

A RELEVÂNCIA DA EPISTEMOLOGIA DE MARIO BUNGE PARA O ENSINO DE CIÊNCIAS

Alberto Cupani*
Departamento de Filosofia
Maurício Pietrocola*
Departamento de Física
Universidade Federal de Santa Catarina

Resumo

Abordaremos neste trabalho a epistemologia de Mario Bunge e mostraremos a sua relevância para se enfrentar alguns problemas presentes no contexto do ensino das ciências. Em particular, apresentaremos a forma como Bunge concebe as ligações do conhecimento científico com o mundo real através da produção de leis, teorias e modelos. As explicações têm um lugar de destaque na sua obra e mostraremos como sua maneira de concebê-las no contexto da produção científica traz implicações importantes para o ensino das ciências.

Introdução

Este trabalho propõe-se a mostrar a relevância, para o ensino de ciência, da teoria dos modelos científicos formulada pelo epistemólogo Mario Bunge.¹ Internacionalmente conhecido no âmbito filosófico pelas suas numerosas obras (em torno de quarenta livros e centenas de artigos), Bunge é no entanto pouco familiar do grande público. Isso faz com que passe despercebida a utilidade das suas idéias para enfrentar problemas de outras áreas, como no caso das questões didático-pedagógicas presentes no ensino de ciências aqui enfocadas². Para uma boa compreensão dessa utilidade, exporemos inicialmente alguns tópicos da teoria bungeana da ciência.

Pressuposições do conhecimento científico

Para compreender a índole do conhecimento produzido pela atividade científica, devemos, segundo Bunge, advertir que ele pressupõe certas hipóteses filosóficas, isto é postulados que não é possível, *sensu stricto*, verificar, mas que são mantidos porque são fecundos e por ainda não terem sido desmentidos pela evolução da ciência. Essas hipóteses são as seguintes (Bunge 1969:319 ss; 1985:52 ss):

Em primeiro lugar, o **realismo ontológico**, vale dizer a convicção de que o mundo existe independentemente de nós. Para Bunge, todas as operações da ciência, principalmente a formulação de teorias e o teste experimental das mesmas implicam essa crença e ficariam privadas de sentido sem ela.

Em segundo lugar, o **pluralismo de níveis na realidade**, que consiste na crença de que a realidade está composta por diversos setores ou estratos (físico, biológico, psíquico,

* Com apoio parcial do CNPq

¹ Nascido em Buenos Aires em 1919, Bunge é físico de formação, tendo sido professor de física e de filosofia na Argentina antes de radicar-se no Canadá (1966), onde trabalha na McGill University. Lecionou em numerosas universidades européias e norte-americanas. No Brasil, foi professor da Unicamp.

² Um discussão sobre a relevância das idéias de Mario Bunge sobre modelos para o Ensino de Ciências pode ser encontrado em Pietrocola (1999).

sócio-cultural), cada um dos quais possui propriedades e leis específicas. Esta convicção inclui a de que os níveis podem ser subdivididos e que os níveis superiores enraízam-se nos inferiores. Trata-se de um postulado que se opõe tanto aos reducionismos apressados (v.g., entender os eventos biológicos apenas em termos físico-químicos), quanto a explicações auto-suficientes de um dado nível (p. ex., dar razão dos processos psíquicos independentemente dos processos neurológicos subjacentes, ou da cultura com prescindência das suas raízes biológicas).³

Em terceiro lugar, o **determinismo ontológico**, concebido não como o determinismo clássico de um Laplace (para o qual tudo quanto ocorre no universo estava completamente prefigurado por leis causais sem exceções), mas como a convicção de que não existem acontecimentos que não obedeçam a algum tipo de lei, admitindo-se que há leis probabilísticas e que o acaso é real. Bunge inclui neste postulado o que denomina “princípio de negação da magia”, consistindo em rejeitar que algo possa surgir do nada ou desaparecer no nada.

Em quarto lugar, o postulado da **cognoscibilidade da realidade** (realismo epistemológico).⁴ Sem ele, nenhuma tentativa científica seria feita, obviamente. Não obstante, essa cognoscibilidade não é suposta como ilimitada. Além das constantes limitações práticas (alcance dos instrumentos, número de variáveis em jogo, disponibilidade das evidências, etc.), parece haver limitações de princípio para nossa pretensão de conhecer.⁵

A última hipótese filosófica presente na ciência consiste na validade decisiva da **lógica formal bivalente**, e na autonomia da lógica e da matemática com relação às propriedades do mundo (o que as torna instrumentos universais de pesquisa). Para Bunge, embora os desenvolvimentos não clássicos da lógica possam ter interesse intrínseco, como instrumento da ciência a lógica bivalente continua sendo a fundamental. Com efeito,

Se se abandonasse o princípio lógico de identidade, teríamos que admitir o milagre de que um enunciado mudasse por si mesmo e fosse incapaz de representar duas vezes – numa mesma argumentação, por exemplo – a mesma proposição. Se se abandonasse o princípio de não contradição, seríamos incapazes de fazer suposições determinadas, pois poderíamos estar afirmando ao mesmo tempo as suas negações. Além do mais, atribuiríamos o mesmo valor a hipóteses e evidências contraditórias e, por conseguinte, o mesmo conceito de contrastação⁶ perderia interesse. Por último, sem a regra de separação ou algum princípio de inferência mais forte, nenhuma suposição poderia ser fecunda: seríamos incapazes de inferir, ou pelo menos, de validar, as nossas conclusões... (1969:329).

³ Este postulado subjaze, observa B., a vários princípios metodológicos: o da “transcendência de níveis” (se um nível é insuficiente para explicar adequadamente um conjunto de fatos, é mister ampliar a explicação por recurso aos níveis superior e inferior), o do “nível-origem” (explicar o superior pelo inferior, não invertendo o procedimento senão em última instância), e o da “contigüidade dos níveis” (não “pular” níveis ao explicar)(Bunge 1969:322-323)

⁴ Embora B. denomine assim esta convicção, cabe observar que, *stricto sensu*, ela descreve o que na tradição filosófica denominou-se *dogmatismo* (oposto ao ceticismo). O realismo epistemológico consistiria, mais precisamente, em conceber o conhecimento como reprodução da realidade (o que, de todo modo, B. defende), por oposição ao idealismo epistemológico (para o qual o conhecimento produz o seu objeto).

⁵ Por exemplo, cita B., a física dos campos mostrou não ser possível conhecer cada porção de um campo, porque um campo é um sistema com infinitos graus de liberdade (1969:324).

⁶ Conceito este que se refere ao ato de comparar, através da experimentação, resultados previsíveis a partir de uma estrutura teórico-conceitual com o domínio empírico.

O conhecimento científico: racional e objetivo

1. Uma vez percebidas as pressuposições em que se apoia a busca do conhecimento científico, vejamos agora duas das suas características mais gerais, a começar pela sua **racionalidade**. Em *La Ciencia, su Método y su Filosofía* (1972), Bunge explicita essa racionalidade dizendo que o conhecimento científico é constituído por idéias que se vinculam entre si mediante regras lógicas e se organizam em sistemas (teorias). Na atividade científica, comenta Bunge, o cientista tem certamente percepções, elabora imagens, segue normas, etc., porém tudo isso está ao serviço da concepção e transformação de idéias (id., p.17-18). Esta ênfase nas idéias como a essência, por assim dizer, do saber científico tem uma grande importância. Para o nosso autor (como para Popper [1975], ainda que com diferenças), o conhecimento não consiste em fenômenos psíquicos nem, particularmente, em crenças dos cientistas, mas em conteúdos ideais (“construtos” para Bunge, elementos do “terceiro mundo” para Popper), formulados mediante a atividade psíquica (e física, se levarmos em consideração as manipulações necessárias nas observações e experimentos), mas que não se reduzem a ela.⁷ Esta distinção entre idéias e fenômenos psíquicos é crucial para entender a rejeição, por parte de Bunge, das teorias sobre o saber científico que o identificam com as crenças compartilhadas pelos cientistas, como veremos mais adiante.

2. Junto com a racionalidade, caracteriza o conhecimento científico a **objetividade**. Para Bunge, o conhecimento científico é objetivo na medida em que se refere, de maneira *impessoal e intersubjetivamente controlável*, ao seu correspondente objeto, seja este algo empírico (coisa, evento, palavra) ou conceptual (conceitos, proposições, teorias). A “impessoalidade” significa que os enunciados científicos não aludem a opiniões, operações ou sentimentos dos sujeitos que os formulam ou compreendem.⁸ Já o controle intersubjetivo implicado pela noção de objetividade refere-se à comprobabilidade, direta ou indireta, a que as afirmações científicas devem submeter-se, à diferença das afirmações dogmáticas. Ou seja, no caráter público que determinadas afirmações podem adquirir. Nas ciências formais (lógica e matemática), as definições e demonstrações devem poder ser compreendidas, compartilhadas ou refutadas, se for o caso; nas ciências factuais (física, química, economia, sociologia, etc.), as hipóteses e teorias devem poder ser testadas mediante observações, experimentos e cálculos. Vale a pena frisar que para Bunge, a intersubjetividade não vale por si mesma, mas como indicador da objetividade. Neste sentido, os testes conferem graus variados de intersubjetividade às afirmações científicas que por conseguinte podem ser consideradas objetivas. Pode dizer-se, em resumo, que para ele são objetivos os enunciados que pretendem adequar-se aos respectivos objetos, sendo o controle intersubjetivo (e particularmente, o consenso alcançado mediante o mesmo) um indício daquela adequação.

A noção bungeana de objetividade (que designa, confessadamente, um ideal, isto é uma meta alcançada, em cada caso, apenas em certa medida), é inseparável da sua defesa

⁷ Deste sentido inter- ou transsubjetivo de “conhecimento” deve distinguir-se o conhecimento entendido como o conjunto de tudo quanto um animal (inclusive, um animal humano) aprendeu até um certo momento (Bunge 1983:42). Não obstante, em nenhum caso o conhecimento equívale às crenças do sujeito.

⁸ Por exemplo: “Há duas pessoas no quarto” é um enunciado objetivo, em vez de: “Vejo duas pessoas no quarto”, que é tão subjetivo quanto: “Nos sentimos felizes com a chegada da primavera”. O caráter intersubjetivo ou “público” opõe o saber científico ao saber ou conhecimento “subjetivo” ou privado (embora este último não seja necessariamente falso, como em: “Estou compreendendo este livro”)(exemplos de B.)

do realismo, tanto ontológico quanto epistemológico, pressuposto pela ciência, como já foi mencionado. A ciência implica para Bunge um realismo não ingênuo, mas crítico, segundo o qual a realidade não é sempre, nem simplesmente tal, como parece aos nossos sentidos. O conhecimento perceptivo é deficiente “e deve ser enriquecido pelo conhecimento conceptual, particularmente o teórico”. Este último, ou seja, a explicação da realidade mediante teorias empiricamente contrastáveis, não constitui por sua vez uma cópia da realidade, mas uma representação simbólica e sempre imperfeita da mesma (Bunge 1969: 419 ss). O que equívale a dizer que a ciência supõe que as aparências não são um indício suficiente nem seguro da realidade, e que esta última inclui elementos que podem estar além delas. Por tal razão, a pesquisa objetiva da realidade supõe o processo de “objetificação”, ou seja, de transformação em objeto de conhecimento do assunto investigado, porque a maioria dos fatos são conhecidos de maneira indireta e hipotética. Assim, o vento não é diretamente observável, mas inferido a partir da sua ação sobre corpos de controle; a timidez ou a vergonha não se percebem em si mesmas, mas com base em indicadores como o rubor e com auxílio de certas teorias psicológicas; as ondas sonoras são percebidas, porém não como ondas; etc. (Bunge 1969:736). Em definitiva,

Enquanto *objetos de conhecimento*, os objetos físicos são reconstruídos como resultado do trabalho humano e com base em (i) a sua aparência, (ii) a nossa manipulação deles, e (iii) a nossa invenção e conseqüente contrastação de modelos dos mesmos... (Bunge 1969:943, grifos do autor).

Bunge comenta que o fenomenismo enfatizou o primeiro desses aspectos, o pragmatismo exagerou o segundo, e o idealismo, a primeira parte do terceiro: “cada uma dessas filosofias limitou-se a enxergar uma parte da verdade inteira” (ibid.).

A confiança de Bunge no realismo e na objetividade conduzem-no a rejeitar as interpretações de algum modo subjetivistas do conhecimento científico. Assim, considera infundado o operacionalismo (Bridgman), para o qual os conceitos científicos não se referem a entidades autônomas (átomos, etc.), mas às operações, particularmente as medições, executadas com a finalidade de alcançá-las. Conseqüentemente, rejeita a interpretação operacionalista da mecânica quântica (v. p. ex., Bunge 1974, cap. 8) e particularmente, o “construcionismo” associado à sociologia do conhecimento científico surgida na década de 1970, e que tem um trabalho clássico em *Laboratory Life*, de B. Latour e S. Woolgar (1979). Como é sabido, os autores pretendem ter chegado, pelo estudo etnográfico dessa “estranha tribo” dos cientistas, à conclusão de que o suposto conhecimento “objetivo” e “verdadeiro” não passa de uma construção de crenças compartilhadas pelos cientistas, produtos de “interpretações” e “negociações” das diversas “inscrições” produzidas e manipuladas na “vida de laboratório”. Conforme este tipo de estudos, os “fatos” científicos e a “realidade” a que eles referir-se-iam são em definitivo construções sociais (como de resto toda “realidade”). Para Bunge, trata-se de uma conclusão extravagante procedente de uma abordagem equivocada. Entre outros erros (como identificar conhecimento e crença, ou ignorar a diferença entre conhecimento vulgar e científico) este enfoque sociológico confunde o *construtivismo epistemológico* (a nossa representação da realidade é algo construído por nós) com o *construtivismo ontológico* (a realidade é construída por nós) (Bunge 1993).

Conhecimento científico: hipotético e referido a leis

1. Toda tentativa de conhecimento, e não só no plano científico, procede formulando **hipóteses**, vale dizer conjecturas, sobre os objetos e processos que interessam. Na ciência, ensina Bunge, as hipóteses funcionam como premissas da argumentação (nas disciplinas formais), ou como suposições relativas a determinados fatos (nas ciências factuais). Para que uma suposição acerca de fatos seja científica, deve ser logicamente bem formada, empiricamente contrastável, e compatível com o conhecimento científico prévio (1969: 255). As hipóteses podem classificar-se (entre outros critérios) em direta ou indiretamente contrastáveis, porém a rigor toda hipótese, ensina Bunge, é indiretamente testável, porque por definição contém conceitos não observacionais (como “força”, “espécie” ou “classe social”), de modo que aquela classificação refere-se a hipóteses mais ou menos próximas da experiência (hipóteses de baixo e de alto nível). Além do mais, uma hipótese nunca é testada “com a experiência”, pois as hipóteses são fórmulas interpretativas da experiência e não meras descrições da mesma. Por tal razão, são contrastadas com informes acerca da experiência que podem apoiá-las ou desautorizá-las. Tais informes são conseqüências lógicas das hipóteses, traduzidas à linguagem da experiência. Essa tradução não é uma questão puramente lingüística, aclara Bunge, porque implica construir “modelos empíricos que podem ser comparados mais ou menos precisamente com alguns enunciados teóricos de baixo nível”. Assim, por exemplo:

Estritamente falando, todo enunciado acerca de pontos de massa que encontrarmos na mecânica é empiricamente incontrastável, pela simples razão de que na realidade não há pontos de massa: o que podemos observar na realidade são corpos de aspecto pequeno e que podem ser considerados como realizações ou modelos concretos dos pontos de massa (...) Por isso, não diremos que uma hipótese *h* implica a sua evidência, *e*, senão mais bem que *h* implica uma conseqüência contrastável, *c*, a qual, adequadamente traduzida, pode comparar-se com a evidência *e*. (Bunge 1969:306-307).

2. Como vimos, para Bunge a ciência pressupõe, entre outros postulados, que a realidade é ordenada, vale dizer que as coisas, os acontecimentos e os processos, embora transitória e aparentemente irregulares, “obedecem” a “configurações estáveis ou reproduzíveis” (padrões).⁹ A respeito dessas configurações, a ciência formula hipóteses que trata de verificar como “leis”. E não por acaso, mas porque “onde não há leis, não há ciência”, para o nosso autor.¹⁰

Ora, a palavra **lei** é notoriamente ambígua, sendo mister distinguir dois significados da mesma (Bunge 1972: 99 ss). “Lei” pode denotar uma *estrutura real*, uma “relação constante na natureza, na mente ou na sociedade”. Este é para Bunge o significado básico da palavra, referida a entidades reais, porém não diretamente percebidas, mas inferidas a partir de dados sensoriais e outros conhecimentos. Em segundo lugar, “lei” pode designar um *enunciado*¹¹, ou seja, a expressão da captação de uma relação constante objetiva. Evidentemente, neste sentido uma lei é uma hipótese geral, que se refere, de imediato, a um

⁹ “O homem – afirma B. – é um compulsivo buscador de padrões”, pois precisa deles para compreender o mundo e nele agir.

¹⁰ Este critério serve segundo B. para diferenciar, não apenas a ciência da pseudo-ciência, mas também a ciência das humanidades (como a crítica literária ou a história da arte), campos epistemologicamente respeitáveis, porém não científicos (Bunge 1985, cap. 2).

¹¹ Um “enunciado nomológico” ou uma “fórmula legaliforme” para efeito de precisão. Na física, as leis são em geral enunciados sobre o mundo físico que se pretendem leis neste segundo sentido.

modelo teórico (do qual falaremos mais adiante), e mediatamente, à lei objetiva, à qual nunca corresponde de maneira perfeita.¹² Ou seja que as leis objetivas podem ser representadas por diversos enunciados, que constituem aproximações cada vez maiores a elas.¹³ Os enunciados não exprimem, segundo Bunge, “conjunções de fatos” (como às vezes se afirma), mas vinculações entre variáveis selecionadas, sendo assim “esquemas de variedade e de mudança” que “especificam uma classe de fatos possíveis” (1969:341). Confiar na legalidade do universo significa crer que “todo fato pode ou poderia explicar-se em última instância por um conjunto de enunciados (e um conjunto de dados empíricos)” (1969:405).

As leis, enquanto enunciados, podem ser de diversas classes,¹⁴ mas em todos os casos devem obedecer certos requisitos. O primeiro e mais óbvio, é o da sua *generalidade* “em alguma medida e respeito” (deve tratar-se de enunciados da forma “para todos” ou “para a maioria de”). Em segundo lugar, devem ser enunciados *condicionais*, pois eles se referem a fatos possíveis (o que os diferencia das descrições). As leis obedecem, neste sentido, ao esquema: “Se [=toda vez que] se dá x, então se dá y”. Em terceiro lugar, deve tratar-se de enunciados *confirmados*, vale dizer aqueles cuja contrastação tenha sido até então positiva. Finalmente, devem ser enunciados *sistemáticos*, ou seja estar inseridos num conjunto de enunciados logicamente intervenculados. Esta inserção, que lhes dá respaldo teórico, diferencia as leis propriamente ditas das meras generalizações empíricas.

Teorias e modelos

A racionalidade da ciência consiste para Bunge, como já vimos, em que o saber científico está formado por um conjunto logicamente articulado de idéias. A articulação maior está dada pelas **teorias**, o “sistema nervoso” da ciência para o nosso autor.

Uma teoria, explica Bunge, é um *sistema de hipóteses* referente a um determinado âmbito de objetos. Trata-se de conjuntos articulados de suposições cujos enunciados são, ou bem afirmações primitivas (axiomas, definições, dados), ou bem afirmações demonstráveis dentro desse sistema (teoremas).¹⁵ As teorias são assim sistemas *hipotético-dedutivos*.

As teorias das ciências factuais podem ser definidas como “um sistema de hipóteses que supostamente dão uma explicação aproximada de um setor da realidade” (1969:425). A formulação (em particular, matemática) de teorias representa a culminação da maturação de uma disciplina, e cumpre as seguintes funções.

¹² B. distingue ainda “lei” como designação de uma regra de trabalho científico derivada de um enunciado nomológico, “lei” como um enunciado sobre os enunciados nomológicos (“enunciado meta-nomológico”), e “lei” como regra tecnológica.

¹³ B. dá como exemplo as sucessivas leis de Aristóteles, Newton, Einstein e Broglie-Bohm acerca da relação entre força e velocidade (1972:103-104).

¹⁴ Assim, conforme o nível da realidade a que aludem, podem ser físicas, químicas, psicológicas, etc.; conforme o tipo de relação que exprimem, podem ser causais, probabilísticas, funcionais, genéticas, etc.; e conforme a sua localização num sistema teórico, podem ser de baixo ou alto nível. (Bunge 1969: 355 ss)

¹⁵ Essa estrutura, nem sempre evidente na elaboração e no uso das teorias, torna-se patente mediante a operação de formalização, isto é, a reconstrução lógica da estrutura formal de uma teoria, em particular, a sua “axiomatização”, vale dizer, a apresentação do sistema teórico como um todo, explicitando seus conceitos e enunciados básicos, e distinguindo-os do derivados (teoremas). V. Bunge 1973, cap. 8.

Em primeiro lugar, e basicamente, as teorias sistematizam o conhecimento, intervinculando logicamente as hipóteses antes isoladas. Desta maneira, as teorias reforçam a contrastabilidade das hipóteses que as integram, ao combinar o controle empírico com a comparabilidade com outras hipóteses do sistema. Em segundo lugar, as teorias oferecem uma *representação* do setor da realidade a que se referem. Por isso, permitem explicar os fatos do respectivo domínio, segundo veremos depois. Ademais, elas aumentam o conhecimento, porque permitem inferir novas afirmações (v.g., previsões), com base no saber sistematizado. Por tudo isso, as teorias orientam a pesquisa, propondo ou reformulando problemas, sugerindo novos dados, inspirando novas linhas de indagação. Algumas vezes, as teorias fazem ainda mais do que isso: reorientam completamente o curso da ciência (teorias revolucionárias).

Para entendermos o tipo de representação da realidade que as teorias oferecem, devemos reparar que toda teoria factual enfoca tão somente *alguns aspectos* da realidade, considera unicamente *algumas variáveis* e introduz apenas *algumas relações* entre elas. Vale dizer que toda teoria investiga o mundo *esquemáticamente*, referindo-se a um *modelo* e não à realidade em toda a sua riqueza e complexidade (o que de resto seria impossível). A teorização supõe a criação de um “objeto-modelo”, ou seja, uma representação idealizada do setor da realidade em estudo, tal como “cobre” ou “homo sapiens”. A teoria não “retrata”, pois, a realidade, nem se refere imediatamente a ela. A teoria trata, por assim dizer, do “objeto-modelo”, que constitui uma representação *convencional* (embora não arbitrária) e *aproximada* da realidade (Bunge 1974:25 e 35). Essa representação, denominada relação de “modelagem”, pode ser figurativa (como um desenho ou um diagrama), ou conceptual (como um sistema de enunciados ou equações). Bunge explica:

Começamos a modelar supondo que o domínio R de indivíduos possa ser repartido em subconjuntos homogêneos S , vale dizer, em subconjuntos em que todos os elementos são idênticos num dado sentido. Atribuímos então a cada membro s de cada uma dessas classes de equivalência S alguns predicados chave P_1, P_2, \dots, P_{n-1} . Tais predicados significam propriedades e relações que são, em grande parte, não observáveis: e , em quanto estão definidos sobre S , serão só aproximadamente satisfeitos, se é que o são de algum modo, pelo referente R de S . Formamos assim um sistema relacional $M = \langle S, P_1, P_2, \dots, P_{n-1} \rangle$ com a pretensão de ser um *modelo* conceptual do referente concreto R . Em resumo: M modela R (Bunge 1974:33)

A função da teoria é fornecer uma explicação desse objeto-modelo ou, em outros termos, oferecer um *modelo teórico* do mesmo. Isso se obtém mediante uma teoria genérica¹⁶ que se especifica no modelo teórico, o qual constitui reciprocamente a “interpretação” da teoria para um caso concreto (1974:35-36). Os objetos-modelo e os correspondentes modelos teóricos aspiram a dar razão do mecanismo de produção dos acontecimentos reais por eles representados. Mas isso não implica que os modelos devam ser necessariamente mecânicos ou mecanicistas.¹⁷ Tampouco precisam os modelos ser deterministas, porque podem ser probabilísticos. E sobre tudo, não é necessário que sejam figurativos (“icônicos”): dado que as idéias (e não as imagens) são o essencial no conhecimento, os modelos conceptuais (em uma rigorosa formulação lógico-matemática,

¹⁶ Em alguns textos, Bunge (1974), prefere a denominação de teorias gerais, para indicar a formulação de uma teoria no seu estado mais genérico. Ver também Pietrocola, 1999.

¹⁷ Os modelos da propagação eletromagnética das reações químicas complexas, bem como o da evolução biológica “são modelados em modos estranhos à mecânica”, ilustra B. (ibid.).

não intuitiva e muito menos “familiar”) são os superiores. O valor dos modelos figurativos é para Bunge antes psicológico do que epistemológico:

Sem dúvida, é sempre possível descrever o modelo com o auxílio de um diagrama e às vezes, até com a ajuda de um modelo material – tais como os modelos esféricos das moléculas: estes últimos auxiliam a compreender as idéias difíceis e algumas vezes, a inventá-las. Não obstante, nem diagramas nem análogos materiais podem representar o objeto [objeto-modelo] de uma maneira tão precisa e completa como o faz um conjunto de enunciados. A força de um objeto-modelo de tipo conceptual não é de natureza psicológica (heurística ou pedagógica): ela reside no fato de ser uma idéia teórica e, por conseguinte, uma idéia que se pode inserir numa máquina teórica a fim de pô-la a funcionar e produzir outras idéias interessantes.(id., p. 25).

Por isso, embora os modelos figurativos sejam ocasionalmente úteis, não se deve segundo Bunge confiar totalmente neles, porque podem reduzir-se a “metáforas sugestivas”.

Ora, uma teoria é vinculada à realidade mediante dois tipos de elementos: *regras de denotação*, que assinalam os referentes da teoria, e *pressupostos semânticos* que “associam construtos [objetos conceptuais] a itens factuais, indicando os traços das coisas que os construtos devem, corretamente ou não, representar” (1974:127).¹⁸ Não obstante, não deve pensar-se que regras e pressupostos façam com que *todos* os termos de uma teoria adquiram um referente empírico ou factual.¹⁹ Um conceito como “posição de uma partícula” não se refere a um elemento (a posição) que seria real independentemente da entidade (partícula) da qual é uma propriedade. A correspondência das teorias, enquanto modelos, com a realidade é *global* e não pontual.²⁰ De onde:

Uma teoria, tomada na sua totalidade, *refere* a um sistema – ou melhor, a uma classe de sistemas – e o modelo por ela suposto *representa* esse sistema (1969:419).

A referência de uma teoria constitui a sua *dimensão semântica* (ou seja dos significados por ela atribuídos), que deve ser diferenciada para Bunge da sua *dimensão metodológica*, a qual diz respeito à *contrastabilidade* da teoria (ou seja, da possibilidade de se contrapor aos referentes empíricos). As teorias são submetidas a prova empiricamente, porém elas não se referem, propriamente, aos fatos tais como são experimentados (os “fenômenos”, que podem ser “evidências” em favor de uma teoria ou em contra dela). Se exagerarmos no valor da referência, advertete Bunge, cairemos no realismo ingênuo, supondo

¹⁸ Assim, na genética de populações encontramos por exemplo a regra: “Seja um alelo”, e o pressuposto: “W dt representa o agregado total de aptidão da população em questão, no intervalo de tempo dt” (id., p. 128). B. critica a tendência a denominar indiscriminadamente “regras de correspondência” ou “definições operacionais” as regras e suposições aqui mencionadas, o que na sua opinião facilita uma interpretação puramente instrumentalista das teorias.

¹⁹ B. distingue “empírico”, no sentido de manifesto à experiência, de “factual”, que denota algo existente, embora não necessariamente percebido. O conceito de fato corresponde a objetos, eventos e processos que ocorrem física ou mentalmente (p. ex., o pensamento ou a percepção que um sujeito num dado momento tem)(1969, cap. 12).

²⁰ Esta maneira de conceber a forma de representação do mundo contido numa teoria já permite a negação do realismo ingênuo, abundante nos livros de ciências. Assim não se trata de se perguntar se o elétron existe realmente, mas em saber se uma teoria sobre o elétron que contem outros elementos como os campos eletromagnéticos, suas propriedades espaço-temporais etc, é capaz de representar de maneira eficiente uma porção do mundo.

que as teorias são retratos da realidade; se enfatizarmos demais a contrastabilidade, incorreremos no empirismo ou até no subjetivismo.

Por se referirem a objetos ideais, as teorias não têm a rigor, e a pesar da frequência com que se utiliza a expressão, “conteúdo observacional”. Isso torna a sua prova empírica ou contrastação um processo mais indireto e complexo do que geralmente se crê. O esquema: teoria-dados é por demais grosseiro, mas é também insuficiente a noção de que as projeções da teoria são comparadas à informação empírica. Na verdade, para contrastar uma teoria (analogamente à contrastação de uma hipótese) é necessário traduzir as suas previsões a uma linguagem de observação (só meio empírica, porque não existe linguagem de observação pura) e interpretar os informes empíricos mediante a linguagem da teoria. Além do mais, geralmente outras teorias auxiliares intervêm para possibilitar a prova, as quais ajudam a reconstruir a vinculação existente entre os fatos que servem de evidência (o movimento de uma luz no céu noturno, p. ex.) e os fatos a que a teoria se refere (a órbita de um planeta)(1969:538-540).

Apesar de que toda teoria caracterizar-se por implicar um modelo dos sistemas por ela explicados, há uma diferença importante, segundo Bunge, entre dois tipos de teorização. Um tipo de teorias são mais superficiais, por assim dizer, limitando-se a considerar o comportamento de um sistema como uma unidade simples e em função tão somente da relação entre um conjunto de estímulos (*input*) e um conjunto de respostas (*output*), sem penetrar no mecanismo intermediário. Tais teorias são denominadas às vezes “fenomenológicas”, porém Bunge prefere a denominação de “teorias da caixa preta”, em alusão à sua prescindência de considerar o “interior” dos sistemas.²¹ São exemplos de tais teorias a óptica geométrica, que não faz referência à natureza e à estrutura da luz, e a teoria behaviorista da aprendizagem, que não leva em consideração mecanismos fisiológicos nem estados mentais. À diferença dessas teorias, outras oferecem um modelo da estrutura interna a que se referem: são as teorias da “caixa translúcida” ou “representacionais”,²² como as teorias ondulatórias da luz, ou as teorias do comportamento e da aprendizagem que “modelam” um mecanismo (p. ex., baseado nos reflexos). Segundo Bunge, a tendência histórica da ciência é complementar as teorias da caixa preta mediante as representacionais, o que ele justifica porque as primeiras permitem sistematizar dados, ao passo que as segundas são as que possibilitam uma explicação *stricto sensu* dos sistemas em questão.

Independentemente do fato de as teorias serem do tipo caixa preta ou representacionais, é importante que sejam matematizadas. Na medida em que o conhecimento científico é, por definição, preciso, toda teoria científica deve aspirar a ser formulada matematicamente. Teorias não matematizadas são para Bunge um claro indício de que não se alcançou suficiente maturidade científica num dado campo. De maneira análoga a como a física conquistou essa maturidade há mais de três séculos, as demais disciplinas (incluindo as ciências sociais) vêm fazendo progressos nessa direção.²³

²¹ A expressão “caixa preta” (*black box*) provém da engenharia elétrica, onde foi acunhada para referir-se ao manejo de certos sistemas (como os transformadores) como se fossem unidades sem estrutura (1974:68). A denominação “teorias fenomenológicas” tem a desvantagem de sugerir que as mesmas não superam o nível da observação, quando a rigor toda teoria o transcende.

²² B. diz hoje preferir a denominação “mecanísticas”.

²³ B. atribui a crença de que as ciências sociais não podem fazer uso das matemáticas, entre outras razões, ao desconhecimento das aplicações efetivas das matemáticas por sociólogos, por exemplo, e ainda, ao desconhecimento da variedade de recursos matemáticos existentes.

Com tudo, para intentar matematizar as suas teorias, é mister que uma disciplina tenha atingido certo grau de desenvolvimento e clareza conceptual; caso contrário, a matematização pode ser vazia e pseudo-científica. Os conceitos e esboços de teoria se afinam mediante a sua tradução matemática, que tem como meta a construção de um modelo, entendido como “um conjunto de relações *determinadas* entre variáveis *determinadas*”. Esse modelo implicará forçosamente ao começo uma grande simplificação, tornando-se pouco a pouco mais complexo para melhor representar a realidade. Note-se, adverte Bunge, que a matematização não é uma mera tradução da teoria numa outra linguagem: a matematização é uma operação que faz parte da *construção* da teoria. Por trás de uma teoria, por assim dizer, formulada na linguagem vulgar ou semi-científica, pode haver muitas teorias precisas. Por outra parte, falar de matematização não significa unicamente quantificar, porque na formulação de teorias utilizam-se também ferramentas matemáticas não métricas como a topologia, a teoria dos grupos ou a álgebra de classes (1972: 29). Em todo caso, as vantagens da matematização não se limitam a possibilitar uma máxima precisão. Ela aumenta a potência dedutiva da teoria (ou seja, a capacidade de deduzir novos enunciados); permite contrastações empíricas mais finas; facilita a identificação de defeitos (v.g., inconsistências) e a comparação da teoria com outras rivais. Tantas vantagens explicam o comentário de Bunge:

Quando se saboreou uma vez a precisão, o poder dedutivo e a elegância formal, o paladar nega-se ao alimento em bruto e tende a pensar que o *pré-matemático é pré-teorético* (1969: 505, grifos de B.)

A explicação científica

As considerações anteriores sobre a natureza das teorias e modelos tiveram como finalidade compreender a principal operação científica: a **explicação** de eventos reais. A ciência não se limita para Bunge a descrever o mundo, embora uma boa descrição possa servir às vezes para prognosticar fenômenos. O principal valor da ciência reside em que ela constitui a melhor estratégia até hoje inventada para responder à pergunta sobre o *porquê* dos eventos.

A explicação científica é, ensina Bunge, um caso privilegiado de *explicação racional*, que pode ser assim definida:

Um explicação racional de uma fórmula q é uma resposta à questão “Por que q ?”, e consiste numa argumentação que mostra que q segue-se logicamente de um conjunto de generalizações e/ou regras, e dados que não contém q ” (1969: 564)

Com outras palavras, pode dizer-se que uma explicação racional consiste na subordinação do “explicandum” ou “explanandum” (vale dizer, a proposição que descreve o que se quer explicar) a uma ou mais generalizações, mediante informação relativa às circunstâncias em que se produz o evento a ser explicado. A explicação racional é *científica* quando as generalizações (leis ou regras) e a informação circunstancial (dados) foram obtidos cientificamente. Sem embargo, a *estrutura lógica* de todas as explicações racionais é sempre a mesma: trata-se de uma *demonstração* em que o “explicandum” é apresentado como *caso* de uma generalidade. Bunge segue aqui a reconstrução lógica da explicação feita, de maneira já clássica, por Hempel (1979) e Popper (1968, § 12), conhecida na literatura epistemológica como “modelo nomológico-dedutivo” da explicação científica. Assim, quando se dá como explicação da dilatação de um fio de cobre o aumento da sua

temperatura, essa explicação é na verdade uma condensação de uma argumentação que inclui como premissas: (i) a generalização conforme a qual todo fio de cobre torna-se mais longo quando é esquentado, e (ii) a informação de que o fio em questão era de cobre e que a sua temperatura sofreu uma elevação. De maneira análoga, a formação do arco iris num momento dado explica-se por referência: (i) a certas leis físicas, especialmente as de reflexão, refração e dispersão ópticas, e (ii) à enunciação de certas “condições determinantes” (circunstâncias) como a presença de gotas de água no ar, a luz solar que incide sobre essas gotas, a posição do observador de costas para o sol, etc. (Hempel 1979: 297).²⁴

Apesar de concordar com essa caracterização da estrutura *lógica* da explicação científica, Bunge acredita que o ponto de vista lógico é insuficiente para revelar a índole da explicação, e propõe distinguir ainda outros aspectos. O *epistemológico* consiste em que a explicação é um procedimento pelo qual ampliamos, aprofundamos e racionalizamos o nosso saber, na medida em que localizamos o fato explicado num sistema de entidades interrelacionadas por leis. Este último é o aspecto *ontológico* da explicação (1969: 565). A esses aspectos cabe acrescentar o *pragmático* (a explicação é uma resposta a uma pergunta do tipo “por-que”), *semântico* (a explicação se exprime mediante fórmulas que devem ter um referente determinado), e finalmente *psicológico* (a explicação produz compreensão), ao qual retornaremos depois.

Para melhor entender a explicação científica deve reparar-se em que na ciência buscamos dar razão de *proposições* relativas a *certas propriedades* dos sistemas estudados. Como já foi dito, a explicação apela, a partir das propriedades focalizadas, a enunciados gerais relativos a *padrões* objetivos de que dependem os sistemas. Esses enunciados gerais são *leis* (enunciados nomológicos) ou *princípios*, ou bem – no caso das ciências humanas – *regras*.²⁵ As leis, por sua vez, são explicadas deduzindo-as de outras leis mais gerais e, em última instância, de princípios ou axiomas que estabelecem o *limite* – provisório – das explicações científicas (1969: 582).

Esta maneira de conceber a explicação implica que *não há uma única explicação* para um determinado acontecimento; podemos com efeito descrevê-lo de diferentes formas e enfocar diferentes aspectos, remetendo-nos assim a diferentes generalizações explicativas. Pela mesma razão, não há explicação que seja, propriamente falando, *completa*. Mas, em todo caso, a explicação científica é *sistemática*: não se limita a vincular a existência de um acontecimento com leis, senão que, mediante estas últimas, insere a descrição do fato numa *teoria*. É este respaldo teórico que responde, em última instância, pela explicação científica *stricto sensu*. A fundamentação teórica faz com que a explicação científica não seja uma *mera* inclusão de um enunciado singular em enunciados gerais (em cujo caso ficaria sem esclarecer *por que* estes últimos são assim e não de outro modo).

Naturalmente, perceber a importância das teorias, e não só das leis, na explicação científica destaca a diferença, para esta operação, entre dispor de teorias apenas “da caixa preta” e contar com teorias “representacionais”. Estas últimas, por se referirem ao *modus operandi* dos sistemas, oferecem explicações mais profundas (“interpretativas”). Bunge dá como exemplo:

²⁴ Do modelo dedutivo de explicação, distingue-se, seguindo sempre a Hempel, o modelo probabilístico, vale dizer aquele que apela para premissas que enunciam generalizações apenas prováveis.

²⁵ Como quando, para explicar uma ação, invocamos normas de conduta socialmente vigentes e adotadas pelo agente (1969: 563).

A desaceleração de um corpo sólido que se move num líquido pode explicar-se com base na viscosidade do líquido (ou, o que é o mesmo, com base num coeficiente de resistência ao movimento), ou por transferência do momento das moléculas do líquido para as do sólido. Ambas as explicações são corretas, porém não são equivalentes: a última, que é interpretativa, é mais profunda porque alcança um *nível mais profundo* da realidade. A explicação com base num coeficiente de resistência é pouco mais do que uma descrição exata, ao passo que a explicação molecular fornece o *modus operandi*: além do mais, e em princípio ao menos, o coeficiente de resistência pode ser deduzido da teoria molecular (1969: 586, grifados de B.).

Por isso, uma definição mais adequada da explicação científica é a seguinte:

Uma explicação científica de uma fórmula q é uma resposta a um problema científico bem formulado da forma *por-que*, e consiste numa argumentação que mostra que q se segue logicamente de uma teoria científica (ou um fragmento de teoria científica, ou um conjunto de fragmentos de teorias científicas), hipóteses científicas auxiliares e dados científicos, nenhum dos quais contém q (1969: 576).

Assim entendida, a explicação científica implica a construção de um *modelo* dos acontecimentos explicados (dando satisfação do “mecanismo”, em sentido amplo, da sua produção) e, à diferença da explicação vulgar e de certas pseudo-explicações,²⁶ é *universal*, no sentido de que vale, não só para o caso em questão, mas para um número ilimitado de casos análogos.

Por último, vale a pena retornarmos ao aspecto psicológico da explicação, para o qual Bunge reserva a palavra “compreensão”. “Compreendemos” na medida em que alcançamos ou recebemos uma explicação relativa a determinado evento ou problema. Note-se que a ciência, esclarece Bunge, *não se propõe a oferecer compreensão*. “Compreender” é um conceito psicológico e como tal, “essencialmente relativo ao sujeito”. Cada pessoa “compreende” as coisas segundo seu próprio esquema de pensamento, constituído, na imensa maioria dos casos, por crenças tradicionais acriticamente mantidas. A ciência pode circunstancialmente acomodar as suas explicações ao saber vulgar (por exemplo, utilizando desenhos ou comparações), porém não tem como objetivo chegar a explicações que sejam necessariamente compatíveis com aquele saber. As explicações científicas não são reduções do novo ao familiar; geralmente ocorre o contrário: a ciência mostra que o familiar é a rigor muito mais estranho do que se pensava. Por conseguinte, a “compreensão” vinculada à ciência é aquela que se obtém quando se entende uma explicação científica *nos seus próprios termos*.

Em resumo: a intelecção científica não garante a compreensão no sentido ordinário desta palavra. Tão somente o especialista familiarizado com as idéias técnicas supostas na explicação científica, somente o especialista que as “interiorizou”, pode pretender que conseguiu uma compreensão intuitiva de alguns (nem todos) fatos e idéias [científicos](1969: 589-590).

A epistemologia e o ensino de ciências

Não parece desnecessário insistir sobre a fecundidade que uma discussão epistemológica pode aportar para o ensino em geral e o das ciências naturais em particular.

²⁶ As pseudo-explicações incluem para B. desde as “nomações” (vale dizer, as tentativas de explicação que se reduzem a mencionar, com outras palavras, o “explicandum” (“Por que são diferentes os seres vivos dos corpos inertes? Porque possuem uma força vital!”), até as explicações que invocam teorias que não têm caráter científico.

Sendo o ensino um processo de apropriação de determinados conhecimentos (já sejam eles teóricos ou práticos) torna-se necessário, conhecer as condições sob as quais tais conhecimentos foram produzidos. Isto por que o conhecimento ensinado na sala de aula, ou mesmo aquele apresentado nos livros didáticos, não se identifica com aquele presente no contexto da ciência como prática profissional. Existe sempre a necessidade de uma intervenção didática na produção do conhecimento escolar, que implica numa mudança de estatuto epistemológico. Em geral, o conhecimento passa por um processo de *transposição didática* que implica numa desestruturação, onde ele é despersonalizado, desincretizado, desproblematizado, para em seguida ser reestruturado na forma de um novo conhecimento (Alves-Filho et al, 2001). Ao introduzir necessidades e características do universo escolar, o educador se vê obrigado a tomar decisões que irão modificar de maneira importante o conhecimento científico que ele pretende transmitir. Mas longe de vê-lo como uma deturpação, deve-se entender este processo como inevitável e procurar trilhar os caminhos da transposição didática da melhor forma possível.

Quando nos detemos na análise de alguns livros didáticos, é fácil perceber o quanto este caminho pode ser difícil. Muitos deles transmitem concepções errôneas sobre a ciência, seus produtos e métodos. O mito do observador neutro, do experimento crucial, da verdade absoluta das teorias, da descrição exata da realidade, etc. são legados de uma transposição didática permeada por uma concepção superficial da ciência experimental que acaba por reforçar o senso comum sobre o que seja o seu conhecimento. Mas o que poderia ser neste contexto, o melhor caminho a ser trilhado na transposição didática? Seria, por um lado, evitar que o conhecimento científico escolar reflita uma imagem estereotipa e distorcida da ciência. Só parece capaz de realizar esta tarefa, o educador que puder aliar bons conhecimentos sobre o conteúdo que ele pretende ensinar com sólidas formações nos domínios didático-pedagógico e epistemológico. Desta forma, se torna necessário entender os processos de produção da ciência, assim como as características e estatuto do conhecimento por ela produzido.

A epistemologia freqüente as discussões de ensino de ciências há algum tempo. As idéias de Kuhn, Lakatos, Bachelard, entre outros, já serviram de base para reflexões de natureza educacional, como atestam diversos trabalhos na área²⁷. A contribuição de Bunge destaca-se por sua defesa incondicional da racionalidade e do realismo científico (nos seus vários aspectos, como mencionadas nas primeiras páginas deste trabalho). Poder-se-ia erroneamente entender a sua contribuição como um retrocesso em termos de análise epistemológica, visto que foi justamente a crítica do racionalismo absoluto e do realismo uma das contribuições mais importantes dos primeiros autores, em particular aquelas de Thomas Kuhn. Mas o que encontramos em Bunge está longe de se constituir um retorno às teses do Empirismo Lógico, que aliás ele também combate. Sem cair nas soluções simples de uma racionalidade absoluta ou de um realismo imediato, nosso autor opta por versões críticas de ambas, mostrando como a ciência pode ser ao mesmo tempo criativa e racional, realista sem espelhar o mundo. Neste sentido, sua concepção de ciência integra boa parte daquilo que hoje consideramos como avanços na forma de conceber o processo de ensino-aprendizagem, como o papel ativo do sujeito, a negação de uma objetividade *a priori*, a

²⁷ Ver as revistas *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, em particular o volume 13, número 3 e *Science and Education*.

negação do imperialismo factual da observação, etc. Pois sua concepção de ciência racional e realista se integra numa perspectiva crítica e não dogmática.

Para poder entender seu sistema epistemológico e como a racionalidade e o realismo nele se manifestam, é preciso acompanhar a apresentação detalhada que ele faz de procedimentos cruciais da ciência. A exposição feita inicialmente deste trabalho teve como principal objetivo apresentar as suas idéias de maneira contextualizada na prática da ciência, em particular lançando mão de dois pólos fundamentais: (i) o estatuto das leis científicas e sua vinculação como as hipóteses e com a dimensão empírica do mundo; (ii) a forma como as leis e os demais objetos conceituais se integram em estruturas teóricas que representam o mundo. Esta forma de abordar a ciência é particularmente importante no contexto do seu ensino, pois boa parte das atividades realizadas em sala de aula se vinculam à apresentação das teorias e suas implicações. O que são teorias, qual seu papel na ciência e como se relacionam com o mundo? Questões deste tipo deveriam ocupar parte importante das reflexões daqueles que se propõem a ensinar ciências. A ausência de tais reflexões tem sido parcialmente responsável pelas imagens estereotipadas da ciência transmitidas nos cursos, como mencionamos anteriormente.

Sobre o ensino das leis científicas

Na concepção bungeana, a ciência pressupõe que a realidade é ordenada e que os acontecimentos obedecem a padrões que o homem busca desvendar. As hipóteses formuladas neste sentido e verificadas tornam-se leis. Mas não devemos entender que a premissa da existência de padrões nos leve a considerar de imediato as leis como a expressão dos mesmos. Pois o que o homem pode fazer é lançar hipóteses e buscar verificá-las através de um complicado processo de experimentação (ver página 8, em especial nota 19). Neste sentido, as leis da ciência são menos descrições que enunciados verificados. E isto é importante de ser sublinhado quando apresentamos as leis aos iniciantes. Pois por força da nossa tradição ocidental e cristã, a idéia primeira de lei nos remete à autoridade e ao dogma. E em se tratando de leis naturais, pode parecer que elas se relacionam *diretamente* a objetos presentes no mundo. O ensino das ciências parece assumir isto de forma tácita, pois invariavelmente acaba por associar as leis ensinadas às estruturas presentes no mundo. Isto acaba se traduzindo por um ensino que visa a pura descrição de tais estruturas reais, sem levar em consideração todo o contexto teórico e os critérios de constrastabilidade a ela associados. Os livros de Física, por exemplo, apresentam, em geral, a lei de Coulomb como a descrição das propriedades elétricas da matéria. As diversas experiências possíveis de verificar partes deste enunciado são apresentadas como provas da existência de tais propriedades, em particular da própria força elétrica e das cargas elétricas. Estes mesmos livros costumam em seguida apresentar o campo elétrico como outro objeto desta realidade, sem no entanto perceber que existe uma contradição entre este e a proposição original da lei de Coulomb.²⁸ Um dos problemas nesta forma de conceber a idéia de lei é que sobra pouca margem para se entender como o conhecimento é proposto e evolui. Ou seja, se por algum motivo, a lei de Coulomb deixa de ser verdadeira (como de

²⁸ Vale observar que esta contradição pode ser resolvida a partir de algumas considerações complementares, como na separação entre a eletrostática o eletromagnetismo, ou com a proposição da formulação da força eletromagnética de Lorentz.

fato acontece em situações não eletrostáticas), isto implicará que o padrão que ela supostamente evidenciava no mundo não existe e portanto deveremos abandoná-la definitivamente. A lei entendida como descrição obtém sua legitimidade da existência ou não daquilo que ela descreve.

Uma ciência vista desta forma, evolui por reformulações radicais, que destroem por completo as leis anteriores. Neste sentido, não haveria interesse em ensinar, nem em aprender, as leis fundamentais da dinâmica newtoniana, pois elas foram invalidadas por Einstein no início do século XX. Mas isto não é verdade, pois ainda hoje boa parte da dinâmica e estática de corpos sólidos se baseia nestas leis, assim como a mecânica de projéteis e satélites terrestres. É neste sentido que Bunge afirma que uma lei é um enunciado, obtido a partir de uma hipótese que apenas se aproxima da “lei objetiva” (ver pagina 5). Aceitar a legalidade do universo permite-nos entender que as explicações são sempre possíveis em termos de enunciados. A lei é preservada enquanto meta (“lei objetiva”) que serve de guia para a busca de padrões que a ciência pretende alcançar, mas sendo possível apenas a formulação de enunciados que são representações aproximadas cada vez melhores. As várias formulações de leis ao longo da história da ciência acabam por nos aproximar cada vez mais desta lei objetiva, sem contudo a ela se identificar. Assim, leis formuladas em tempos passados, como é o caso das leis de Newton, preservam seu interesse se puderem ser entendidas como hipóteses que se tornaram leis com determinado conteúdo de verdade, mas que no entanto foram superadas por outras melhores.

É importante que no ensino de ciências as leis sejam apresentadas desta forma, como hipóteses produzidas e validadas na busca dos padrões do mundo. Desta maneira, as leis seriam a expressão da nossa capacidade de captar uma relação constante e objetiva na natureza. Ao considerar a origem hipotética das leis há o compromisso com a provisoriade daquilo que ela pretende fazer conhecer. Ela trás consigo o contexto metafísico de sua proposição, os critérios que permitiram torná-la objetiva e verdadeira e seu limite de validade. Além de saber operacionalizar uma lei na resolução de problemas, um estudante deveria ser capaz de identificar este contexto de proposição e validação das leis da ciência. Nesta concepção, é totalmente pertinente o estudo de leis ultrapassadas como as da Física Clássica ou da Biologia pré-darwiniana. Valeria a pena procurar entender dentro de que circunstâncias se deu a proposição de tais leis, que tipo de compromissos epistemológicos sua adoção acarreta e qual representação do mundo assumimos ao utilizá-la. Ao mesmo tempo, na perspectiva de sua superação moderna, valeria a pena também procurar entender de onde ela provém, em que tipos de situações sua introdução se faz necessária, permitindo determinar os limites de validade e os novos compromissos epistemológicos e ontológicos que ela engendra. Pois como afirma Bunge, os enunciados da ciência são de natureza sistemática, sendo sempre inter-vinculados. Em geral, uma lei não pode ser entendida em si mesma, sendo sempre necessário se buscar as relações que ela estabelece com outros conhecimentos. Neste sentido, nenhuma lei pode sozinha fornecer entendimento sobre o mundo. Ela só faz sentido quando entendida dentro do contexto teórico que a válida e que é por ela é validado.

Modelos e explicações

Outro aspecto que merece destaque na obra de Bunge refere-se à sua proposição de que o principal objetivo da ciência é produzir explicações para os fatos reais. Ao procurar

lançar hipóteses, validadas experimentalmente, comparar e articular estas com outras hipóteses, ou seja, ao produzir teorias, a ciência se propõe a organizar explicações cada vez mais sofisticadas do mundo. A busca dos *porquês* do mundo parece ter sido o grande projeto da espécie humana, resultando em boa parte do conhecimento disponível. A ciência pode ser vista como um sub-projeto racional dentro deste grande projeto. A incorporação da explicação dentro de seu quadro epistemológico (similarmente a Meyerson, 1921, entre outros) permite ampliar os objetivos da ciência para muito além da descrição do mundo. Pois uma explicação se configura como a busca daquilo se percebe (direta ou indiretamente) naquilo que se supõe existir. Esta forma de colocar a grande meta da ciência permite uma aproximação muito grande com os interesses dos indivíduos em geral. Com efeito, é uma de nossas teses educacionais, que o mundo se configura como uma imensa fonte de questionamentos para os seres humanos. Nossas vidas transcorrem entre inúmeros questionamentos sobre a razão das coisas. A educação científica deve ter como função enriquecer nossa bagagem de conhecimento e técnicas para a formulação de respostas a esses questionamentos. O ensino de ciências assumiria assim o papel de permitir que muitas das respostas produzidas pela ciência pudessem ser apreendidas e utilizadas pelas pessoas em geral.

Mas para bem ensinar (e aprender) as explicações científicas é preciso conhecer de que forma a ciência pode explicar. Como vimos, via de regra uma explicação se constitui ao recorrermos, para um dado *explicandum*, a suposições e hipóteses não presentes nele próprio e das quais pode ser derivado (ver página,10). Na ciência, em particular, as explicações são possíveis quando o evento ou fato a ser explicado pode ser incorporado numa teoria. Ao proceder desta forma, estamos produzindo o que Bunge define como **objeto-modelo**. Nesta tarefa já se tem um primeiro nível de teorização, pois para poder ser incorporado por uma teoria um fato deve ser modificado, em particular pela atribuição de propriedades e características que não existem originalmente no mesmo ou que lhe são ampliadas de forma a produzir representações ideais. Assim, ao procurarmos entender a corrente elétrica lançamos a idéia da existência de partículas livres carregadas eletricamente no interior de determinadas porções da matéria (os condutores). Ao proceder desta maneira, estamos transpondo os limites do empírico (daquilo que pode ser observado e medido) para um estado de objetos teóricos capazes de interagir com campos eletromagnéticos. Explicar este fato (a corrente elétrica) passa a ser entender efeitos ligados à corrente elétrica (como o deslocamento dos ponteiros de um amperímetro, o aquecimento de um fio, ou o tremor sentido durante um choque) através do comportamento deste objeto-modelo. Num circuito, a pilha é responsável pela produção de campos eletromagnéticos ao longo do interior do fio. Como a corrente elétrica foi definida como uma coleção de cargas elétricas, a sua interação com os campos produzidos pela pilha é capaz de conferir um movimento ordenado a estas cargas e gerar os efeitos associados às correntes elétricas. Temos, pois, uma explicação eletromagnética da corrente elétrica. A representação da situação enfocada (a corrente elétrica, o circuito, as cargas, os campos, o efeito Joule responsável pelo aquecimento do fio etc.) constituem o que Bunge chama de **modelo-téorico**.²⁹ Como mencionamos anteriormente, a teoria é capaz de fornecer a explicação de um objeto-modelo produzindo um modelo teórico da situação enfocada.

²⁹ Para uma exploração mais detalhada da forma como objeto-modelo, modelo teórico e teoria se relacionam, ver Pietrocola, 1999.

A possibilidade de explicar através dos modelos teóricos abre um campo de possibilidades pedagógicas de grande fecundidade para o ensino de ciências. Boa parte das críticas lançadas ao longo de décadas pelos estudantes aos seus professores consiste em que eles não vêem utilidade naquilo que lhes é ensinado. Em se apresentando os conteúdos da ciência como forma de produzir e validar modelos para explicar porções do mundo, parte destas críticas pode ser minimizada. As teorias vistas com esta possibilidade modelizadora permitem apontar caminhos para a construção de representações não arbitrárias do mundo, de onde explicações podem ser produzidas. O foco das atividades do ensino das ciências se desviaria assim do mero aprendizado dos seus conteúdos (conceitos, leis, princípios, etc.) para a produção de explicações teoricamente contextualizadas do mundo.

A idéia de modelos como explicações do mundo permite melhor entender o realismo científico de Bunge. As representações científicas do mundo real se produzem através dos modelos teóricos. Tais modelos enfocam apenas alguns aspectos da realidade, consideram apenas algumas variáveis e introduzem apenas algumas relações entre elas. O realismo da ciência visto desta forma se contrapõe ao realismo ingênuo que afeta o ensino, sem no entanto ceder às sedutoras teses do construtivismo radical, para o qual nada existe fora do sujeito. Desta forma, é possível pensar a ciência como um meio de produzir boas representações da realidade, mas com domínio de validade limitada. Neste sentido, os modelos teóricos são representações hipotéticas e aproximadas da realidade, embora racionais e não arbitrárias.

Bunge deixa claro que nem toda teoria explica do mesmo jeito. No exemplo sobre a desaceleração de um objeto na água (página 11), ele apresenta duas maneiras de se representar eventos teoricamente. Enquanto as teorias (modelos) do tipo caixa preta apenas sistematizam dados, as teorias representacionais permitem explicar os eventos através da suposição de “mecanismos” internos. O ensino deveria se ocupar da apresentação destes dois tipos de modelos, discutindo seus limites e procurando evidenciar como a ciência funciona na busca de explicações cada vez mais sofisticadas, seja na direção dos constituintes primordiais da matéria (quarks) ou na proposição de modelos abrangentes para se conceber o cosmos (Teoria do Big Bang, modelo inflacionário do Universo).

A discussão proposta sobre modelos é tanto mais relevante para o ensino quando entendemos que os indivíduos em geral também produzem modelos para representar a realidade. Para satisfazer nossa necessidade de explicação, construímos representações sobre o mundo que desempenham função semelhante àquela dos modelos na ciência. Claramente, tais “modelos alternativos” (ou vulgares segundo Bunge) não têm o mesmo estatuto epistemológico daqueles científicos, mas se constituem em formas de apreensão da realidade, explicando aquilo que percebemos do mundo através de suposições criativas.³⁰ Um dos desafios do ensino seria conseguir que as explicações da ciência, isto é os modelos teóricos por ela produzidos pudessem ser incorporados pelos indivíduos ao seu patrimônio de conhecimento e pudessem, em determinadas condições, ser preferidas como representações da realidade.

Muitas abordagens sobre a forma como as explicações são produzidas acabam por enfatizar aspectos meramente lógicos, como afirma Bunge. Assim, a introdução dos

³⁰ Na concepção de Bunge a diferença residiria principalmente na falta de universalidade das explicações vulgares. No nosso entender, dever-se-ia mencionar também a ocasionalidade que as explicações alternativas (vulgares) possuem, de onde a falta de compromisso de coerência entre explicações produzidas sobre situações similares.

aspectos epistemológico, ontológico, pragmático, semântico e psicológico amplia a discussão sobre a forma como modelos teóricos podem explicar. Para o ensino esta ampliação de aspectos é tanto mais importante, quando se tem em mente que, em particular, o aspecto psicológico das explicações é fundamental para os indivíduos em geral. Pois parece que ao produzirem modelos explicativos, os indivíduos buscam compreensão daquilo que os cerca. Mesmo se para Bunge, a ciência, enquanto atividade profissional, não se propõe a oferecer compreensão (vulgar) das coisas, é inegável que os conhecimentos por ela produzidos podem, e a nosso ver devem, oferecer tal possibilidade. Ou seja, seria um dos objetivos da educação científica permitir leituras científicas do mundo através dos modelos passíveis de serem por ela produzidos. Neste sentido, as representações teóricas do mundo seriam explicações capazes de gerar compreensão do mesmo gênero que outros tipos de conhecimento como o religioso, místico, literário, etc.³¹

Cumprir notar que alguns modelos seriam mais facilmente transpostos para o contexto do ensino do que outros, em função da sua natureza. Os modelos ditos figurativos, isto é que de alguma forma se reduzem aos objetos familiares ou deles se aproximam (como as imagens de corpúsculos em movimento, por exemplo), acabam por se constituir em versões mais fáceis de serem pensadas pelos não-iniciados. Para a ciência, tal característica se constitui num luxo que não deve ser perseguido. Mas em se tratando do contexto educacional, tais modelos parecem mais facilmente ensináveis (e supostamente aprendíveis). É verdade que, ainda hoje temos muita dificuldade em produzir modelos pedagógicos³² para determinadas áreas da Física Moderna (do início do século XX) como a mecânica das altas velocidades e do mundo sub-atômico. Parte da dificuldade advém da inexistência de modelos figurativos³³ no campo própria das ciências. Por exemplo, como construir um modelo figurativo de barras que se contraem em velocidades próximas da luz, ou sobre a localização de um elétron. O que a ciência moderna e contemporânea tem nos mostrado é que as explicações dos níveis mais fundamentais do nosso mundo (sejam eles o do muito pequeno, o do muito grande, o do muito rápido ou o do muito antigo) acabam necessitando de representações muito distantes dos objetos que povoam nosso cotidiano. Nossa mente pode muito pouco ao tentar compreender os primórdios do Universo utilizando-se das representações vulgares (e mesmo clássicas) de espaço e tempo. Isto, porque, segundo Bunge, a compreensão vinculada à ciência se obtém quando se entende uma explicação científica *nos seus próprios termos*. Caberia então ao ensino dos mais modernos modelos da ciência um duplo esforço, a saber (i) a construção de modelos pedagógicos adaptados aos interesses e necessidades do contexto didático-pedagógico e ao mesmo tempo (ii) *um investimento educacional no sentido de se ampliar os referentes utilizados pelos indivíduos para representar o mundo com objetos científicos*. Desta maneira, estaríamos incrementando as possibilidades de se obter compreensão por meio de explicações apoiadas nos produtos da ciência, e o não-figurativo de hoje poderia (e deveria) se constituir no familiar de amanhã.

³¹ Referimo-nos ao fato de que, para quem acredita nelas, as doutrinas religiosas e as experiências místicas permitem compreender o mundo, e as obras literárias amiúde ensinam a “ver” melhor a vida humana.

³² Modelos pedagógicos indicam a produção de versões de modelos científicos especialmente destinados aos níveis básicos da educação. Ver a definição em [Conlivaux, 98](#).

³³ Sobre modelos figurativos, veja página 7 deste trabalho.

Considerações finais

Assim, a defesa feita por Bunge de um realismo crítico implica a necessidade de se adquirir conhecimento teórico para podermos enriquecer nossa apreensão do mundo. O ensino de ciências teria como papel fornecer os conhecimentos teóricos necessários e mostrar como explicações sobre o mundo podem ser produzidas a partir deles. Neste sentido, a ciência implica um realismo não ingênuo, segundo o qual a realidade não é sempre, nem simplesmente, tal como parece aos nossos sentidos, pois a percepção e o conhecimento produzido exclusivamente a partir dela é deficiente e deve ser enriquecido pelo conhecimento teórico. Por sua vez, a explicação científica não constitui uma cópia da realidade, mas uma representação simbólica sempre imperfeita, porém aperfeiçoável, da mesma. Isto equivale a dizer que a realidade científica inclui elementos que podem estar além da percepção, devendo pois ser hipoteticamente supostos e em seguida objetivados em objetos de conhecimento.

Nesta perspectiva, a tarefa do ensino das ciências assume grandes desafios, pois trata-se de produzir estratégias de natureza didático-pedagógica capazes de permitir o acesso do indivíduos leigos aos processos e produtos da atividade representativa da ciência. Ser capaz de produzir leituras científicas do mundo é hoje, mais que uma possibilidade, uma necessidade de ordem social.³⁴ Além disto, há que se lembrar que a compreensão do mundo através de explicações, sejam elas de que natureza forem, é um prazer que tem mantido acessa a chama do conhecimento através dos tempos. Não deveria ser o conhecimento da ciência aquele a privar os indivíduos deste prazer.

REFERÊNCIAS:

- Alves-Filho, J., Pinheiro, T. e Pietrocola, M. (2001) “Eletrostática como exemplo de transposição didática” in Pietrocola, M. (organizador) *Ensino de Física: conteúdo, metodologia e epistemologia numa concepção integradora*, editora da UFSC, no prelo.
- Bunge, M. (1969) *La Investigación Científica*. Barcelona: Ariel
- Bunge, M. (1972) *La ciencia: su método y su filosofía*. Buenos Aires: Siglo Veinte.
- Bunge, M. (1973) *Philosophy of Physics*. Dordrecht: D. Reidel (existe ed. em português).
- Bunge, M. (1974) *Teoria e Realidade*. São Paulo: Perspectiva
- Bunge, M. (1983) *Exploring the World. (Treatise on Basic Philosophy, v. 5)*. Dordrecht: D. Reidel
- Bunge, M. (1985) *Seudociência e Ideología*. Madrid: Alianza
- Bunge, M. (1993) *Sociología de la Ciencia*. Buenos Aires: Siglo Veinte
- Colinvaux, D. (1998) *Modelos e Educação em Ciências*, Ravil editora
- Hempel, C. (1979) *La explicación Científica (Aspects of Scientific Explanation, 1965)*. Buenos Aires: Paidós
- Latour, B. & Woolgar, S. (1986/1979) *Laboratory Life. The Construction of Scientific Facts*. Chicago: The University of Chicago Press. (Existe ed. em português)

³⁴ Na perspectiva de uma Alfabetização Científica. Ver Pietrocola et alii, 2000.

- Meyerson, E. (1921) *De l'explication dans les sciences*, 2 vol., Paris, Payot.
- Pietrocola, M. (1999) "Construção e Realidade: o realismo científico de Mário Bunge e o ensino de ciências através de modelos", *Investigações em Ensino de ciências* (Investigaciones en Enseñanza de las Ciencias; Investigations in Science Education) Vol. 4, N. 3, dezembro de 1999.
- Pietrocola, M., Nehring, C., Silva, C., Trindade, J., Leite, R. Pinheiro, T., (2000), "As ilhas de racionalidade e o saber significativo: o ensino de ciências através de projetos", *Ensaio*, UFMG, Belo Horizonte, ????
- Popper, K. (1968/1959) *The Logic of Scientific Inquiry*. New York: Harper & Row (existe ed. em português).
- Popper, K. (1975) *Conhecimento Objetivo (Objective Knowledge, 1972)*. Belo Horizonte: Itatiaia