

5

DO CONHECIMENTO COTIDIANO AO CONHECIMENTO CIENTÍFICO

Para além da mudança conceitual

“Pois Newton poderá dizer o que quiser, mas eu vejo que, se quero que o corpo suba com velocidade constante, tenho que fazer mais força do que se quero que ele fique quieto”

Aluno do ensino médio
(16 anos)

E apesar de serem muito hábeis quando postos a manejar régua, lápis e compasso de divisão sobre um papel, nos atos comuns e no modo de conduzir a vida não vi povo mais tosco, pouco hábil e desajeitado, nem tão lerdo e indeciso em suas concepções sobre qualquer outro assunto que não sejam as matemáticas e a música. São péssimos ao raciocinar, dados, com grande veemência, à contradição, menos quando ocorre de estarem com a razão, coisa que, por outro lado, é raro acontecer. A imaginação, a fantasia e a inventiva são completamente estranhas entre eles, e sequer possuem em seu idioma palavras com as quais expressar tais ideias. Todo o círculo de seus pensamentos e inteligência está encerrado nas duas ciências antes mencionadas.

Jonathan Swift,
As viagens de Guliver

Como acabamos de ver, entre o conhecimento intuitivo ou cotidiano dos alunos e o conhecimento científico, tal como lhes é ensinado nas salas de aula, existem importantes diferenças que afetam não apenas seu conteúdo factual – nem sempre se referem ou preveem os mesmos fatos – e seu significado – que eles interpretam de maneira diferente, utilizando conceitos diferentes –, mas também os princípios epistemológicos, ontológicos e conceituais sobre os quais se sustentam. Ao mesmo tempo, em capítulos anteriores vimos, também, que utilizar ou pôr em marcha algum tipo de conhecimento científico requer dos alunos que adotem atitudes diferentes com respeito ao aprendizado e à ciência e que adquiriram certos procedimentos efetivos para adotar essas atitudes e usar os conhecimentos conceituais adquiridos.

Em suma, se o aprendizado da ciência, e junto o ensino dela, tem como meta, de acordo com o que foi exposto no Capítulo 1, dar sentido ao mundo que nos rodeia e entender o sentido do conhecimento científico e sua evolução do conhecimento cotidiano para o conhecimento científico, e não apenas conseguir que seja repetido como um *mantra* redentor da reprovação, é uma tarefa extremamente complexa e

laboriosa. A crise da educação científica, que também descrevamos no Capítulo 1, é *consequência* da dificuldade dos alunos para encontrar esse sentido, uma vez que o ensino da ciência geralmente é ineficaz para conseguir as profundas mudanças não apenas conceituais, mas também de atitudes e procedimentos que a transição do conhecimento cotidiano para o científico requer. De fato pode-se dizer que o *ensino tradicional* da ciência não consegue promover essas mudanças nos alunos, entre outras coisas, porque não se propõe isso. Contudo, também é duvidoso que as novas estratégias didáticas surgidas sob o impulso do chamado enfoque construtivista – baseadas no trabalho com as ideias prévias dos alunos, que devem ser ativadas e submetidas a conflito para serem mudadas – consigam essas mudanças, ainda que, sem dúvida, tiveram efeitos muito positivos na renovação da educação científica. No Capítulo 8, vamos retomar as diversas posturas ou enfoques didáticos e as consequências que, na nossa opinião, eles têm para a aprendizagem e o ensino da ciência. Neste capítulo, nosso interesse é analisar como as diferentes formas de entender as relações entre o conhecimento cotidiano dos alunos e o conhecimento científico que lhes é ensinado derivam em diversas propostas curriculares, que concedem um papel diferente ao trabalho com esses conhecimentos prévios, não na metodologia didática, mas no que, em nossa opinião, é ainda mais importante, ou seja, nas próprias metas da educação científica.

Ao analisarmos essas relações a partir do ponto de vista da psicologia cognitiva da aprendizagem e da própria tradição em didática das ciências, podemos diferenciar claramente pelo menos três concepções (Pozo, 1994): a compatibilidade, a incompatibilidade e a independência entre ambas as formas de conhecimento. Essas

concepções correspondem a três formas diferentes de entender as metas do currículo de ciências nos ensinos fundamental e médio e respondem a outras tantas tradições educacionais, portanto, aparecerão com frequência de maneira implícita, mais do que explícita, nas diferentes propostas para a educação científica. Não obstante, aqui vamos tratá-las como hipóteses ou supostos independentes, diferentes modos de entender o currículo de ciências, que tentaremos reconciliar em uma nova postura, avançando uma quarta hipótese, a integração hierárquica entre vários tipos de conhecimento como meta da educação científica, que vai nos servir como eixo expositivo da proposta desenvolvida nas Partes II e III deste livro.

As primeiras análises do pensamento científico a partir da psicologia cognitiva eram baseadas no suposto da *compatibilidade* entre as formas de pensamento próprias da ciência e do conhecimento cotidiano, ou seja, assumiam que o chamado racionalismo científico não é senão uma prolongação da própria racionalidade humana. Contudo, numerosos estudos foram mostrando que o conhecimento cotidiano é baseado em formas de pensamento e aprendizagem que se afastam bastante dessa racionalidade, de onde surge a hipótese da *incompatibilidade* entre ambas as formas de pensamento. Foi comprovado que o conhecimento cotidiano sobre os fenômenos científicos é aprendido mediante processos implícitos, mais do que por um raciocínio explícito, de modo que as “teorias implícitas” próprias do conhecimento cotidiano seriam diferentes das científicas não só em seu conteúdo, mas sobretudo, tal como vimos no capítulo anterior, nos princípios e nas estruturas conceituais a partir das quais esses conhecimentos se organizam.

Assim, a aprendizagem da ciência exigiria uma profunda mudança concei-

tual dessas teorias implícitas para formas de conhecimento científico. Contudo, essa mudança conceitual não apenas se mostrou muito difícil de alcançar, senão que, segundo alguns desenvolvimentos recentes, talvez seja desnecessária. Alguns autores assumem a *independência* entre ambas as formas de conhecimento, que serviriam para contextos e metas diferentes, de modo que não seria questão de substituir uma pela outra, mas de fazer com que coexistam e aprender a ativá-las *no momento certo*, em função do contexto (Caravita e Hallden, 1994). Aprender ciência seria adquirir corpos de conhecimento e formas de raciocínio úteis somente para esse âmbito do saber, que não seriam nem melhores, nem piores do que as formas de conhecimento cotidiano. Uma última versão dessas relações entre conhecimento cotidiano e científico, que será a que defenderemos nesta exposição, a partir da análise das anteriores, seria a *integração hierárquica* entre elas, que poderiam ser relativamente independentes em seu uso contextual, mas deveriam integrar-se conceitualmente, de modo que os alunos compreendam a relação genética que existe entre elas. Com isso, além de diferenciar suas próprias teorias implícitas do conhecimento científico que lhes é ensinado, deveriam ser capazes de integrar as formas mais simples e intuitivas do saber nos modelos mais complexos, elaborados e explícitos – mas nem por isso sempre mais úteis ou relevantes – proporcionados pela ciência.

Neste capítulo tentaremos descrever com algum detalhe cada uma destas interpretações, assim como destacar suas consequências para o currículo de ciências. Independentemente desse aparente comum acordo sobre a necessidade da mudança conceitual, entendida como passagem do conhecimento cotidiano para o científico, precisamos nos situar com respeito a cada uma dessas hipóteses sobre as relações

entre o conhecimento cotidiano e o científico, uma vez que desse posicionamento, frequentemente implícito no trabalho na sala de aula, ou mesmo na pesquisa, deriva-se, também, uma concepção diferente não apenas da mudança conceitual, mas das próprias metas da educação científica. Ou, dito de outro modo, existiriam diferentes respostas para a pergunta básica que precisamos formular: o que fazer com as concepções alternativas dos alunos uma vez que tenham sido identificadas? Ignorá-las e continuar ensinando os mesmos conteúdos de sempre? Respeitá-las como se fossem uma espécie em risco de extinção? Ou diretamente aniquilá-las, extingui-las, substituindo-as por conhecimentos científicos? Cada uma dessas hipóteses traz implícita uma forma de abordagem diferente e também uma concepção diferente da educação científica.

A HIPÓTESE DA COMPATIBILIDADE OU DA ACUMULAÇÃO DE SABERES

Uma primeira interpretação é que os processos e produtos do conhecimento cotidiano e científico compartilham, basicamente, a mesma natureza; que as pessoas comuns e os cientistas pensam essencialmente igual quando enfrentam um problema. Dizendo isso mais graficamente, agora que as tecnologias da informação são, inevitavelmente, a metáfora do nosso modo de conhecer e aprender (Pozo, 1996a), a mente do cientista e a da pessoa comum (incluídos os alunos) estariam *formatadas* da mesma maneira, ou seja, os programas que rodam em uma e na outra seriam compatíveis.

E qual seria a razão, então, dessas diferenças tão óbvias entre os produtos do conhecimento cotidiano (as chamadas concepções alternativas, caracterizadas no capítulo anterior) e os do conhecimento científico (as teorias e os modelos que

são objeto de ensino)? Essas diferenças não teriam tanto uma origem intelectual ou cognitiva, mas social e cultural. A ciência é uma tarefa cumulativa, que ocorre em determinados contextos sociais e culturais, de modo que o aluno careceria dos saberes e das atitudes necessárias para se incorporar a essa tarefa cultural. Assim, visto por essa perspectiva, a mudança conceitual não seria necessária, uma vez que aprender ciência seria sobretudo um processo de acumulação de saberes e experiências, e não um processo de reorganizar, ou reformatar, a mente dos alunos mediante processos de mudança conceitual.

A julgar pelos critérios exclusivamente disciplinares sobre os quais estão organizados boa parte dos currículos de ciências vigentes, é válido pensar que eles se baseiam, mesmo que seja de modo implícito, nessa hipótese de que os alunos estão cognitivamente preparados para assumir as categorias e as estratégias do pensamento científico e que precisam apenas preencher essas categorias, e suas mentes, com uma certa quantidade de conhecimentos específicos, normalmente cifrados em linguagens algébricas ou formais. No Capítulo 8, voltaremos aos enfoques didáticos baseados nessa concepção, que reduz o ensino da ciência à *transmissão* de conhecimentos já elaborados e restringe a avaliação a comprovar o grau em que o aluno *transfere* ou reproduz esses conhecimentos. A falta de aprendizagem pode se dever à falta de interesse, de capacidade intelectual, de atenção ou, inclusive, à escassa eficácia do processo de ensino – o sinal chega fraco ou com muito ruído –, mas não a que os alunos precisem modificar substancialmente suas mentes.

A partir dessa postura, que suspeitamos ainda continuar prevalecendo na mente de muitos professores de ciências que compartilham uma concepção do conhecimento como saber positivo e do

aprendizado como processo reprodutivo (Pozo et al., 1998), ou recorrendo às análises feitas no capítulo anterior, a partir do Quadro 4.7, que assumem uma epistemologia realista, geralmente interpretativa, as diferenças que apresentamos no capítulo anterior entre teorias implícitas e teorias científicas carecem de sentido. De fato, a essa ideia da compatibilidade não faltam antecedentes teóricos entre os psicólogos cognitivos que estudaram as categorias básicas do pensamento partindo das mais diversas posturas. Assim, essa é a posição assumida pelos autores *racionalistas*, que supõem que a mente humana, pelo fato de sê-lo, dispõe de certas formas, em sua maioria inatas e imodificáveis, de organizar perceptiva e conceitualmente o mundo – e que delas, em suma, somos escravos – e que condicionam todo nosso processamento da informação e todo nosso conhecimento. Esses moldes ou módulos cognitivos, uma transcrição das *Ideias Puras* platônicas na psicologia da aprendizagem atual (ver Pozo, 1989, 1996a), não seriam produto do aprendizado e da experiência, nem poderiam ser modificados por ela, mas apenas enriquecidos.

Assim, por exemplo, como já assinalamos, Spelke (1991; Carey e Spelke, 1994) considera que há uma plena continuidade entre os princípios de coesão, continuidade e contato que regem a física intuitiva das crianças pequenas e a dos adultos, e que esses princípios, comuns ou compatíveis, estariam na origem de certas concepções alternativas solidamente asentadas sobre o movimento e a queda dos objetos. De fato, há numerosos dados que mostram que a física intuitiva dos adultos está muito mais próxima daquela das crianças do que normalmente se pensa. Inclusive, alguns autores (por exemplo, Carey, 1985) afirmam que entre os novatos e os especialistas em um domínio não existiriam diferenças estruturais radicais, e sim mudanças menores na estrutura do

conhecimento de domínio, resultado muito mais de uma aprendizagem cumulativa, de uma diferenciação e generalização entre conceitos, que de uma reestruturação ou mudança conceitual radical.

Mas essa continuidade, ou compatibilidade, entre o conhecimento cotidiano e o científico adquire muito mais sentido educacional em posturas teóricas mais preocupadas com a aprendizagem, seja *associativa* ou *construtiva*. Ambas as posturas assumiram a metáfora do ser humano como “cientista”, ou seja, postulam que as formas básicas do nosso pensamento cotidiano são basicamente similares às utilizadas no pensamento científico (para uma análise desse suposto veja, por exemplo, Rodrigo, Rodríguez e Marrero, 1993), sejam de natureza associativa (em forma de regras inferenciais indutivas, por exemplo, em Kelley, 1972; ver também Pozo, 1987) ou de caráter construtivo (por meio de constructos pessoais ou científicos, como em Kelly, 1955).

Talvez a versão mais sofisticada dessa hipótese seja a concepção piagetiana do pensamento formal (Inhelder e Piaget, 1955), já apresentada no Capítulo 3. A epistemologia genética de Piaget tinha como objetivo mostrar como os processos psicológicos, por meio dos quais cada pessoa constrói o conhecimento científico, são similares, se não idênticos, aos processos mediante os quais esse mesmo conhecimento foi construído na História da Ciência. A imensa obra de Piaget (ver, por exemplo, Delval, 1994; Flavell, 1985) tentou mostrar como as crianças vão construindo as categorias básicas do pensamento (tempo, espaço, causalidade, número, etc.) até alcançar, no último estágio do desenvolvimento, um pensamento formal que pode ser considerado como uma descrição psicológica do pensamento científico, tal como Piaget o entendia (ver Capítulo 3).

Em momentos anteriores do desenvolvimento, a posição piagetiana defenderia uma incompatibilidade básica entre as formas do conhecimento infantil e as do conhecimento científico e reclamaria, como objetivo do ensino da ciência, o desenvolvimento das estruturas do pensamento formal ou científico (Del Carmen, 1996), mas a partir do desenvolvimento dessas estruturas operatórias do pensamento formal, os adolescentes e, sobretudo, os adultos seriam basicamente capazes de pensar como cientistas, utilizando a mesma lógica, as mesmas estratégias e os mesmos sistemas conceituais destes. Essa diferença *evolutiva* nas formas de pensar sobre a ciência corresponde, de fato, à forma como muitos professores (e até alguns pesquisadores) assumem a educação científica. As crianças não seriam capazes de pensar como cientistas, uma vez que ainda não têm suas mentes *formatadas* para isso e, portanto, até essa fase a educação científica – ou, segundo alguns autores, pré-científica – deve adotar outros formatos. De acordo com esse ponto de vista, se o currículo não pode ser formatado de acordo com os esquemas e princípios da ciência, não poderíamos falar propriamente de ensino da ciência, mas, no melhor dos casos, de pré-ciência. Contudo, a partir da adolescência, os alunos já poderiam *sintonizar* naturalmente o conhecimento científico e, assim, já estariam em condições de receber – e até de elaborar – esses conhecimentos. Portanto, a via principal para aprender ciências no ensino médio, e mesmo na universidade, seria seguir as pegadas dos cientistas, recebendo seus produtos já elaborados em forma de teorias ou, melhor ainda, seguindo a tradição piagetiana e outras concepções aparentemente distantes (Wagensberg, 1993), seguir os mesmos passos, a mesma metodologia, aplicar os procedimentos da ciência tal como os cientistas

aplicam. Os alunos aprenderiam ciência agindo como pequenos cientistas e pesquisadores, utilizando recursos cognitivos e estruturas mentais similares aos que um cientista utiliza.

Contudo, a suposição da compatibilidade entre o conhecimento cotidiano e o científico enfrenta numerosos dados que a contradizem, tanto se considerarmos os procedimentos utilizados em um e outro caso (ver Capítulo 3) quanto se olharmos para as estruturas conceituais em que são baseados respectivamente (Capítulo 4). A suposição de que os seres humanos agem como cientistas é desmentido pela recente psicologia do pensamento (Nisbett, 1993). Como já vimos no Capítulo 3, ao analisar criticamente a teoria dos estágios de Piaget, numerosos estudos mostraram que as formas de pensamento formal ou científico não são o modo habitual de funcionamento intelectual de adolescentes e adultos, inclusive adultos universitários. Quando são defrontadas com uma tarefa que requer utilizar um pensamento científico, a maior parte das pessoas recorre a outras formas mais elementares de pensamento (regras heurísticas, estratégias simplificadoras, vieses de previsão, etc.), que os levam a resultados não necessariamente coincidentes com os da ciência (Nisbet, 1993; Pérez Echeverría, 1990). De fato, as “concepções alternativas” dos alunos – e também da maior parte dos adultos não especialistas – teriam, até certo ponto, origem nesse tipo de regras de pensamento, que analisamos no capítulo anterior ao estudar a origem sensorial das concepções alternativas (p. 98-100), que estariam regidas por critérios *pragmáticos*, mais do que lógicos, ou seja, que julgam mais a conveniência ou relevância das conclusões alcançadas do que o rigor e o valor de verdade do processo seguido para obtê-las, algo que, em aparência, é escassamente científico.

Em suma, se considerarmos a pesquisa recente em psicologia do pensamento, a metáfora do ser humano como cientista é pouco adequada. O pensamento científico não parece ser a forma natural, convencional, de as pessoas comuns enfrentarem seus problemas. Isso parece pôr em sérios apertos a hipótese da compatibilidade. Contudo, paradoxalmente traz consigo o que podemos chamar de *nova hipótese da compatibilidade*, segundo a qual não é tanto que as pessoas pensem como cientistas senão o contrário: *que são os cientistas que pensam como pessoas*. Ou, em outras palavras, que esses vieses, essas estratégias informais, esse caráter pragmático que define o conhecimento cotidiano são também características essenciais do pensamento científico. Em vez de manter uma concepção lógico-racional da ciência, entendida como a aplicação sistemática de um *método* que cedo ou tarde leva ao descobrimento de regularidades e leis (Wagensberg, 1993), hoje em dia parece ser um fato assumido que a ciência não é uma tarefa muito diferente de outras muitas tarefas cotidianas, de modo que as estruturas e os processos com os quais os cientistas trabalham seriam muito similares aos do funcionamento cognitivo cotidiano.

A ciência não é uma tarefa tão afastada do conhecimento cotidiano, dado que, para além de sua imagem social ou seu estereótipo, utiliza categorias prototípicas, conhecimentos implícitos, regras heurísticas, vieses inferenciais, etc., ou seja, a ciência, longe de ser uma tarefa racional, seria apenas mais um produto da racionalidade limitada dos seres humanos (por exemplo, Giere, 1988; Langley et al., 1987). A pesquisa sobre o pensamento dos cientistas (por exemplo, Tweney, Doherty e Mynatt, 1981) parece, até certo ponto, dar razão a Feyerabend (1970) e seu anarquismo metodológico.

Porém, se hoje tende-se a assumir que a ciência é uma tarefa menos racional (ou, dito de outro modo, menos baseada na razão lógica) do que normalmente se supõe, não parece claro que se justifique a postura extrema segundo a qual não há diferença qualitativa alguma entre o pensamento cotidiano e o científico. A ciência é uma obra diferenciada – não apenas socialmente, mas também do ponto de vista cognitivo – de outras formas de conhecimento, inclusive formas tão abstratas como o conhecimento filosófico ou o religioso. Como mostrou Thagard (1992), o pensamento religioso tem características que o diferenciam, do ponto de vista cognitivo, do conhecimento científico, assim como ocorre com o estético (Eisner, 1985; Gardner, 1982), ou mesmo com o científico em outras áreas do saber, como o conhecimento social (Carretero e Voss, 1994; Pozo, 1994).

Os estudos que compararam o rendimento de especialistas e novatos em tarefas muito diversificadas mostram que, apesar de haver uma continuidade importante em suas formas de pensamento, também há diferenças qualitativas, produto de uma verdadeira reestruturação ou mudança conceitual, e não só de uma simples acumulação de saberes (Chi, Glaser e Farr, 1988; Ericsson, 1996; Glaser, 1992; Pozo, 1989). Assim, entre os novatos e os especialistas em física existiriam não apenas diferenças quantitativas em seu conhecimento, mas também diferenças qualitativas em suas estruturas de conhecimento. A aquisição do conhecimento científico sobre o mundo físico vai exigir, portanto, uma reestruturação forte dos conhecimentos intuitivos de domínio, dado que ambos os sistemas de conhecimento são conceitualmente incompatíveis, não tanto porque levem a previsões contrárias, mas por serem baseados em explicações ou princípios de natureza diferente e, inclusive, em processos cogni-

tivos de aprendizado que são diferentes. Para que os alunos consigam, nem vamos dizer pensar como cientistas, mas pelo menos compreender como os cientistas interpretam o mundo, é necessário ajudá-los a construir novas estruturas mentais que não fazem parte do repertório cognitivo *natural* do ser humano, mas que são um produto histórico e cultural, tal como defenderia Vygotsky.

A HIPÓTESE DA INCOMPATIBILIDADE OU DA MUDANÇA CONCEITUAL

A maior parte da pesquisa recente sobre aprendizagem e ensino das ciências, baseada no enfoque das concepções alternativas (resumida e analisada no capítulo anterior), assume que, ao contrário da hipótese anterior, a mente do cientista e a do aluno têm, em algum sentido, formatos incompatíveis, que utilizam linguagens diferentes ou, inclusive, utilizando a terminologia de Kuhn (1962), que são, até certo ponto, *incomensuráveis*, não podem reduzir nem traduzir uma à outra. Em outras palavras, para que os alunos aprendam as teorias e os modelos científicos, é preciso que mudem radicalmente sua forma de interpretar as coisas, porque do contrário, como ocorre habitualmente, tenderão a cometer erros conceituais, *misconceptions*, a mal interpretar o que estudam, assimilando esses conteúdos às suas próprias concepções alternativas. De fato, o sentido que os alunos atribuem a conceitos como força, energia, calor, respiração ou alimentação das plantas, erosão, etc., tem escassa relação com o significado desses mesmos termos nas teorias científicas que estudam. Os abundantes catálogos sobre o conhecimento cotidiano dos alunos e suas diferenças com respeito ao conhecimento científico aceito confirmam essa incompatibilidade, que já é reconhecida a partir da própria *denomi-*

nação de origem desse conhecimento cotidiano: preconceitos, concepções *alternativas* ou ideias *errôneas*. O conhecimento que os alunos trariam para a sala de aula, sua ciência intuitiva, resulta insustentável quando posto ao lado do conhecimento científico. Não é possível ser aristotélico e newtoniano ao mesmo tempo, criacionista e darwiniano, ou, nesse caso, positivista e construtivista. É preciso mudar, mediante o ensino, os conhecimentos prévios que o aluno traz consigo e aproximá-lo dos conhecimentos científicos.

Como veremos no Capítulo 8, boa parte das estratégias didáticas descritas levando em conta os conhecimentos prévios dos alunos estiveram dirigidas de modo explícito ou implícito a *substituir*, a mudar esses conhecimentos, incompatíveis com os marcos conceituais da ciência, por outros mais próximos das teorias científicas aceitas. Muitas dessas propostas adotaram uma estratégia de conflito cognitivo, com características bem definidas. A título de exemplo, a mais conhecida e influente dessas propostas (Posner et al., 1982) estabelece que para conseguir a mudança conceitual são necessárias quatro fases:

- a) que o aluno esteja insatisfeito com suas concepções alternativas;
- b) que disponha de uma nova concepção inteligível;
- c) que essa nova concepção lhe pareça plausível;
- d) que a nova concepção se mostre mais frutífera ou produtiva que a concepção alternativa original.

O objetivo, então, é mostrar ao aluno que sua teoria é errônea e que ele deve substituí-la por outra teoria melhor, mais próxima da teoria cientificamente aceita. As concepções alternativas deveriam estar presentes na avaliação inicial, mas idealmente deveriam ter desaparecido quando

chegasse a hora da avaliação final. O conhecimento cotidiano é o ponto de partida, mas não o de chegada.

Assim, o êxito desses modelos deve ser medido pelo grau em que foram capazes de suprimir ou erradicar esses persistentes conhecimentos alternativos dos alunos. Nesse sentido, é preciso reconhecer que, apesar de muitos desses esforços didáticos oferecerem resultados muito sugestivos, que sem dúvida superam os conquistados por estratégias mais tradicionais baseadas no suposto da compatibilidade, fracassaram globalmente em seu propósito essencial de conseguir que o aluno assumira as teorias científicas e abandone suas crenças alternativas. Nas contundentes palavras de Duit (1999),

é preciso afirmar que não há nem um único estudo na literatura de pesquisa sobre as concepções dos estudantes no qual uma concepção concreta das que estão profundamente enraizadas nos alunos tenha sido totalmente extinta e substituída por uma nova ideia. A maioria das pesquisas mostra que há apenas um sucesso limitado em relação à aceitação das ideias novas e que as velhas ideias continuam basicamente “vivas” em contextos particulares.

No máximo se consegue que os alunos cheguem a assimilar os conhecimentos científicos, mas não que abandonem seus conhecimentos cotidianos.

Esse fracasso relativo pode ter duas razões principais. A primeira é que talvez boa parte desses esforços didáticos tenham tentado mudar, às vezes com estratégias muito agressivas, as ideias concretas mantidas pelos alunos, em vez de se focar na mudança das estruturas conceituais ou teorias implícitas em que essas ideias teriam sua origem (Pozo, 1994). De acordo com essa perspectiva, desenvolvida na última parte do Capítulo 4, o

problema não estaria tanto no significado individual de cada um desses conceitos, mas nas estruturas ou esquemas conceituais que os alunos assimilam. A incompatibilidade entre o conhecimento científico e o cotidiano não reside tanto nesse longo catálogo de “concepções alternativas” ou francamente “errôneas” mantidas pelos alunos, mas nos princípios epistemológicos, ontológicos e conceituais em que essas concepções se sustentam. O que se requer não é uma mudança de conceitos, mas uma mudança de conceitualizações (White, 1994). A mudança conceitual não implicaria tanto mudar o significado de cada um desses conceitos individualmente, senão reestruturar as teorias das quais eles fazem parte, que são as que lhes dão significado (Benlloch, 1997; Benlloch e Pozo, 1996). E o significado de cada uma das concepções dos alunos, ou seus modelos mentais construídos a partir de suas teorias de domínio (sobre a fotossíntese, a combustão, a queda dos objetos ou seu próprio aprendizado) seria, por sua vez, determinado por suas *teorias implícitas* (ver Capítulo 4), ou suas teorias-marco, na terminologia de Vosniadou (1994a).

Como já vimos, essas teorias são baseadas em uma série de supostos implícitos de caráter epistemológico, ontológico ou conceitual que “formatariam” cada uma das teorias de domínio mantidas pelos alunos (ver Quadro 4.7 no capítulo anterior). Assim, a mudança conceitual, para ser realmente efetiva e superar a incompatibilidade básica entre a teoria dos alunos e as teorias científicas, deveria estar dirigida a modificar as estruturas conceituais, os supostos epistemológicos e ontológicos que são subjacentes a cada uma dessas teorias. O que os alunos pensam sobre a energia, o calor, a fotossíntese ou o equilíbrio químico não seria mais do que a ponta do *iceberg* oculto de suas teorias implícitas. No capítulo anterior, analisamos em detalhe as diferenças entre o conhecimen-

to cotidiano e o científico em relação aos princípios epistemológicos, ontológicos e conceituais que estariam na base de seus diferentes – e frequentemente incompatíveis – sistemas conceituais.

Mas talvez a principal causa desse fracasso em conseguir a substituição do conhecimento cotidiano pelo científico seja a própria ideia de que a mudança conceitual deve implicar um abandono do conhecimento cotidiano, algo que não apenas é muito difícil de conseguir, mas que até pode ser inconveniente. Talvez a mudança conceitual não implique substituir um conhecimento mais simples, o cotidiano, por outro mais complexo, o científico, e sim adquirir diferentes tipos de conhecimentos ou representações para tarefas ou situações diversas. Isso é o que defendem os partidários de outro modo de conceber a educação científica, que podemos denominar de hipótese da independência.

A HIPÓTESE DA INDEPENDÊNCIA OU DO USO DO CONHECIMENTO SEGUNDO O CONTEXTO

Em face da concepção dominante, pelo menos implicitamente, no enfoque das concepções alternativas, que estabelecia como meta educacional o afastamento do aluno das suas concepções alternativas, que eram consideradas errôneas ou, no mínimo, inferiores às científicas, pelas quais deveriam ser “mudadas”, ou seja, substituídas, nos últimos anos vêm ganhando importância as posturas que defendem a necessidade de que a pessoa disponha de diferentes representações ou modelos para enfrentar tarefas diferentes. Em vez de pretender que o aluno abandone sua mecânica intuitiva para assumir os modelos da física newtoniana, o que se tentaria é que ele consiga diferenciar entre ambos os modelos ou interpretações e

aprenda a usá-los discriminando em função do contexto.

Frente a esse modelo tradicional que defende – apoiando-se, em parte, em certos critérios históricos e epistemológicos de influência kuhniana (por exemplo, Carey, 1991) – que a mudança conceitual supõe abandonar a teoria anterior e substituí-la pela nova, alguns autores estão apresentando a possibilidade de que os mecanismos da mudança conceitual sejam mais sutis e complexos, dando lugar a uma coexistência de sistemas alternativos de conhecimento no mesmo sujeito. Apoiando-se, até certo ponto, nas recentes concepções desenvolvidas pela psicologia cognitiva sobre a memória distribuída ou sobre os modelos mentais que são construídos a partir de episódios contextuais, começa a ser aceito que os sujeitos disporiam de teorias alternativas que poderiam ativar de modo discriminativo em função do contexto (Pozo, 1997a; Pozo, Gómez Crespo e Sanz, 1999; Rodrigo, 1997). Igualmente, os modelos de conhecimento ou aprendizagem “situado”, que destacam a necessidade de analisar o funcionamento intelectual no contexto das demandas sociais das tarefas, chegaram, também, ao estudo da mudança conceitual (Caravita e Hallden, 1994).

Em vez de considerar que o conhecimento cotidiano é errôneo ou cientificamente desviado, a partir desses modelos se destaca seu valor pragmático, seu caráter fenomenológico e adaptativo (Claxton, 1984; DiSessa, 1993; Pozo et al., 1992). De fato, o conhecimento cotidiano seria muito adaptativo, uma vez que é produto de mecanismos de aprendizagem implícitos pouco flexíveis, mas muito robustos e econômicos do ponto de vista cognitivo e, portanto, abandoná-los seria não apenas pouco provável, como talvez inconveniente. Assim, nossa física intuitiva, mesmo sendo incorreta segundo as teorias científicas vigentes, é muito pre-

visível e ajusta-se muito bem às demandas do nosso mundo real. Como assinalou DiSessa (1983), não sem certa ironia, o único inconveniente da mecânica newtoniana é que vivemos em um mundo não newtoniano, infestado de atrito e forças invisíveis, no qual os objetos têm o desagradável costume de afastar-se bastante, em seu comportamento, desse “movimento uniforme e retilíneo” que deveríamos esperar deles nas condições ideais da mecânica newtoniana. Com muita frequência, em contextos concretos, rotineiros, sobre-aprendidos, simples exercícios e não problemas (Pérez Echeverría e Pozo, 1994), o conhecimento cotidiano é mais previsível do que o conhecimento científico, ou, simplesmente, é mais eficaz, uma vez que leva aos mesmos resultados com menor custo cognitivo. Além disso, costumam ser teorias com um forte significado cultural, socialmente compartilhadas, o que torna ainda mais improvável sua erradicação (todos dizemos que “o sol nasce” ou que “as coisas caem por seu próprio peso”, *independentemente* dos nossos conhecimentos de física). Este valor pragmático, adaptativo e cultural das teorias implícitas faz com que sua eliminação seja não só muito difícil como, talvez, desnecessária.

Por outro lado, os poucos estudos realizados a esse respeito mostram que mesmo que ocorra um verdadeiro aprendizado da ciência, como no caso de indivíduos especialistas em um domínio, isso não implica um abandono do conhecimento cotidiano. Como mostraremos mais adiante, no Capítulo 6, em alguns dos nossos trabalhos nos foi permitido comprovar (Pozo, Gómez Crespo e Sanz 1993, 1999) que a aprendizagem da química por pessoas especialistas não implica um abandono de seu conhecimento cotidiano nessa área, do mesmo modo que todos nós, tenhamos ou não aprendido física, continuamos “vendo” o sol se movendo no céu ou

aceitando que um casaco ou um cobertor “esquentam”. Quais são os efeitos, então, da instrução em química se ela não supõe abandonar o conhecimento cotidiano? O que parecia diferenciar os químicos do resto dos grupos naquela pesquisa (Pozo, Gómez Crespo e Sanz, 1999) não era que usassem menos seus conhecimentos cotidianos, mas que os usavam de modo mais discriminativo. Por um lado, diferenciavam claramente entre o conhecimento cotidiano e o científico – ou, no caso deles, entre representações macroscópicas e microscópicas da matéria; para mais detalhes, ver o Capítulo 6 –, e por outro tendiam a utilizar ambos os tipos de conhecimento para fins diferentes, uma vez que usavam mais a teoria corpuscular – o modelo científico – quando a tarefa requeria explicações complexas do que quando envolvia apenas descrever, ou redescrever minimamente, as situações apresentadas (Pozo, Gómez Crespo e Sanz, 1993, 1999). Ao contrário, os alunos adolescentes, quando tentavam recorrer à teoria corpuscular, tendiam a atribuir ao mundo microscópico muitas propriedades observáveis da matéria, mostrando uma indiferenciação conceitual entre ambos os níveis de interpretação e, além disso, também não diferenciavam entre os contextos de uso (descritivo ou explicativo) desses conhecimentos.

Em suma, todos os sujeitos contrariam, realmente, com representações alternativas para um mesmo fato, que eles ativariam, de modo mais ou menos discriminativo, em função do contexto, razão pela qual o objetivo da educação científica não deveria ser, em nenhum caso, erradicar ou extinguir as concepções alternativas dos alunos, senão que, do ponto de vista desse enfoque, se trataria é de *separar* ambas as formas de conhecimento, que os sujeitos aprendessem a utilizá-las em contextos diferentes. Contudo, lamentavelmente ainda é muito

pouco o que sabemos sobre a influência do contexto. Somente sabemos que, como em qualquer aprendizado, ele exerce uma influência, mas só foram identificadas algumas variáveis contextuais relevantes, que afetam a ativação discriminativa de diferentes teorias por parte dos alunos (De Posada, 1996; Engel Clough e Driver, 1986; Gómez Crespo, Pozo e Sanz, 1995; Oliva, 1998).

De qualquer modo, como devemos interpretar esta coexistência? São, realmente, representações independentes? Isso significa que não é necessária a mudança conceitual? O ensino deve fomentar a vinculação entre o conhecimento cotidiano e o científico por meio da ativação das concepções alternativas em contextos escolares ou, ao contrário, deve ser mantida uma fronteira o mais rígida possível entre ambos os contextos? Claxton (1991) assinalou com perspicácia as apreciáveis diferenças entre as características dos contextos de ativação do conhecimento científico e dos contextos cotidianos. De fato, como ele mesmo aponta, os problemas científicos não costumam ser problemas cotidianos, e vice-versa (ver também Pozo e Gómez Crespo, 1994). Transferir ou transpor o conhecimento de um contexto para outro não é só difícil, mas talvez seja inconveniente. Os alunos descobrem, com certa frequência, os inconvenientes de utilizar conhecimentos cotidianos em contextos inadequados (por exemplo, em uma prova). De fato, eles precisam aprender muito cedo a separar contextos – inclusive disciplinas dentro do contexto escolar –, dado que as transposições ou transferências de conhecimentos de um contexto – ou disciplina – para outro geralmente são muito pouco valorizados por seus professores. Realmente, podemos afirmar sem ironia que a maior parte dos alunos, pelo menos aqueles que são considerados alunos estratégicos ou adaptados ao contexto educacional, são

firmes partidários da independência ou, dito de outro modo, da compartimentalização, entre tipos de conhecimento.

Sendo assim, por que deveríamos acreditar que a transferência no sentido inverso, do contexto escolar para o científico, é mais fácil, uma vez que as diferenças continuam as mesmas? Como argumentou Claxton (1991), a fé no caráter automático e necessário dessa transferência – a ideia de que o conhecimento científico é útil em todos os contextos – está na base das metas da maior parte dos currículos de “ciência para todos”, ou seja, da educação científica obrigatória. Se questionamos essa transferência, os alicerces da educação científica nas primeiras idades cambaleiam. Para que ensinar ciências para todos os alunos e futuros cidadãos se o conhecimento científico serve apenas para fazer ciência? Há quem defenda a conveniência de separar, pelo menos em alguns casos, as situações escolares das cotidianas, contrariamente ao que diz o clichê estabelecido segundo o qual é necessário partir sempre das concepções alternativas dos alunos para mudá-las. A insistência recente na natureza contextual e situada de toda aprendizagem põe seriamente em dúvida não só a possibilidade, mas inclusive a pertinência de utilizar o conhecimento escolar além do âmbito em que ele é gerado (Kirshner e Whiston, 1997).

Contudo, parece claro que, mesmo que o conhecimento científico não deva ser utilizado em todos os âmbitos e situações, a meta da educação deve ser justamente *descontextualizar*, tornar mais transferível e generalizável o conhecimento. A aprendizagem escolar deve ser *situada* em sua origem, em seu ponto de partida, mas suas metas devem ser mais gerais, devem facilitar a transferência do conhecimento de um contexto para outro (Pozo, 1996a). Talvez uma opção alternativa seja não tanto separar ou tornar in-

dependentes ambas as formas de conhecimento (afinal de contas, isso já é o que ocorre em boa medida na mente dos alunos, tornando muito difícil a transferência ou o uso do conhecimento escolar fora da sala de aula), mas promover uma diferenciação e integração hierárquica entre diferentes tipos de conhecimento, concebidos não só como modelos alternativos, e sim como níveis alternativos de análise ou de representação do mesmo problema.

A HIPÓTESE DA INTEGRAÇÃO HIERÁRQUICA OU DOS DIFERENTES NÍVEIS DE REPRESENTAÇÃO E CONHECIMENTO

Segundo essa hipótese, a ativação contextual de teorias alternativas não é incompatível com a necessidade da mudança conceitual entendida como a construção do conhecimento científico a partir do cotidiano. A nova teoria (por exemplo, a teoria cinético-molecular da matéria) somente poderá ser compreendida como tal na medida em que se diferencie conceitualmente do modelo anterior (por exemplo, a concepção contínua ou macroscópica da matéria). Para isso, será necessário que o aluno construa novas estruturas conceituais nesse domínio, que redescreva suas interpretações dentro de estruturas mais complexas (reinterpretando os processos como parte de um sistema, a causalidade em termos de interação, a mudança e a conservação em termos de equilíbrio, etc.). Se essa reestruturação não ocorre, os conceitos da nova teoria serão incorporados à velha “árvore de conhecimentos”, dando lugar a uma confusão ou mistura entre ambas as teorias alternativas que, em vez de coexistirem em contextos diferentes, formariam um sistema conceitual híbrido e indiferenciado.

De fato, isso é o que normalmente ocorre em muitas salas de aula. As chama-

das “concepções errôneas”, tão estudadas e perseguidas, geralmente são produto de os alunos assimilarem, erradamente, novos conceitos a sistemas de conhecimento de domínio que são incompatíveis com eles, de modo que os novos conceitos tomam seu significado da estrutura das teorias implícitas às quais são incorporadas, sendo, portanto, assimilados erroneamente ou com um significado diferente daquele da teoria científica de que fazem parte, concebendo, por exemplo, a inércia como uma força dentro de um modelo causal linear (ver Capítulo 7), ou as partículas como “pedaços” invisíveis da matéria observável (ver Capítulo 6). Em vez de pretender separar ou tornar independentes as teorias científica e cotidiana, segundo a hipótese da integração hierárquica se trataria de conectá-las por meio de processos metacognitivos, de transformar em objeto de reflexão as diferenças entre elas, de modo que elas possam ser integradas como diferentes níveis de análise ou de complexidade na interpretação de um problema.

Segundo esse ponto de vista, qualquer problema seria suscetível de ser analisado, ou representado, a partir de diferentes teorias alternativas, que implicariam, de fato, diferentes *níveis de análise*, baseados em estruturas conceituais de complexidade diversa. Como as bonecas russas – ou, inclusive, como os estágios piagetianos do desenvolvimento –, as diversas teorias deveriam ser suscetíveis de encaixar-se ou integrar-se umas às outras, de tal modo que exista uma sequência cuja construção é necessária, mas também uma integração genética de uns modelos em outros. Do mesmo modo que não tem sentido afirmar que a mecânica einsteiniana substituiu a newtoniana, mas que se integrou a ela e que, de fato, origina-se dela, seria válido pensar em uma relação genética entre teorias de diferente complexidade (ou de diferente

nível representacional). Como mostrou Mortimer (1995), os diversos “perfis conceituais” ou modelos do átomo não precisam ser considerados incompatíveis ou independentes entre si, senão que respondem a diferentes formas ou níveis na análise da estrutura da matéria. Apesar de, aparentemente, terem sido superados por outros modelos posteriores, alguns deles – como, por exemplo, o átomo de Bohr – continuam sendo eficazes para a análise de certas tarefas restritas, ou seja, para um determinado nível de análise. A tendência reducionista, segundo a qual todos os níveis de análise da realidade podem ser interpretados em termos de um sistema unitário, pode ser tão empobrecedora, dentro das disciplinas científicas, quanto é quando se aplica à análise das relações entre disciplinas (Morin, 1980).

Por isso, embora as teorias científicas tenham maior potência explicativa ou, em termos de Lakatos (1978), um excesso de conteúdo empírico com respeito ao conhecimento cotidiano, nem por isso tornam desnecessário o seu uso, como vimos anteriormente. Há muitas situações em que o conhecimento cotidiano, uma vez que diz respeito ao mundo *mesocósmico* que nossos sentidos proporcionam – o que poderíamos chamar de nível de análise *fenomenológico* –, é mais crível ou, simplesmente, mais possível de prever do que os modelos científicos, que por serem dirigidos principalmente a níveis *microcósmicos* – as partículas e suas estranhas contingências – ou *macrocósmicos* – os planetas, as galáxias e suas estranhas viagens – às vezes *vão mal* no mundo do senso comum, são baseados em modelos idealizados que se aplicam mal em um mundo cheio de ruídos, recantos e rugas imprevisíveis no qual habitam nossos sentidos. Se para aplicar um modelo de mecânica clássica, com a finalidade de analisar o movimento de um objeto, os alunos precisam “desprezar o raciocínio”, como frequentemente se

exige deles, pode ser mais aceitável e eficaz prever esse movimento a partir de um modelo intuitivo, assumindo que se deve a um desgaste da força inicial e não ao efeito invisível de certas forças ocultas.

Em outros muitos contextos, as previsões de ambas as formas de conhecimento seriam similares, uma vez que, de fato, as teorias intuitivas, ao serem resultado de um longo processo adaptativo, na filogênese e na ontogênese, costumam ser muito previsíveis, embora o conhecimento cotidiano não tenha poder explicativo ou suas explicações se desviem do que é cientificamente aceito (Pozo et al., 1992; Rodrigo, 1993). Mas nesses contextos em que o conhecimento cotidiano é tão preditivo quanto o científico, os indivíduos tenderiam a utilizar a teoria intuitiva, dado que seu uso seria cognitivamente mais econômico e contextualmente mais funcional, por estar baseado em processos essencialmente automáticos, estar regido por chaves contextuais e consumir escassos recursos cognitivos em sua ativação e avaliação (Pozo, 1996a).

Desse modo, a teoria intuitiva, embora do ponto de vista conceitual pudesse ser subsumida pela teoria científica, do ponto de vista do processamento continuaria sendo eficaz nos contextos informais cotidianos, em que a aplicação do modelo científico, por ser um processo consciente, reflexivo e sistemático, costuma requerer maior quantidade de processamento. Em suma, a aprendizagem da ciência requer construir estruturas conceituais mais complexas a partir de outras mais simples e, provavelmente, estabelecer usos diferentes para cada um dos contextos de aplicação dessas teorias, assim como ser capaz de redescrever ou analisar as formas mais simples de conhecimento a partir das mais complexas, tomando como critério as diferenças epistemológicas, ontológicas e conceituais estabelecidas no final do capítulo anterior. Essa ideia da

aprendizagem da ciência entendida como a integração hierárquica de modelos implica, portanto, diferentes processos de construção do conhecimento científico, que vão além da mudança conceitual tal como geralmente foi entendida. As próximas páginas são dedicadas a desenvolver essa proposta de integração hierárquica a partir da análise dos processos envolvidos na construção do conhecimento científico na sala de aula.

OS PROCESSOS DE CONSTRUÇÃO DO CONHECIMENTO CIENTÍFICO

Partindo das diversas teorias sobre a construção do conhecimento científico em contextos escolares a partir do conhecimento cotidiano (por exemplo, Chi, 1992; Glynn e Duit, 1995b; Lawson, 1994; Pozo, 1996a; 1997a; Rodrigo e Correa, 1999; Vosniadou, 1994a) e, sobretudo, das análises apresentadas nos dois últimos capítulos sobre as relações entre o conhecimento cotidiano e o científico, podemos identificar três processos fundamentais na construção do conhecimento científico na sala de aula. Esses processos, mostrados na Figura 5.1, seriam a reestruturação teórica, a explicitação progressiva e a integração hierárquica das teorias implícitas dos alunos nas teorias científicas. Embora esses processos, como veremos, estejam estreitamente vinculados entre si, analisaremos cada um deles em separado.

O processo de reestruturação

A *reestruturação* implica construir uma nova forma de organizar o conhecimento em um domínio que seja incompatível com as estruturas anteriores. Segundo a interpretação que temos feito em páginas anteriores, essa mudança conceitual ou reestruturação será necessária

**Figura 5.1**

Processos fundamentais na construção do conhecimento científico na sala de aula.

quando a superação das teorias alternativas em um domínio dado exija adotar novos supostos epistemológicos, ontológicos e conceituais a partir dos quais interpretar os cenários e situações nesse domínio.

As teorias alternativas mais persistentes seriam aquelas que estão arraigadas no sistema cognitivo do indivíduo, de forma que para mudá-las não é suficiente nem o aprendizado de fatos, nem o aprendizado significativo, entendido como a compreensão de conceitos científicos, senão que se requer uma verdadeira mudança das estruturas conceituais dos alunos, tal como foram definidas no Capítulo 4. Mas, na verdade, essa reestruturação não é incompatível com o aprendizado de fatos ou com a compreensão de conceitos, senão que esses processos se exigem mutuamente. Nas recentes teorias sobre a mudança conceitual, ela é concebida como um processo complexo – ou, dito de outro modo, como um sistema – composto, de fato, por vários subprocessos diferentes (por exemplo, Thagard, 1992; Vosniadou, 1994a; também Pozo, 1996a). Assim, geralmente se distinguem pelo menos três processos diferentes de mudança conceitual, que implicariam um grau diverso de reorganização da estrutura conceitual em um domínio dado. A forma mais leve de mudança conceitual seria o *enriquecimento* ou crescimento das concepções, simplesmente incorporando

nova informação, mas sem mudar em absoluto a estrutura conceitual existente. O *ajuste* já implicaria modificar essa estrutura de alguma maneira, fundamentalmente mediante processos de generalização e discriminação, mas não exigiria uma mudança radical das estruturas existentes. Essa mudança radical ocorreria com a *reestruturação*, que deve traduzir-se e concretizar-se em uma mudança das estruturas conceituais utilizadas em um domínio de conhecimento dado, indo das formas mais simples, próprias do conhecimento cotidiano (por exemplo, em termos de relações causais lineares, unidirecionais), até as estruturas mais complexas das teorias científicas (interação e equilíbrio dentro de um sistema), de acordo com as mudanças nessas estruturas conceituais descritas no capítulo anterior (ver Quadro 4.7 da p. 114). Esse processo de reestruturação, assim como o resto dos processos de construção do conhecimento científico, ocorreria, contudo, de *baixo para cima*, ou seja, dos conteúdos mais específicos até as estruturas conceituais. Não se trataria de mudanças cognitivas gerais, independentes de domínio, como as que sugeria a teoria de Piaget, mas de reorganizar o conhecimento em domínios concretos (Pozo, 1994). Desse modo, também não seria questão de ensinar as estruturas conceituais como tais, de transformá-las em objeto direto de ensino, mas de gerar

as condições para que, no estudo de conteúdos conceituais específicos, os alunos aprendam a interpretar os fenômenos em termos de estruturas complexas (como veremos, na Segunda Parte, no caso da física e da química). Em outras palavras, os conteúdos da educação científica devem continuar sendo os conceitos, as técnicas, as estratégias, as atitudes, etc., que constituem o saber científico, mas a *meta* do ensino desses conteúdos deveria ser promover mudanças mais profundas nas estruturas conceituais, nos valores ou no saber estratégico (Pozo, 1999a). No caso dos conteúdos conceituais, o que se tentaria é que, partindo do estudo de noções concretas, o aluno vá tornando explícitos os supostos nos quais baseia suas interpretações e, ao fazê-lo, aprofunde nas estruturas conceituais que são subjacentes às suas previsões, ações e crenças. O processo de reestruturação requer, portanto, uma explicitação progressiva das teorias implícitas do aluno.

O processo de explicitação progressiva

A construção do conhecimento científico envolve, também, um processo metacognitivo, ou, melhor dizendo, meta-conceitual, de *explicitação* das concepções mantidas intuitivamente (Kuhn, Amsel e O'Loughlin, 1988; Schraw e Moshman, 1995; Vosniadou, 1994a). Tal como apresentávamos no Capítulo 4, essas concepções são baseadas em supostos e restrições implícitos, ou seja, são subjacentes às próprias concepções, mas sem que o sujeito tome consciência delas. Portanto, será necessário, com o fim de promover a mudança conceitual, projetar cenários que facilitem esse processo de explicitação, de forma que o aluno enfrente problemas potenciais, se possível em contextos de interação social, que induzam à comunicação das próprias concepções, de maneira que

mediante esse processo de explicitação ou, em termos de Karmiloff-Smith (1992), de redescrição representacional, o aluno vá trazendo para a sua própria consciência boa parte desse continente submerso que são suas teorias implícitas.

Retomando a diferença entre níveis representacionais, apresentados na Figura 4.2, serão mais fáceis de explicitar os níveis representacionais mais superficiais, como as crenças e as ações, do que os supostos implícitos subjacentes a essas crenças ou previsões, dos quais eles dependeriam. Assim, o aluno pode facilmente tomar consciência de sua previsão sobre como irá se movimentar um objeto, mas terá mais dificuldade para encontrar o significado dessa previsão (por que ele acredita que os objetos mais pesados cairão mais rapidamente?), o que o ajudará a compreender melhor sua teoria implícita nesse domínio e, finalmente, as restrições estruturais em que se baseia.

De fato, a distinção implícito/explicito não seria tanto uma dicotomia, mas, sim, um *continuum* (Karmiloff-Smith, 1992; Tirosh, 1994), e a tarefa metacognitiva consistiria em um processo de tornar explícitos de maneira progressiva alguns desses supostos, com o fim de poder mudá-los, partindo do nível mais superficial até chegar a níveis representacionais cada vez mais profundos (Karmiloff-Smith, 1992; Pozo, 1996a; Rodrigo, 1997). Além desse processo de *aprofundamento* nos níveis representacionais, a explicitação progressiva tem uma segunda dimensão essencial: a *formalização* das representações em códigos ou linguagens cada vez mais explícitos. A explicitação envolve, também, uma redescrição das representações em formatos ou *gêneros discursivos* crescentemente formalizados, de modo que a construção do conhecimento científico implica, também, uma mudança nas linguagens mediante as quais se codifica e comunica o conhecimento, *nas linguagens*

da ciência em comparação com a linguagem cotidiana do aluno (Lemke, 1993; Mortimer e Machado, 1997). Essa explicitação implicará um uso cada vez maior de códigos formalizados, de gêneros cada vez mais *dialógicos* – ou seja, nos quais se ouçam e contraponham múltiplas vozes, em vez de um monólogo estridente, o do professor – e nos quais o relato ou a descrição de fatos abra passagem progressivamente para a descrição de processos, para a exposição de modelos e para a argumentação sobre eles (Ogborn et al., 1996).

Dessa forma, a explicitação, na medida em que aprofunda e formaliza as representações, favorecerá os processos de reestruturação, porque permite que o aluno tome consciência das diferenças estruturais e conceituais entre as teorias científicas e suas próprias teorias. De fato, a mudança conceitual, diferentemente do que supunham os modelos tradicionais baseados no conflito cognitivo, não costuma implicar um abandono das concepções previamente mantidas nem sua substituição pelas novas teorias científicas. Como víamos antes, ambos os tipos de teorias coexistem normalmente e são utilizados de modo alternativo para contextos diferentes. Contudo, essa coexistência não significa que as diversas representações alternativas de que um indivíduo dispõe para um domínio dado devam ser independentes entre si. De fato, a mudança conceitual costuma implicar um processo de *integração hierárquica*, que faz com que as formas de representação mais elementares se integrem, ou sejam reescritas, nas mais complexas.

O processo de integração hierárquica

Como tentamos mostrar anteriormente, qualquer situação ou fenômeno científico seria suscetível de ser analisado,

ou representado, a partir de diferentes teorias alternativas, que implicariam, de fato, diferentes níveis de análise, baseados em estruturas conceituais de complexidade diversa. Já vimos que o fato de a teoria científica ter um maior poder representacional, por estar mais explicitada, não implica que as teorias alternativas devam ser abandonadas, pois, assim como muitos produtos da aprendizagem implícita (Reber, 1993), costumam ser robustas, funcionais e eficazes em sua aplicação. Mesmo que tenham pouco poder explicativo, as teorias alternativas geralmente são muito eficientes para fazer previsões em contextos cotidianos, além de poderem ser aplicadas com uma grande economia de recursos cognitivos, dada sua natureza implícita.

Assim, a teoria intuitiva, apesar de que, do ponto de vista conceitual, poderia ser subsumida pela teoria científica, do ponto de vista do processamento continuaria sendo eficaz nos contextos informais cotidianos, em que a aplicação do modelo científico, por se tratar de um processo consciente, reflexivo e sistemático, costuma exigir maior quantidade de processamento. Contudo, uma vantagem do modelo científico frente ao intuitivo é que pode ser transferido mais facilmente para situações novas. Retomando a ideia de Perkins e Salomon (1989), poderíamos dizer que uma adequada integração hierárquica entre os modelos, própria do conhecimento especialista, permite utilizar uma *high road*, ou via de alto nível, ao discriminar metacognitivamente entre diferentes níveis representacionais, enquanto a ausência dessa integração levaria a uma *low road*, ou via baixa, para a discriminação entre diferentes níveis representacionais baseada em certos indícios situacionais ou contextuais (Pozo, 1999b). Em geral, é possível assumir que uma teoria é mais potente e permite integrar outra mais simples, parcial ou totalmente, quando:

- a) tem *maior capacidade de generalização*, porque pode ser aplicada e prever fatos em domínios ou âmbitos que não são cobertos por outra teoria;
- b) tem uma *estrutura conceitual mais complexa*, que permite reinterpretar em termos de interação e relações dentro de um sistema os acontecimentos que outra teoria concebe como isolados ou simplesmente encadeados de forma casual entre si;
- c) tem *maior poder explicativo ou de re-descrição representacional*, dado que, ao ser baseada em um gênero discursivo mais elaborado ou formalizado, permite redescrever em termos de um modelo fatos previstos, mas não explicados, por outra teoria.

Em suma, a produção do conhecimento científico requer construir estruturas conceituais mais complexas a partir de outras mais simples e, provavelmente, estabelecer usos diferenciais para cada um dos contextos de aplicação dessas teorias. Diferentemente do conhecimento cotidiano, que é essencialmente implícito, as teorias científicas têm uma natureza basicamente explícita, de maneira que sua construção requer do aluno uma tomada de consciência ou explicitação das relações entre os modelos interpretativos que a ciência proporciona e suas próprias concepções alternativas. Enquanto no conhecimento cotidiano pensamos *com* as teorias, agir como um cientista significa pensar *nas* teorias (Kuhn, Amsel e O'Loughlin, 1988), de modo que as próprias teorias ou modelos transformam-se em objeto de conhecimento e (meta)representação.

Mas todo esse processo de reestruturação, explicitação e integração hierárquica, mesmo que tenha como meta promover mudanças gerais na estrutura cognitiva dos alunos, deve ir, como assinalamos em mais de uma ocasião, de *baixo para cima*, dos níveis representacionais mais superficiais aos mais profundos, dos cenários concretos às estruturas a partir das quais são analisados, dos fatos aos conceitos, para chegar aos princípios. Somente estudando contextos e situações concretas os alunos podem transcendê-las e chegar a remover o alicerce de suas teorias. Por isso, ainda que o ensino da ciência exija aprofundar as estruturas cognitivas dos alunos com o fim de enriquecê-las e reorganizá-las, o objeto material desse ensino, seu conteúdo imediato a partir do qual organizar esses cenários, devem continuar sendo os *conteúdos conceituais* específicos de cada disciplina científica, a partir dos quais podem e devem ser trabalhadas as diferentes mudanças procedimentais, de atitude e conceituais que é necessário promover para conseguir uma aprendizagem mais eficaz, duradoura e transferível. Por isso, a Parte II deste livro está dedicada a analisar em detalhe os problemas colocados pela aprendizagem da química (Capítulo 6) e da física (Capítulo 7), e também serve para ilustrar como o modelo de construção do conhecimento científico desenvolvido nesta primeira parte se aplica à aprendizagem dos conteúdos específicos de cada uma dessas disciplinas, ajudando a compreender as dificuldades dos alunos e a encontrar caminhos didáticos para superá-las.