca no famoso pro-

blema psicofísico, isto é, no problema da relação entre o corpo e o espírito. Uma concepção reducionista da Psicologia sustenta, *grosso modo*, que todos os fenômenos psicológicos são fundamentalmente de natureza biológica ou físico-química; ou, mais precisamente, que os termos e leis específicos da Psicologia podem ser reduzidos aos da Biologia, Química e Física. Entendendo-se por redução o mesmo que antes, valem aqui os mesmos comentários gerais. Assim sendo, a “definição” reductiva de um termo psicológico requer a especificação de condições biológicas ou físico-químicas que sejam necessárias e suficientes à ocorrência da característica, estado ou processo mental (tais como inteligência, fome, alucinação, sonho) correspondente ao termo. E a redução das leis psicológicas requer princípios convenientes de conexão, contendo termos psicológicos, além de termos biológicos ou físico-químicos.

De fato, são conhecidos alguns desses princípios de conexão, que exprimem condições necessárias ou suficientes para certos estados psicológicos: privar alguém de alimento, água ou oportunidade para repouso é suficiente para a ocorrência de fome, sede ou fadiga; a administração de certas drogas pode ser suficiente para a ocorrência de alucinações; a presença de certos ligamentos nervosos é necessária à ocorrência de certas sensações e à percepção visual; um fornecimento apropriado de oxigênio ao cérebro é necessário à atividade mental e mesmo à consciência.

Uma classe especialmente importante de indicadores biológicos ou físicos de estados e eventos psicológicos consiste no comportamento publicamente observável do indivíduo a quem se atribui esses estados e eventos. Por esse comportamento se entende não só manifestações em larga escala, diretamente observáveis, como os movimentos dos corpos, as expressões faciais, o enrubescimento, as exclamações verbais, a execução de certas tarefas (como nos testes psicológicos), mas também reações mais sutis, como as variações de pressão sanguínea e de batidas do coração, a condutibilidade da pele, a química do sangue. Assim é que a fadiga pode manifestar-se tanto em exclamações faladas (“Eu me sinto cansado” etc.), como na diminuição da rapidez e da qualidade com que se executa uma tarefa, no bocejar e em alterações fisiológicas; ou que certos processos afetivos e emocionais se fazem acompanhar por mudanças na resistência aparente da pele, medida pelos “detectores de mentira”; ou que as preferências e a hierarquia

de valores de uma pessoa se exprimem no modo pelo qual ela escolhe entre certas ofertas relevantes, e as suas crenças nas exclamações verbais que dela podem ser obtidas e também nos modos de agir — por exemplo, a crença de um viajante de que uma estrada está fechada pode revelar-se no fato de ele tomar um desvio.

Certos tipos de comportamento “aberto” (publicamente observável) manifestado por uma pessoa sob “estímulos” ou “testes” apropriados são largamente usados em Psicologia como critérios operacionais para constatar a presença de um determinado estado psicológico ou de uma determinada propriedade psicológica da pessoa em questão. As respostas dadas por uma pessoa a um questionário apropriado são índices da inteligência ou da introversão; a salivação, a intensidade do choque elétrico para alcançar a comida ou a quantidade de comida consumida são manifestações da fome de um animal. Na medida em que os estímulos e os resultados podem ser descritos em termos biológicos ou físico-químicos, pode-se dizer que os critérios resultantes fornecem especificações parciais do significado de expressões psicológicas em termos dos vocabulários da Biologia, da Química e da Física. Embora muitas vezes mencionados como definições operacionais, não determinam na realidade condições necessárias e suficientes para os termos psicológicos: a situação lógica é inteiramente semelhante à que encontramos ao examinar a relação entre os termos biológicos e os do vocabulário da Física e da Química.

O behaviorismo é uma escola de pensamento influente em Psicologia que, em suas múltiplas formas, tem uma orientação fundamentalmente reducionista; num sentido mais ou menos estrito, procura reduzir qualquer discurso sobre fenômenos psicológicos a um discurso sobre fenômenos de comportamento. Uma forma de behaviorismo especialmente preocupada em garantir a verificabilidade objetiva das hipóteses e teorias psicológicas insiste em que todos os termos psicológicos devem ter critérios claramente especificados de aplicação, formulados em termos de comportamento, e que as hipóteses e teorias psicológicas devem ter implicações concernentes ao comportamento publicamente observável. Esta escola de pensamento rejeita, em particular, toda confiança em métodos como a introspecção, que só pode ser usada pela própria pessoa numa exploração fenomenalística do seu universo mental; e não admite como

dado psicológico nenhum fenômeno psicológico “privado” — sensação, sentimento, esperança, receio etc. — que os métodos introspectivos pretendem revelar.

Enquanto os behavioristas concordam em insistir nos critérios objetivos de comportamento para características, estados e eventos psicológicos, diferem (ou são omissos) quanto à relação entre os fenômenos psicológicos e os correspondentes, muitas vezes sutis e complexos, fenômenos de comportamento — se estes são simplesmente manifestações públicas daqueles ou se os fenômenos psicológicos são, em sentido claro, idênticos a certos estados, propriedades ou eventos complexos de comportamento. Uma versão recente do behaviorismo, que exerceu forte influência na análise filosófica dos conceitos psicológicos, sustenta que os termos psicológicos, embora se refiram ostensivamente a estados mentais e a processos “no espírito”, servem, na realidade, simplesmente como meios de falar sobre aspectos mais ou menos intrincados do comportamento — especificamente sobre propensões ou disposições a comportar-se de maneira característica em certas situações. Nesta concepção, dizer de uma pessoa que é inteligente é dizer que ela tende a agir ou tem disposição para agir de certo modo característico; a saber, de modo que normalmente qualificaríamos como ação inteligente nas mesmas circunstâncias. Dizer de alguém que fala russo não é dizer, claro, que esteja constantemente pronunciando expressões russas, mas que é capaz de uma espécie específica de comportamento que se revela em situações particulares e que é geralmente considerado característico de uma pessoa que compreende e fala russo. Pensar em Viena, gostar de jazz, ser honesto, ser esquecido, ver certas coisas, ter certas vontades, tudo isso pode ser concebido de modo semelhante. E concebendo-o desta maneira — sustenta esta forma do behaviorismo — a gente se liberta do que há de desconcertante no problema do corpo e do espírito: não há mais que procurar pelo “fantasma na máquina”,<sup>2</sup> pelas entidades e pelos processos mentais que estão por “trás” da fachada física. Cabe aqui uma analogia. De um cronômetro que marcha muito bem diz-se que tem uma precisão muito alta; atribuir alta precisão a ele é equivalente a dizer que marcha muito bem. Não

<sup>2</sup> A expressão foi forjada por Gilbert Ryle, cujo livro *The Concepts of Mind* (Londres: Hutchinson, 1949), estimulante e influente, desenvolve pormenorizadamente uma concepção dos fenômenos psicológicos e das locuções psicológicas que é behaviorista no sentido aqui rapidamente esboçado.

faz sentido, portanto, perguntar de que modo esse agente não-substancial, a precisão, atua sobre o mecanismo do relógio; nem faz sentido perguntar o que acontece à precisão quando o relógio para de funcionar. Analogamente, nesta versão do behaviorismo, não faz sentido perguntar como eventos ou características mentais modificam o comportamento de um organismo.

Esta concepção, que contribuiu grandemente para esclarecer o papel dos conceitos psicológicos, é evidentemente de teor reducionista; segundo ela, os conceitos da Psicologia permitem um modo eficiente e conveniente de falar sobre as estruturas sutis do comportamento. Entretanto, os argumentos que a suportam não estabelecem que todos os conceitos da Psicologia sejam realmente *definíveis* em termos de conceitos não-psicológicos da espécie requerida para descrever um comportamento aberto ou disposições de comportamento; e isso por duas razões, pelo menos. Primeiro, é muito duvidoso que todas as espécies de situação em que uma pessoa, por exemplo, possa “agir inteligentemente” e as espécies particulares de ação que as classifiquem como inteligentes em cada uma dessas situações fiquem incluídas numa definição clara e plenamente explícita. Segundo, parece que as circunstâncias sob as quais, e as maneiras pelas quais, a inteligência ou a coragem ou a malevolência podem manifestar-se em comportamento aberto não podem ser adequadamente enunciadas em termos de um “vocabulário puramente behaviorístico”, que contivesse apenas, além dos termos de Física, de Química e de Biologia, expressões não-técnicas da linguagem cotidiana como ‘sacudir a cabeça’, ‘estender a mão’, ‘retrair-se’, ‘fazer careta’, ‘rir’ e análogas: parece que são necessários também termos psicológicos para caracterizar as espécies de estruturas de comportamento, ou disposições e capacidades de comportamento, que termos como ‘cansado’, ‘inteligente’, ‘sabe russo’ indicam ao que se presume. Pois saber se o comportamento aberto de alguém numa dada situação qualifica-o como inteligente, corajoso, temerário, cortês, rude etc. não depende simplesmente dos fatos que constituem a situação, mas, e de um modo muito importante, do que esse alguém sabe ou acredita sobre a situação em que se encontra. Um homem que caminha sem titubear para uma mata onde se encontra um leão faminto não está agindo corajosamente se não acreditar (e portanto não souber) que existe um leão na mata. Analogamente, saber se o comportamento de uma pessoa numa dada situação qualifica-o como inteligente, dependerá do que ele *acre-*

dita sobre a situação e dos objetivos que ele *quer* atingir pela sua ação. Parece assim que, para caracterizar as formas, propensões ou capacidades de comportamento a que se referem os termos psicológicos precisamos de outros termos psicológicos, além de um vocabulário behaviorístico conveniente. Esta consideração não prova, claro, que seja impossível uma redução dos termos psicológicos a um vocabulário behaviorístico, mas adverte que a possibilidade de uma tal redução não ficou estabelecida pelo tipo de análise que apreciamos.

Outra disciplina a que se pensou que a Psicologia pudesse ser eventualmente reduzida é a Fisiologia, e especialmente a Neurofisiologia; mas aqui também uma redução plena no sentido especificado anteriormente não pode sequer ser vislumbrada.

Finalmente, devemos registrar que questões de redutibilidade surgem também a respeito das Ciências Sociais, particularmente a propósito da doutrina do individualismo metodológico,<sup>3</sup> segundo a qual todos os fenômenos sociais devem ser descritos, analisados e explicados em termos de situações dos agentes individuais envolvidos neles, mediante leis e teorias concernentes ao comportamento individual. A descrição da "situação" de um agente teria que levar em conta seus motivos e suas crenças assim como seu estado fisiológico e os diversos fatores físicos, químicos e biológicos do seu ambiente. Pode-se pois dizer da doutrina do individualismo metodológico que ela implica a redutibilidade dos conceitos e leis das Ciências Sociais (num sentido amplo, incluindo Psicologia de grupo, Teoria do comportamento econômico e análogos) aos da Psicologia individual, Biologia, Química e Física. Mas os problemas assim levantados escapam ao alcance deste livro. Pertencem à Filosofia das Ciências Sociais e só foram mencionados aqui como ilustração adicional do problema da redutibilidade teórica e como exemplo das várias afinidades lógicas e metodológicas que existem entre as Ciências Naturais e as Sociais.

<sup>3</sup> Uma lúcida discussão desta doutrina se encontra em E. Nagel, *The Structure of Science*, pp. 535-46.

## LEITURAS ADICIONAIS

A lista abaixo contém apenas umas poucas obras escolhidas, a maioria das quais fornece, entretanto, referências abundantes à literatura sobre o assunto.

### *Antologias*

- A. DANTO e S. MORGENBESSER, orgs., *Philosophy of Science*. Nova York: Meridian Books, 1960. (Brochura.)
- H. FEIGL e M. BRODBECK, orgs., *Readings in the Philosophy of Science*, Nova York: Appleton-Century-Crofts, 1953.
- E. H. MADDEN, org., *The Structure of Scientific Thought*. Boston: Houghton Mifflin Company, 1960.
- P. P. WIENER, org., *Readings in Philosophy of Science*. Nova York: Charles Scribner's Sons, 1953.

### *Obras de autores individuais*

- N. CAMPBELL, *What Is Science?* Nova York: Dover Publications, 1952. (Brochura.) Uma introdução lúcida aos seguintes tópicos: as leis, as teorias, a explicação e a mensuração.
- R. CARNAP, *Philosophical Foundations of Physics*, org. Martin Gardner. Nova York, Londres: Basic Books, Inc., 1966. Uma fascinante introdução a numerosos temas da Filosofia da Física, por um dos mais eminentes lógicos e filósofos contemporâneos da ciência.
- P. CAWS, *The Philosophy of Science*. Princeton: D. Van Nostrand Co., 1965. Uma clara discussão introdutória aos principais aspectos lógicos, metodológicos e filosóficos do teorizar científico.
- A. GRÜNBAUM, *Philosophical Problems of Space and Time*. Nova York: Alfred A. Knopf, 1963. Obra muito substancial, que examina com cuidado e com profundidade a estrutura do espaço e do tempo à luz das teorias recentes da Física e da Matemática.
- N. R. HANSON, *Patterns of Discovery*. Cambridge, Inglaterra: Cambridge University Press, 1958. Estudo sugestivo das bases e da função das teorias científicas focalizando as teorias da Física Clássica e da Física Moderna sobre as partículas.
- C. G. HEMPEL, *Aspects of Scientific Explanation and Other Essays in the Philosophy of Science*. Nova York: The Free Press, 1965. Inclui diversos ensaios sobre a formação e explanação dos conceitos nas Ciências Naturais e Sociais e em Historiografia.

- E. NAGEL, *The Structure of Science*. Nova York: Harcourt, Brace & World, Inc., 1961. Esta obra excepcional apresenta uma exposição sistemática e completa, assim como uma análise luminosa, de uma enorme variedade de problemas metodológicos e filosóficos sobre as leis, as teorias e os modos de explicação nas Ciências Naturais e Sociais e em Historiografia.
- K. R. POPPER, *The Logic of Scientific Discovery*. Londres: Hutchinson and Co.; Nova York: Basic Books, Inc., 1959. Obra estimulante e altamente original que se ocupa especialmente da estrutura lógica e da verificação das teorias científicas. Nível moderadamente avançado. (Também em brochura.)
- H. REICHENBACH, *The Philosophy of Space and Time*. Nova York: Dover Publications, 1958. (Brochura.) Um exame, moderadamente técnico, mas bastante lúcido da natureza do espaço e tempo à luz da teoria da relatividade restrita e generalizada.
- I. SCHEFFLER, *The Anatomy of Inquiry*. Nova York: Alfred A. Knopf, 1963. Estudo analítico avançado dos conceitos de explicação, significação empírica, e confirmação.
- S. TOULMIN, *The Philosophy of Science*. Londres: Hutchinson's University Library, 1953. Livro sugestivo, de caráter introdutório, que se ocupa especialmente da natureza das leis, das teorias e do determinismo científico. (Também em brochura.)

*Obras substantivas sobre Ciência Física*

Certo conhecimento da Ciência e, preferivelmente, também de sua história, é altamente recomendável para o estudo da Filosofia da Ciência; é mesmo indispensável para um estudo mais avançado. Os dois livros seguintes oferecem exposições admiravelmente lúcidas e substanciais, de caráter introdutório (sem serem de modo algum vulgarizações), da Ciência Física, com forte ênfase nos conceitos básicos, nos métodos e no desenvolvimento histórico.

- G. HOLTON e D. H. D. ROLLER, *Foundations of Modern Physical Science*. Reading, Mass.: Addison-Wesley Publishing Co., 1958.
- E. ROGERS, *Physics for the Inquiring Mind*. Princeton: Princeton University Press, 1960.



*Este livro foi impresso  
nas oficinas da*

SÃO PAULO EDITORA S. A.  
03010 — Rua Barão de Ladário, 226  
01000 — SÃO PAULO, SP — BRASIL