

mais próximos dos adolescentes (Pozo e Carretero, 1989). O desenvolvimento do pensamento formal, entendido como o domínio dos processos do pensamento científico, não necessariamente garante, contrariando o suposto piagetiano, a compreensão dos conceitos científicos básicos nem, em resumo, a aplicação correta desses processos de pensamento, em forma de procedimentos ou sequências de ação. Ao contrário do que se podia supor, uma concepção formalista da ciência, como a de Piaget, ou mesmo uma concepção indutivista ou positivista, como a de muitos científicos e professores de ciências que assumem que dominar a "metodologia" da ciência é o único requisito para aprender ciência (Wagensberg, 1993), esse aprendizado requer não apenas mudanças nos procedimentos ou formas de pensamento, mas também nas concepções, nas ideias e nos conceitos utilizados pelos alunos para interpretar os fenômenos que estudam. E essas mudanças não são um resultado automático da aplicação de determinados procedimentos, mas também requerem um ensino específico.

Este é um dado bastante conhecido na pesquisa recente sobre o ensino da ciência, devido às numerosas investigações que foram desenvolvidas sobre as ideias

prévias ou concepções alternativas dos alunos perante muitos e diversos fenômenos científicos. Além de mudar as atitudes e os procedimentos, o ensino da ciência deve promover uma verdadeira *mudança conceitual* nos alunos, o que, mais uma vez, requer estratégias de aprendizagem e ensino específicas. Segundo um velho ditado, estudar a aprendizagem é como pretender que um grupo de cegos conheça como é um elefante. Somente por meio de aproximações sucessivas eles irão formando representações parciais: um deles tocará uma pata, outro a tromba, outro uma presa; cada um terá sua própria ideia do animal, e somente quando as juntarem obterão uma visão aproximada do elefante. A mesma coisa ocorre conosco em relação à aprendizagem da ciência: há muitas partes específicas que é necessário juntar para termos uma visão conjunta, e devemos aceitar que, assim como os cegos e o elefante, somente integrando os diversos componentes da aprendizagem da ciência chegaremos perto de entender suas verdadeiras dimensões. Mas é verdade que, para ser um elefante, a aprendizagem da ciência acabou sendo um elefante bastante complicado.

# 4

## A APRENDIZAGEM DE CONCEITOS CIENTÍFICOS

### Da aprendizagem significativa à mudança conceitual

Se um hotentote deseja que o vento acalme, pega uma de suas peles mais grossas e pendura no extremo de uma vara, na crença de que, ao soprar embaixo da pele, o vento perderá toda sua força e acalmará.

James G. Frazer,  
*O ramo dourado*

O elétron é uma teoria que nós utilizamos; é tão útil para compreender o funcionamento da natureza que quase poderíamos dizer que é um objeto real.

A. E. Feynman,  
*Você está brincando, Sr. Feynman?*

Uma nova teoria não se impõe porque os cientistas se convencem dela, mas porque os que continuam abraçando as ideias antigas vão morrendo pouco a pouco e são substituídos por uma nova geração que assimila as novas ideias desde o começo.

Max Plank

Apesar de os conteúdos que temos analisado nos capítulos anteriores estarem adquirindo um peso crescente nas novas propostas para o ensino da ciência, elas continuam sendo, em sua maioria, articuladas em torno dos conteúdos

conceituais, que permanecem como eixo central da maior parte dos currículos de ciências, não só daqueles que poderíamos chamar de tradicionais, mas, inclusive, em boa parte das propostas renovadoras mais recentes. Durante um certo tempo, os projetos renovadores no ensino da ciência estiveram dirigidos a promover os procedimentos ou processos da ciência (ver, para uma resenha dessa evolução, Caamaño, 1994). Os dados recentes da pesquisa didática, que mencionamos no fim do capítulo anterior, no entanto, mostram que o uso desses procedimentos é eficaz somente quando se dispõe de conhecimentos conceituais adequados. Mas, seguindo tentaremos mostrar neste capítulo, são muitas as pesquisas que mostram que os alunos não possuem esse tipo de conhecimento conceitual, o que levou a reorientar as propostas de pesquisa e inovação didática para a busca da compreensão dos núcleos conceituais básicos da ciência.

Contudo, essas propostas renovadoras, apoiadas em inúmeros dados, assumem que essa compreensão é realmente difícil para os alunos e, portanto, requer estratégias didáticas especificamente projetadas para isso. O principal problema que essa compreensão enfrenta, como veremos

ao longo deste capítulo, é a presença entre os alunos de fortes concepções alternativas aos conceitos científicos que lhes são ensinados, as quais são muito difíceis de modificar e, em alguns casos, sobrevivem a longos anos de instrução científica. Conforme comentávamos na introdução, algumas delas sobrevivem, de uma forma ou de outra, inclusive entre os próprios especialistas na área. Portanto, ainda que sejam um conteúdo *tradicional* na educação científica, os conhecimentos conceituais também requerem uma análise das dificuldades que sua aprendizagem traz, para ajudar-nos a encontrar formas de superá-las.

### OS CONTEÚDOS CONCEITUAIS NO CURRÍCULO: DOS DADOS AOS CONCEITOS

Apesar de, como acabamos de assinalar, os conteúdos conceituais quase sempre terem desempenhado um papel central como eixo estruturador – e possivelmente continuarão desempenhando –, há diversas formas de entender esses conteúdos conceituais ou, caso se prefira, diferentes tipos de conteúdos conceituais, que suscitam diferentes formas de desenvolver

o currículo de ciências, tanto em sua organização quanto nas próprias atividades de ensino, de aprendizagem e de avaliação que compõem o trabalho diário nas salas de aula. De fato, partindo de uma distinção já estabelecida nos currículos (Coll, 1986), podemos diferenciar entre três tipos principais de conteúdos conceituais: os dados, os conceitos e os princípios. Um *dado* ou um fato é uma informação que afirma ou declara algo sobre o mundo. A aprendizagem da ciência requer conhecer muitos dados e fatos concretos, alguns dos quais são apresentados no Quadro 4.1. Alguns desses dados necessários para aprender ciência devem ser ensinados nas salas de aula, mas outros são de conhecimento *público*, resultado, como veremos, da interação cotidiana com os objetos. Não é preciso ensinar às crianças que os objetos que não têm um apoio caem: é um fato que elas conhecem desde uma idade surpreendentemente precoce, desde o berço (Carey e Spelke, 1994).

Porém, uma coisa é ter um dado, conhecer algo como um fato, e outra é dar-lhe sentido ou significado. Compreender um dado requer utilizar *conceitos*, ou seja, relacioná-los dentro de uma rede de significados que explique por que ocorrem

e que consequências eles têm. Os bebês sabem que os objetos soltos caem, mas outra coisa é que saibam interpretar esse fato. Conhecer um dado permite, no momento dos casos, reproduzi-lo (um número de telefone ou a massa atômica do cádmio) ou prevêê-lo (o objeto vai cair ou vai parar, essas nuvens são um presságio de chuva para esta tarde), mas não lhe dar sentido ou o interpretar. Por que a massa não tem influência na velocidade com que os objetos caem? Por que a água evapora? Por que a massa atômica do cobre é maior que a do hidrogênio?

Responder a essas perguntas requer conhecer outros fatos e, sobretudo, outros conceitos, o que faz com que interpretar ou compreender um dado seja mais difícil do que o conhecer. Os fatos ou os dados devem ser aprendidos literalmente, de um modo reprodutivo; não é necessário compreendê-los e, de fato, frequentemente quando são adquiridos conteúdos factuais não há nada que compreender ou não se está disposto ou capacitado para fazer o esforço de compreendê-los. Em geral, o aprendizado factual de conteúdos, como os que são expostos no Quadro 4.1, consiste na aquisição de informação verbal literal (por exemplo, nomes, vocabulários, etc.) ou de informação numérica (por exemplo, aprender a tabuada de multiplicação, saber “de cor”, sem necessidade de fazer o cálculo, qual é o quadrado de 23 ou a raiz cúbica de 32). Alguns destes dados podem ter um significado, podem ser compreendidos. Por exemplo, podemos entender por que existem o dia e a noite se formos capazes de estabelecer certas relações entre os movimentos de rotação e translação da Terra; porém, é mais complexo compreender por que os dias e as noites têm diferentes durações dependendo da época do ano e do lugar do planeta em que estejamos. Contudo, este é um dado que muita gente conhece sem necessidade de aprender

ciência. A ciência proporciona alguns dados novos, às vezes muitos, inclusive demais, mas sobretudo deve proporcionar marcos conceituais para interpretar não apenas esses dados novos, mas também a informação factual que os alunos possuem sem necessidade de estudar ciências, os quais, na sociedade da informação e do conhecimento à qual fazíamos referência no Capítulo 1, são cada vez mais abundantes.

Portanto, pretender que os alunos aprendam a ciência como um conjunto de dados ou como um sistema de conceitos implica formas completamente diferentes de orientar o ensino dela e, por conseguinte, atividades de ensino, aprendizagem e avaliação também completamente diferentes (Pozo, 1992). Como veremos um pouco mais adiante, na verdade ambos os tipos de conhecimento conceitual podem ser considerados complementares, mas seu peso no currículo não pode ser equivalente. Em geral, levando em consideração as metas que apresentávamos para a educação científica no Capítulo 1, o ensino dos conteúdos conceituais tende a estar orientado, hoje em dia, mais para a compreensão do que para a mera acumulação de dados. Mas dentro dessa aprendizagem de conceitos é possível estabelecer, por sua vez, uma diferença entre os princípios ou conceitos estruturais de uma disciplina e os conceitos específicos. Os princípios seriam conceitos muito gerais, com um grande nível de abstração, que geralmente são subjacentes à organização conceitual de uma área, embora nem sempre sejam suficientemente explícitos. Sem necessidade de remontar-nos aos *Principia mathematica* de Newton, conceitos tais como os de conservação e equilíbrio são algo mais que conceitos específicos, pontuais, que podem ser objeto de estudo em uma unidade ou bloco de unidades concretas. São princípios que atravessam todos os conteúdos dessas disciplinas e

#### QUADRO 4.1

Alguns exemplos de fatos ou dados que podem ser aprendidos nas aulas de ciências

As moléculas são formadas por átomos.

O símbolo do cobre é Cu.

As células nervosas, que transmitem as informações, são

A velocidade da luz é de aproximadamente 300 mil km/s.

A temperatura de ebulição da água a uma pressão de 1 atmosfera é de 100°C.

A densidade da água pura a 4°C é 1 g/cm<sup>3</sup>.

O gelo derrete.

O ar não respira e nem respira ambiente.

Uma distância de 1 quilômetro equivale a 1.000 metros.

A aceleração que um corpo experimenta e diminui em 1 m/s<sup>2</sup> a cada segundo que se move sobre ele.

cuja compreensão plena deve ser um dos objetivos essenciais de incluí-los no ensino médio (como tentaremos mostrar no próximo capítulo e, com mais detalhe, nos Capítulos 6 e 7). Difícilmente é possível compreender noções mais específicas sem dominar esses princípios, de maneira que uma das metas últimas seria a assimilação ou construção, por parte dos alunos, desses princípios ou conceitos estruturais, aos quais eles devem ter acesso *pela via* dos conteúdos conceituais específicos das disciplinas, que constituem a lista habitual de conteúdos relativos a conceitos (por exemplo, densidade, energia, combustão, dilatação, etc.). Estes conceitos específicos podem receber um tratamento curricular mais localizado.

Os fatos, os conceitos específicos e os princípios envolvem um gradiente crescente de generalização, de tal maneira que os conteúdos mais específicos deveriam ser o meio para ter acesso aos conteúdos mais gerais, que constituíram propriamente as capacidades que precisam ser desenvolvidas (Pozo, 1999a). Em outras palavras, os diferentes tipos de conteúdos conceituais desempenhariam uma função diferente no currículo e, de algum modo, seriam mutuamente necessários. A meta final deveria ser conseguir uma compreensão dos conteúdos mais abstratos e gerais (neste caso, os princípios), mas isso somente é possível por meio dos conteúdos mais específicos, dos conceitos e dados. O verdadeiro sentido ou significado dos dados e dos conceitos deriva desses princípios, mas eles, por sua vez, só podem ser alcançados com a aprendizagem de dados e conceitos, dos quais nos ocuparemos a seguir. De fato, a própria ideia de relegar o estudo "memorístico" de dados incomoda muitos professores, que não concebem a ciência sem o conjunto de dados nos quais se apoia. Os alunos têm de aprender dados? E, se for assim, como? E para quê?

## OS ALUNOS PRECISAM APRENDER DADOS?

Esta é uma pergunta relevante para muitos professores, que observam como certos fatos e dados, muito queridos por eles, parecem estar sendo relegados à caixa dos conteúdos obsoletos diante da crescente busca de significado de todos os conhecimentos. Quando, em palavras de Garcia Márquez, éramos jovens e indocumentados, todos nós tivemos de aprender, ou pelo menos estudar, intermináveis listas, ladainhas de fórmulas e símbolos químicos, mas também afluentes pela direita e pela esquerda, capitais de países remotos, a maior parte dos quais não existem mais. O que aconteceu com aquele saber verbal? Não tem mais sentido na nossa sociedade? Não estão sendo relegados certos conteúdos básicos para conseguir outros objetivos, como a construção de certos conteúdos conceituais por parte dos alunos, que são dificilmente alcançáveis?

Toda decisão sobre seleção e organização de conteúdos no currículo deve ser tomada em função das metas para as quais esse currículo for dirigido. De nossa parte, tal como argumentamos no Capítulo 1, acreditamos que é preciso situar a educação científica no contexto de uma sociedade em que *sobra* informação e *faltam* marcos conceituais para interpretar-la, de modo que a transmissão de dados não deveria constituir um fim principal da educação científica, que deveria estar dirigida, na verdade, a dar sentido ao mundo que nos rodeia, a compreender as leis e os princípios que o regem. Há, contudo, quem advoque um *retorno ao básico* na educação, ancorado, em muitos casos, no ensino de dados. Argumenta-se, inclusive, que mesmo que os alunos não possam dar sentido a muitos desses dados no momento de aprendê-los, se conseguirem re-

tê-los poderão compreendê-los no futuro. No entanto, se atendermos aos princípios da aprendizagem e da memória, além da nossa própria experiência pessoal, temos de convir que a maior parte dos dados que, quando éramos jovens e indocumentados, aprendemos sem compreendê-los, felizmente foram esquecidos com o passar do tempo. Uma vez que muitos desses dados ou fatos que um dia aprendemos nunca mais foram usados para interpretar ou prever, nossa tendência é esquecê-los (Pozo, 1996a). As leis do esquecimento são, em geral, pouco condescendentes com a aprendizagem factual. Se os alunos têm dificuldades para compreender os conceitos básicos da ciência, têm ainda mais dificuldades para lembrar os dados que não compreendem.

Contudo, embora a transmissão de dados ou de mera informação verbal não seja mais um dos fins essenciais da educação científica, isso não significa que não é necessário ensinar dados. De fato, não é possível ensinar ciência sem dados. O que ocorre é que isso nunca deve ser um fim em si; os dados devem ser um meio, uma via para ter acesso a outras formas de conhecimento conceitual, mais próximas da compreensão. Os dados não se justificam em si mesmos se não promoverem condutas ou conhecimentos significativos, mas em muitos casos são necessários para facilitar esse aprendizado mais significativo. Voltando ao argumento anterior, a aprendizagem de dados é necessária quando eles são *funcionais*, quando servem para facilitar outros aprendizados mais significativos. Vamos examinar um exemplo simples. A aprendizagem verbal da multiplicação deve ter como meta a compreensão do conceito (a multiplicação como operar eficazmente com a multiplicação é preciso, também, adquirir dados (a tabuada de multiplicação)). Não tem sentido que

as crianças aprendam a multiplicar sem compreender o que estão fazendo, mas também não poderão aprender a multiplicar eficazmente sem conhecer os dados relevantes, ou seja, sem aprender de maneira repetitiva, também mal chamada de memorística, a tabuada de multiplicação. Mas a aprendizagem de dados não é, neste caso, uma finalidade em si, senão que deve estar subordinada ao uso que poderá ser feito deles. Assim, a decisão de "até onde" os alunos devem aprender a tabuada de multiplicação (até  $10 \times 10$ ?  $15 \times 15$ ?  $33 \times 33$ ?) deve estar baseada em critérios funcionais. Poderíamos desenvolver um argumento parecido em torno do ensino da tabela periódica na Química. Não deve ser um fim em si, senão que os alunos deverão aprender aqueles símbolos que os ajudem em aprendizados posteriores.

Em nossa opinião, a seleção de conteúdos factuais deve estar subordinada à compreensão e ao uso funcional do conhecimento, e nunca constituir um fim em si. Essa funcionalidade é determinada, em muitos casos, pelo grau em que facilitam a posterior compreensão de conceitos. Mas, às vezes, também o ensino factual de informação verbal está justificado, mesmo que não se apoie na compreensão. Por exemplo, seria insensato supor que somente os alunos que compreenderem adequadamente o funcionamento do sistema imunológico deveriam aprender as condutas que previnem o contágio da AIDS. Ou que apenas aqueles que entendem a balbúrdia química do *efeito estufa* devem aprender quais hábitos e condutas podem ajudar a contê-lo. Nesses e em outros casos, é necessário que os alunos aprendam esses dados, mesmo que não possam interpretá-los (assim como todos nós aprendemos a utilizar um micro-ondas sem entender seu funcionamento). Mas esta não deve ser a meta principal da educação científica, sem perverter sua essência. Como assinala



Claxton (1991), ensinar os conhecimentos científicos como dados, como fatos sem significado para o aluno, axiomas ou princípios não entendidos nem discutidos ("a matéria está composta por átomos separados entre si por um espaço vazio", "o vento é ar em movimento"), transforma a aprendizagem da ciência em uma questão de fé, e os alunos em crentes ou, mais frequentemente, em apóstatas, condenados ao inferno da reprovação; isso quando não ficam no limbo da falta de compreensão. De fato, se os dados ajudam a adquirir conceitos, estes, por sua vez, são a forma mais eficaz de reter dados. Quando a gente compreende dá um sentido às coisas, os dados deixam de ser arbitrários e, portanto, são mais fáceis de reter. Assim ocorre em todos os campos de aprendizagem. Quem entende de futebol, música clássica, informática, termodinâmica ou macramê também retém muito mais dados, que o neófito esquece ou nem sequer percebe. A melhor forma de aprender os fatos da ciência é compreendê-los. O problema é que compreender algo é bastante mais difícil do que repeti-lo e, por conseguinte, ensinar conceitos é mais complexo do que ensinar dados.

#### A COMPREENSÃO DE CONCEITOS: APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA E CONHECIMENTOS PRÉVIOS

Um traço característico da aprendizagem de fatos ou dados, tal como já vimos, é que o aluno deve fazer uma cópia mais ou menos literal ou exata da informação proporcionada e armazená-la em sua memória. De nada vale que aprendamos de cor um número de telefone se erramos em um ou dois números. Este caráter reprodutivo da aprendizagem de dados e fatos faz com que o processo fundamental seja a repetição. Este processo de cega repetição será insuficiente, por outro lado, para

conseguir que o aluno adquira conceitos. Uma pessoa adquire um conceito quando é capaz de dotar de significado um material ou uma informação que lhe é apresentada, ou seja, quando "compreende" esse material; e compreender seria equivalente, mais ou menos, a traduzir algo para as suas próprias palavras. Vamos imaginar que estamos ouvindo uma pessoa falar em um idioma estrangeiro que conhecemos muito pouco; vamos poder dizer que entendemos algo quando conseguirmos traduzi-lo para o nosso próprio idioma; talvez sejamos capazes de repetir literalmente algumas frases nesse outro idioma, som a som, como um gravador, mas não por isso estaremos entendendo o que a pessoa disse. A mesma coisa ocorre com o aluno na sala de aula; ele tem seus próprios modelos ou representações da realidade, e vamos poder dizer que entendemos o conceito de evaporação ou o de seleção natural quando conseguirmos que faça a relação com essas representações prévias, que "traduza" para as suas próprias palavras e sua própria realidade.

Um problema muito comum em nossas salas de aula é que os professores "explicam" ou ensinam "conceitos" (a energia cinética, a ligação covalente, a fotossíntese ou a densidade) que os alunos na verdade aprendem como uma lista de dados que se limitam a memorizar ou reproduzir, no melhor dos casos. Isso ocorre porque a compreensão exige mais do aluno que a mera repetição. Compreender requer pôr em marcha processos cognitivos mais complexos do que repetir. O Quadro 4.2 tenta resumir as principais diferenças entre a aprendizagem de fatos e de conceitos, ou, dito de outro modo, entre a aprendizagem de informação verbal repetitiva e a significativa.

Apesar de as diferenças entre ambos os tipos de conhecimento conceitual serem mais sutis (Pozo, 1992, 1996a), para o tema que aqui nos ocupa bastaria des-

QUADRO 4.2	
Diferenças entre fatos e conceitos como conteúdos da aprendizagem	
Conceito	Fato
Conceito tem	Caráter literal
Esperado	Por instrução (repetição)
É adquirido	De uma vez
Esquecido	Reaprendido, com o visto
	Para 1992
	Conceito
	Relacionado com materiais autênticos
	Por compreensão (significado)
	Gradualmente
	Fora do laboratório

tacar que os fatos e os dados são aprendidos de modo literal, consistem em uma reprodução exata, na qual o aprendiz não contribui com nada além do esforço de repetir, enquanto os conceitos são aprendidos estabelecendo relações com os conhecimentos prévios que se possui. Assim, a aquisição de fatos e dados tem um caráter de tudo ou nada. Ou o aluno sabe qual é o símbolo químico do cádmio ou não sabe. Em compensação, sobre os conceitos não se sabe "tudo ou nada", senão que é possível entendê-los em diferentes níveis. Enquanto o aprendizado de fatos somente admite diferenças "quantitativas" ("sabe" ou "não sabe"), o aprendizado de conceitos é caracterizado pelos matizes qualitativos (não se trata tanto de saber se o aluno compreende ou não, mas de "como" compreende). Esta será uma característica muito importante da aprendizagem de conceitos a ser considerada na avaliação. Se é necessário expor atividades diferenciadas para ensinar fatos e conceitos (ver Garcia Madruga, 1990; Pozo, 1992), igualmente importante é diferenciar, na avaliação, quando o aluno aprendeu algo como um fato e quando como um conceito. De modo muito resumido, o Quadro 4.3 sugere algumas precauções que podem ser tomadas na avaliação para impedir que a aprendizagem de conceitos seja tratada como uma aprendizagem de fatos.

A maior parte dessas ideias está dirigida a avaliar a aprendizagem conceitual com critérios abertos ou flexíveis, em vez de fazê-lo em termos de respostas corretas ou incorretas. O aprendizado de fatos ou de dados é um processo que não admite graus intermediários; se não estão dadas as condições adequadas (de motivação, prática e quantidade restrita de material), não se aprende. Por outro lado, o processo de compreensão é gradual; é praticamente impossível conseguir uma compreensão ótima (similar à que teria um especialista) na primeira vez em que nos deparamos com um problema (por exemplo, entender como funciona um micro-ondas ou como ocorre a combustão). Se dirigirmos nossos esforços para a compreensão e não apenas para o aprendizado de dados (por exemplo, quanto tempo é preciso cozinhar o macarrão ou as verduras ou quais substâncias são inflamáveis e quais não), pouco a pouco vamos compreendendo que tipo de materiais podemos usar com o micro-ondas e como devemos usá-los, ou quais precauções devemos ter ao aquecer um líquido determinado. Cada novo ensaio ou tentativa pode nos proporcionar uma nova compreensão do fenômeno um pouco mágico do cozimento no micro-ondas ou nos ajudar a entender que, no caso da combustão do álcool, é melhor não fazer nenhum ensaio. Este caráter

## QUADRO 4.3

Alguns critérios para diferenciar entre fatos e conceitos durante o processo de avaliação

... a teoria pedagógica e filosófica que permeia a avaliação, especialmente em sua ênfase a respeito da forma de avaliação, do elemento de fundo nos instrumentos e procedimentos de aprendizagem, da validade, da validade de aplicação e da validade de uso, pelo menos em alguns aspectos, avaliando o aluno que aprendeu, não o conteúdo aprendido, mas o processo de aprendizagem, o processo de avaliação, o processo de aplicação e o processo de uso.

... a avaliação deve ser feita por pessoas que tenham conhecimento de sua metodologia, especialmente em sua aplicação e em sua validade, especialmente em sua validade de aplicação e em sua validade de uso, especialmente em sua validade de aplicação e em sua validade de uso, especialmente em sua validade de aplicação e em sua validade de uso.

... a avaliação deve ser feita por pessoas que tenham conhecimento de sua metodologia, especialmente em sua aplicação e em sua validade, especialmente em sua validade de aplicação e em sua validade de uso, especialmente em sua validade de aplicação e em sua validade de uso.

... a avaliação deve ser feita por pessoas que tenham conhecimento de sua metodologia, especialmente em sua aplicação e em sua validade, especialmente em sua validade de aplicação e em sua validade de uso, especialmente em sua validade de aplicação e em sua validade de uso.

(Pozo, 1998)

gradual da compreensão tem consequências importantes para a seleção e para o sequenciamento dos conteúdos conceituais no currículo. Se, por exemplo, o aluno estuda a combustão no ensino fundamental e no ensino médio a estrutura novamente, é preciso estabelecer níveis de exigência diferentes em uma e em outra etapa educacionais. Mesmo que em ambos os casos estude o mesmo conceito e ocorra uma aproximação desejável entre ambos, os conteúdos não podem nem devem ser os mesmos.

Finalmente, os fatos e os conceitos não diferem somente na maneira como são aprendidos, mas também na maneira como são esquecidos. Como assinalávamos antes, o que aprendemos como dado tende a ser esquecido facilmente, assim que deixamos de revisar ou praticar. Esqueçamos o número de telefone do restaurante assim que deixamos de frequentá-lo, ou o símbolo químico do laurêncio assim que alguém deixa de nos perguntar insistentemente por ele. Em compensação, esquecemos aquilo que compreendemos de maneira bem diferente. Talvez com o tempo uma parte vá se apagando e nossa compreensão se torne difusa e de-

formada, mas considerando os princípios que regem a memória ou a recuperação do conhecimento aprendido, o esquecimento não é tão repentino nem tão total quanto na aprendizagem de dados (Pozo, 1996a).

Todas essas características fazem com que a aprendizagem de conceitos seja mais eficaz e duradoura do que a aprendizagem de dados, mas também a tornam mais exigente. Seus resultados são melhores, mas as condições para que se ponha em marcha também são mais difíceis. Como mostrou Ausubel em sua teoria sobre a aprendizagem significativa (Ausubel, Novak e Hanesian, 1978), devem ser cumpridas certas condições para que ocorra a compreensão (ver Figura 4.1)<sup>1</sup>.

<sup>1</sup> A teoria de Ausubel sobre a aprendizagem significativa pode ser encontrada, desenvolvida por extensão, em Ausubel, Novak e Hanesian (1978) ou em Novak (1977). Apresentações mais resumidas e críticas podem ser encontradas em García Madruga (1990) e em Pozo (1969). Aplicações dessa teoria no ensino da ciência são encontradas em Gutiérrez (1987) e em Moreira e Novak (1988). Finalmente, para uma teoria mais atual e complexa da compreensão, veja Kintsch (1998).

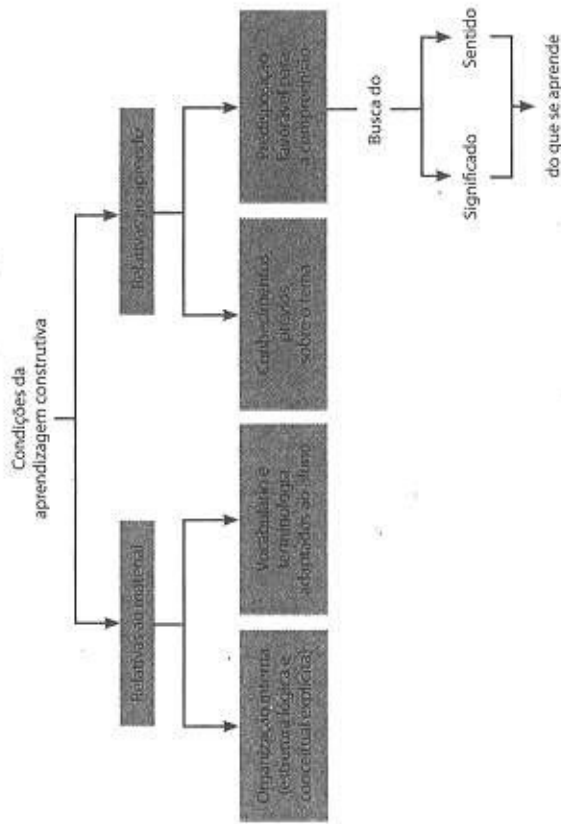


Figura 4.1

Condições ou requisitos para que ocorra uma aprendizagem construtiva. Ausubel, Novak e Hanesian, 1978

Começando pelas características que o material de aprendizagem deve ter para que possa ser compreendido, a principal exigência é que tenha uma organização conceitual interna, ou seja, que não consista em uma lista arbitrária de elementos justapostos. Quando aprendemos um número de telefone, não existe uma relação lógica entre um número e o seguinte, pois a relação entre eles é arbitrária ou casual. Por isso, não é muito sensato perguntar-se por que uma pessoa tem esse número de telefone e não outro. Não há nada para compreender em um número de telefone, é algo arbitrário. A mesma coisa ocorre com alguns materiais de aprendizagem, que embora possam ter uma certa lógica interna (por exemplo, as instruções para programar o vídeo ou para usar um processador de textos), são apresentados como uma mera lista de ações, sem que se explicita a lógica que as rege. Enquanto a

limitação mais importante do aprendizado repetitivo de dados seria a quantidade de material apresentado, as restrições para a compreensão dependem mais da organização interna desse material. Só poderão ser compreendidos aqueles materiais que estejam internamente organizados de forma que cada elemento de informação tenha uma conexão lógica ou conceitual com outros elementos, como, por exemplo, a relação entre os símbolos químicos e as iniciais dos nomes em espanhol ou latim; ou, em um nível superior de significado, a organização da tabela periódica não como uma lista arbitrária de elementos, mas como um mapa da estrutura atômica da matéria.

Além de requerer que o material de aprendizagem tenha uma estrutura conceitual explícita, convém que a terminologia e o vocabulário empregado não sejam excessivamente novos nem difíceis para

o aprendizado. Mas, sobretudo, o material não apenas deve estar organizado em si; ele deve estar organizado para alunos, cujos conhecimentos prévios e motivação devem ser levados em consideração. Para que um aprendiz compreenda um material, convém que tenha uma *atitude* favorável à compreensão, o que, como vimos no Capítulo 2, será mais provável se aquilo que mobiliza ou impulsiona o aprendizado do aluno é a motivação intrínseca ou o desejo de aprender, e não a motivação extrínseca ou a busca de recompensas. Em geral, a compreensão requer uma prática mais contínua e, em resumo, mais recursos cognitivos, mais esforço do que simplesmente repassar o material (Alonso Tapia, 1995; Novak & Gowin, 1984; Pozo, 1996a). Compreender algo requer maior envolvimento pessoal, maior compromisso com o aprendizado, do que seguir cegamente alguns passos marcados, obedecendo o mandato de algumas instruções.

O aluno que tenta compreender a explicação de seu professor ou o significado de um dado obtido ao pesquisar a oscilação do pêndulo, tal como vimos no capítulo anterior, tanto quanto o leitor que tenta compreender o sentido deste parágrafo ou deste livro, está realmente *construindo* seu próprio livro ou seu próprio parágrafo, sua própria compreensão da explicação ou do pêndulo, que em algum sentido, por mínimo que seja, será diferente de qualquer outra compreensão alcançada por outra pessoa ou, inclusive, pelo próprio aluno ou leitor em outro momento, porque toda tentativa de dar significado apoia-se não apenas nos materiais de aprendizagem, mas nos *conhecimentos* prévios ativados para dar sentido a esses materiais. Esta é outra condição para que ocorra um aprendizado significativo segundo Ausubel. Nada melhor para ilustrá-lo do que tomar um texto retirado de uma obra de "divulgação científica" bastante conhecida, a *História do tempo*, de

Stephen Hawking (1988, p. 158), em que o autor pretende explicar a teoria do *big-bang* sobre a origem do universo:

Em torno de 100 segundos depois do *big-bang*, a temperatura teria caído para mil milhões de graus, que é a temperatura no interior das estrelas mais quentes. Nesta temperatura, prótons e nêutrons já não teriam energia suficiente para vencer a atração da interação nuclear forte, e teriam começado a combinar-se, juntando-se, para produzir os núcleos de átomos de deutério (hidrogênio pesado), que contém um próton e um nêutron. Os núcleos de deutério teriam se combinado, então, com mais prótons e nêutrons para formar núcleos de hélio, que contém dois prótons e nêutrons e também pequenas quantidades de dois elementos mais pesados, lítio e berílio.

Apesar da tentativa de divulgação – e de que, sem dúvida, o texto possui uma lógica interna –, é óbvio que sem consideráveis conhecimentos prévios sobre química e astrofísica, e mesmo com eles, o texto pode ser tão obscuro e denso quanto um buraco negro. Para que haja aprendizado significativo é necessário que o aprendiz possa relacionar o material de aprendizagem com a estrutura de conhecimentos de que já dispõe. Dessa forma, a compreensão de uma explicação ou do texto anterior – seu significado – não depende somente do autor ou do texto em si, mas também do leitor, do aluno, de seus conhecimentos conceituais prévios. Cada leitor *constrói* seu próprio livro, assim como cada espectador constrói seu próprio filme ou cada aluno constrói sua própria física, sua própria química ou sua própria biologia.

Portanto, sempre que uma pessoa tenta compreender algo – seja um aluno que tenta compreender a transformação de um líquido em um gás ou seu professor perguntando-se por que esse mesmo alu-

no não compreende a natureza corpuscular da matéria – precisa ativar uma *ideia* ou conhecimento *prévio* que sirva para organizar essa situação e dar-lhe sentido. Contudo, a *ativação* de conhecimentos prévios, mesmo sendo necessária para a compreensão, não garante um aprendizado adequado dos novos conceitos apresentados. O objetivo do aprendizado significativo é que, na interação entre os materiais de aprendizagem (o texto, a explicação, a experiência, etc.) e os conhecimentos prévios ativados para dar-lhe sentido, esses conhecimentos prévios sejam modificados, fazendo surgir um novo conhecimento; contudo, com maior frequência do que a explicação ausubeliana, do aprendizado significativo faria supor, quando os alunos tentam compreender uma nova situação a partir de seus conhecimentos prévios, o que *muda* é essa nova informação, que é interpretada em termos dos conhecimentos prévios, sem que eles sofram praticamente nenhuma modificação.

Este é um dos problemas fundamentais para a aprendizagem da ciência, que abordaremos em detalhe no próximo capítulo. Os alunos, como qualquer um de nós, interpretam qualquer situação ou conceito que lhes for apresentado a partir de seus conhecimentos prévios, sua física, química ou biologia pessoal ou intuitiva. E, como consequência disso, o ensino da ciência praticamente não muda esses conhecimentos prévios, a partir dos quais os alunos interpretam os conceitos científicos que lhes são ensinados, visto que, em vez de reinterpretar seus conhecimentos prévios em função dos conceitos científicos, costumam fazer o contrário: assimilar a ciência aos seus conhecimentos cotidianos. Assim, quando estudam a noção newtoniana de força, assimilam-na à sua ideia intuitiva de força, que vem a ser o agente causal de todo movimento, e em vez de modificar esta ideia, dão um senti-

do diferente a todos os conceitos da mecânica clássica (força, movimento, inércia, etc.), o que torna impossível uma compreensão adequada desses conceitos. Como veremos no Capítulo 7, os *princípios* ontológicos, epistemológicos e conceituais a partir dos quais os alunos elaboram sua física intuitiva – todo movimento implica uma causa, as relações causais são lineares e unidirecionais – são radicalmente diferentes daquelas subjacentes à física que lhes é ensinada – o movimento não precisa ser explicado, mas, sim, a mudança em sua quantidade, ele é produto de uma interação dentro de um sistema de forças –, o que torna a compreensão muito difícil. A mesma coisa ocorre no caso da química. Quando se explica ao aluno a noção de movimento intrínseco das partículas, ele assimila isso à sua própria concepção intuitiva, de modo que acaba assumindo que as partículas se movimentam somente quando apresentam um movimento aparente, como no caso dos gases e de alguns líquidos, mas não quando sua aparência é estática (Gómez Crespo, 1996; também Capítulo 6), o que o impede de compreender a teoria cinético-molecular, uma vez que, novamente, esta teoria apoia-se em princípios (interação, sistema, equilíbrio) muito afastados daqueles que implicitamente são subjacentes às suas próprias intuições (não há movimento sem causa, as causas atuam linear e unidirecionalmente, etc.).

De fato, a resistência dos conhecimentos prévios a modificar-se como consequência da instrução e a tendência a assimilar os aprendizados escolares às próprias intuições foram objeto de inúmeras pesquisas nos últimos anos no âmbito da didática das ciências e constituem, sem dúvida nenhuma, o enfoque de estudo atualmente predominante. O interesse deslocou-se das condições e dos processos do aprendizado significativo para a natureza e os conteúdos desses conhecimentos



prévios e para a forma como eles podem ser modificados. A aprendizagem significativa deu lugar ao estudo da *mudança conceitual*, entendida como a modificação desses conhecimentos prévios dos alunos.

A pesquisa sobre os conhecimentos prévios dos alunos, sua física, química ou biologia intuitiva, desenvolveu-se consideravelmente nos últimos 20 anos. Hoje, temos dados abundantes sobre as concepções que os alunos possuem para interpretar grande parte dos fenômenos e conceitos estudados nas diversas áreas da ciência. De fato, o número de estudos já é enorme (Pfundt e Duit, 1994) e há, inclusive, diversos *catálogos* ou monografias sobre as ideias dos alunos nessas áreas, nos quais é possível encontrar uma descrição detalhada das concepções mantidas por eles e das técnicas que podem ser utilizadas para estudá-las ou avaliá-las (por exemplo, Driver, Guesne e Tiberghien, 1985; Driver et al., 1994; Hierrezuelo e Montero, 1991; Osborne e Freyberg, 1985; Pozo et al., 1991; ou também, de modo sintetizado, o número 7 da revista *Alambique*, dedicado monograficamente às ideias dos alunos sobre a ciência e sua influência no aprendizado).

Além dessas recopilações ou catálogos de ideias, foram feitas diversas tentativas de caracterizar essas concepções, de interpretá-las (por exemplo, Black e Lucas, 1993; Chi, 1992; Furió, 1996; Wandersee, Mintzes e Novak, 1994; Pozo, 1996b; Pozo et al., 1992; Vosniadou, 1994a). Estas diversas interpretações, apesar de apresentarem traços em comum, como sua adscrição ao enfoque construtivista da educação, diferem em muitos pontos essenciais. Para começar, não entram em acordo sequer quanto ao *nome da coisa*. Há mais de 10 anos Giordan e De Vecchi (1987) encontraram 28 formas diferentes de identificar esses conhecimentos prévios dos alunos. Desde então, certamente floresceram outras tantas maneiras, que

refletiram, possivelmente, outras tantas formas de interpretá-las.<sup>2</sup> De fato, as características que foram atribuídas a essas ideias ou concepções variam levemente de um autor para outro. Contudo, em geral assume-se que se trata de concepções muito *persistentes* (elas mantêm-se mesmo após muitos anos de instrução), *generalizadas* (são compartilhadas por pessoas de diversas culturas, idades e níveis educacionais), de caráter mais *implícito* do que explícito (os alunos as utilizam, mas muitas vezes são incapazes de verbalizá-las), relativamente *coerentes* (uma vez que o aluno as utiliza para enfrentar situações diversas) e em alguns casos guardam uma notável *semelhança* com concepções já superadas na própria história das disciplinas científicas.

Contudo, nem todas as concepções estudadas apresentam essas características na mesma medida; inclusive, no caso de algumas é mesmo improvável que seja possível atribuir-lhes a maior parte delas. Por isso, em vez desta caracterização global, tentaremos uma análise pormenorizada,

<sup>2</sup> Na verdade, essas diversas denominações não são intercambiáveis entre si. Assim, quando se fala de ideias ou conceitos prévios, isto equivale a colocar o acento em que eles antecedem a verdadeira aprendizagem; por sua vez, quando são denominadas ciência intuitiva, está sendo destacada sua entidade epistemológica. Um dos nomes mais comuns da coisa há alguns anos, "concepções errôneas", caiu, afortunadamente, em desuso, ao mesmo tempo em que entrava em crise o modelo de mudança conceitual por conflito cognitivo que o sustentava, o qual, como veremos no próximo capítulo, estava dirigido a erradicar ou substituir essas concepções errôneas por outras cientificamente corretas. De nossa parte, apesar dessas nuances, e estudando os rótulos com significado ainda mais duvidoso, utilizaremos genericamente os termos "concepções alternativas" ou "conhecimentos prévios" como sinônimos, embora na próxima seção, ao analisar os diversos níveis representacionais nos quais podem ser analisadas estas concepções, vamos nos referir a elas também como "teorias implícitas", dando a esse termo um sentido preciso.

zada da *ciência intuitiva* dos alunos. Assim, nas páginas que ainda restam deste capítulo tentaremos indagar a natureza e a origem dessas concepções alternativas, procurando compreender por que são tão resistentes a qualquer mudança conceitual. No próximo capítulo, vamos nos centrar nos mecanismos por meio dos quais é possível fomentar essa mudança, que formam, junto com a mudança de atitudes e procedimentos das quais nos ocupamos em capítulos anteriores, um modelo de aprendizado/ensino das ciências baseado na integração e reestruturação desses conhecimentos prévios no marco das teorias científicas. Os capítulos seguintes desenvolvem ou ilustram esse modelo no aprendizado da química (Capítulo 6) e da física (Capítulo 7).

## A ORIGEM DAS CONCEPÇÕES ALTERNATIVAS

Talvez alguns leitores estejam pensando que os problemas identificados no aprendizado de procedimentos e atitudes em capítulos anteriores já eram obstáculos suficientes para o ensino da ciência e que não era preciso ter de lutar também com a existência de concepções alternativas firmemente arraigadas e opostas ao conhecimento científico estabelecido. Talvez, nestas alturas, a crise da educação científica que foi descrita no primeiro capítulo comece a adquirir aparência de catástrofe, e algum leitor talvez já esteja se perguntando não por que os alunos não aprendem ciência, senão como é possível que às vezes aprendam. De fato, o panorama não é tão denso. As concepções alternativas não são um problema a mais, e sim uma outra manifestação do mesmo problema, que tem dimensões atitudinais, procedimentais e conceituais: a desconexão entre o conhecimento que os alunos geram para dar sentido ao mundo que os

rodeia, um mundo de objetos e pessoas, e o conhecimento científico, infestado de estranhos símbolos e conceitos abstratos referentes a um mundo mais imaginário do que real. Enquanto o conhecimento conceitual que os alunos trazem para a aula – e com ele suas atitudes e procedimentos – refere-se ao mundo cotidiano, um *mesocosmos* traçado pelas coordenadas espaço-temporais do aqui e agora, a ciência que lhes é ensinada transcorre mais na "realidade virtual" do *microcosmos* (células, partículas e outras entidades mágicas e não observáveis) e do *macrocosmos* (modelos idealizados, baseados em leis universais, não vinculados a realidades concretas, mudanças biológicas e geológicas que são medidas em milhares, em milhões de anos, sistemas em interação complexa, etc.). Somente uma relação entre esses diferentes níveis de análise da realidade, baseada justamente em sua diferenciação, pode ajudar os alunos a compreender o significado dos modelos científicos e, é claro, a interessar-se por eles. Para isso, é necessário compreender como os alunos se aproximam desse mundo de objetos e pessoas que se agitam ao seu redor, mostrando que essa aproximação requer não apenas procedimentos e atitudes, mas também conceitos bem diferentes dos exigidos pelo aprendizado da ciência.

De fato, a existência de ideias ou concepções prévias bastante arraigadas não é algo que afete exclusivamente os alunos e o aprendizado da ciência. Apesar de, talvez, esta ser a área em que essas ideias mais têm sido pesquisadas, todos nós possuímos ideias ou teorias informais sobre todos aqueles domínios do *mesocosmos* que afetam nossa vida cotidiana. Não apenas há uma física, uma química ou uma biologia intuitivas. Há também um conhecimento informal sobre o mundo social e histórico (Carretero, Pozo e Asensio, 1989; Carretero e Voss, 1994; Rodrigo, 1994), uma matemática intuitiva

(Kaheman, Slovic e Tversky, 1982; Pérez Echeverría, 1994; Resnick e Ford, 1981), um conhecimento intuitivo ou implícito no uso das tecnologias (Norman, 1988) ou na produção artística (Gardner, 1982; Eisner, 1985), para não falar da psicologia intuitiva que todos, professores e alunos, utilizam para dar sentido à sua prática cotidiana nas aulas e que é tão resistente à mudança – talvez até mais – quanto a física ou a química intuitivas (por exemplo, Pozo e Scheuer, 1999; Pozo et al., 1998).

Em qualquer domínio que seja relevante para nós, por afetar nossa vida cotidiana, teremos ideias que nos permitem prever e controlar os acontecimentos, aumentando nossa adaptação a eles. Essas funções de prever e controlar o entorno imediato têm um alto valor adaptativo em todas as espécies, mas se multiplicam nos seres humanos graças à aprendizagem e à cultura (Pozo, 1996a). De fato, podemos dizer, de acordo com a psicologia evolutiva, que esta necessidade de prever e controlar começa no berço. Segundo hipóteses muito recentes e sugestivas, os bebês já dispõem, praticamente a partir do nascimento, de verdadeiras ideias ou teorias sobre o mundo dos objetos e das pessoas (Karmiloff-Smith, 1992). Inclusive há quem acredite que eles já “nascem sabendo” muitas dessas ideias (Mehler e Dupoux, 1990), ainda que isso possa suscitar algum debate (Pozo, 1994). O que está fora de dúvida é que para prever e controlar o movimento dos objetos compõem seu *mesocosmos* os bebês precoces de teorias que possam prever e controlar sua conduta. Por isso, também não é estranho que, sem necessidade de instrução formal e, inclusive, praticamente sem ajuda cultural, as pessoas estejam dotadas desde muito cedo para aprender sobre o mundo e extrair conhecimentos sobre ele, recorrendo a mecanismos de *aprendizagem implícita* (Berry, 1997; Pozo, 1996a; Reber, 1993) que nos permitem detectar

e extrair as regularidades que existem em nosso *mundo sensorial* e que constituem a primeira e mais sistemática fonte na origem das nossas concepções espontâneas a respeito do mundo. Contudo, outras concepções têm uma *origem cultural*, uma vez que são formatadas nos jogos de linguagem próprios de cada cultura. Finalmente, outras ideias surgem nas salas de aula, e outras *origem escolar* no uso mais ou menos acertado de metáforas e modelos que acabam impregnando o pensamento dos alunos. As concepções deles têm, portanto, uma origem sensorial, cultural e escolar que determina em boa medida a natureza representativa dessas ideias (Pozo et al., 1991; Russell, 1993).

#### Origem sensorial: as concepções espontâneas

Boa parte dessas concepções alternativas seriam formadas de modo espontâneo, na tentativa de dar significado às atividades cotidianas, e seriam baseadas essencialmente no uso de regras de inferência causal aplicadas sobre dados colhidos – no caso do mundo natural – por meio de processos sensoriais e perceptivos. Cada vez que enfrentamos um novo acontecimento, ou seja, algo moderadamente discrepante das nossas expectativas, iniciamos uma procura causal com a finalidade de encontrar informação que nos permita prever e controlar esse acontecimento. A origem dessas buscas é sempre um *problema* (tal como foi caracterizado no Capítulo 3). Nem toda situação imprevisível é um problema; é necessário, também, que tenha uma certa relevância, uma influência em nossa vida cotidiana ou um interesse particular para quem alguém viva uma situação como um problema (Pozo e Gómez Crespo, 1994). Quando isso ocorre, quando um objeto não se comporta como esperamos, quan-

do ocorre esse imprevisto, em nossa vida cotidiana costumamos recorrer a certas regras simplificadoras que identificam as causas mais prováveis e frequentes, reduzindo a complexidade do mundo sensorial a alguns poucos elementos destacados, eliminando o *ruído* de tantos fatores irrelevantes.

Em vez de fazer uma análise sistemática e rigorosa de possíveis variáveis, como faríamos se estivéssemos desenvolvendo uma pesquisa científica, reduzimos o espaço de busca por meio de um atalho cômodo, que nos facilita uma solução aproximada. Embora essas regras tenham um alto valor adaptativo (proporcionam soluções imediatas e frequentemente acertadas com um escasso esforço cognitivo), às vezes levam a erros ou “falsas soluções”, como mostram os exemplos de concepções alternativas apresentados no Quadro 4.4 como exemplo das regras associativas que regem nosso pensamento causal cotidiano (Pozo, 1987):

- A *semelhança* entre causa e efeito ou entre a realidade que observamos e o modelo que a explicaria.
- A *contiguidade espacial* e, se for possível, o contato físico entre causa e efeito.
- A *contiguidade temporal* entre a causa e o efeito, que devem suceder-se de modo próximo não apenas no espaço, mas também no tempo.
- A *covariação qualitativa* entre causa e efeito. As variáveis relevantes serão aquelas que ocorram sempre que se produz o efeito.
- A *covariação quantitativa* entre causa e efeito, de modo que um aumento da causa produza um aumento proporcional do efeito, e vice-versa.

Essas regras estariam muito vinculadas ao funcionamento do sistema cognitivo humano como processador de informa-

ção com recursos limitados (por exemplo, atencionais) e que, portanto, restringe o espaço de busca perante uma situação de incerteza. Normalmente, funcionaríamos de modo mecânico ou inconsciente, teríamos uma natureza implícita e coincidiriam basicamente com as leis da aprendizagem associativa (Pozo, 1989, 1996a). Seriam regras *heurísticas*, aproximativas, com um caráter probabilístico, e não exato, que utilizaríamos com a finalidade de simplificar as situações e aumentar nossa capacidade de previsão e controle sobre elas, apesar de terem um escasso poder explicativo, uma vez que se limitam a *descrever seqüências prováveis* de acontecimentos.

Apesar de que possivelmente seriam utilizadas em todos os domínios do conhecimento, aparecem principalmente em nossas teorias sobre o funcionamento do mundo natural. Como vemos nos exemplos do Quadro 4.4, boa parte da nossa física e química intuitivas, mas também das nossas ideias sobre a saúde e a doença, apoiam-se neste tipo de regras. Um traço característico delas é que apresentam uma universalidade maior, através de culturas e idades, que os outros tipos de ideias que serão analisadas a seguir. Outro traço característico é que geralmente são conhecimentos mais implícitos do que explícitos. Muitas vezes é algo que sabemos fazer, mas dificilmente dizer, verbalizar. Boa parte das ideias dos alunos não são conhecimentos conceituais, mas “teorias em ação”, regras de atuação, verdadeiros procedimentos (Karmiloff-Smith, 1992; Pozo et al., 1992).

#### Origem cultural: as representações sociais

Diferentemente das regras que acabamos de analisar, estas concepções teriam sua origem não tanto na interação direta, sensorial, com o mundo, mas no



## QUADRO 4.4

Alguns exemplos da utilização de heurísticas ou regras simplificadoras na formação das concepções espontâneas

Regra	Exemplos
Espalhava-se sobre a água o objeto	Se o objeto afunda, o líquido aumenta e o objeto afunda mais. Se o objeto flutua, o líquido diminui e o objeto afunda menos. Se o objeto afunda, o líquido diminui e o objeto afunda menos. Se o objeto flutua, o líquido aumenta e o objeto afunda mais. Se o objeto afunda, o líquido aumenta e o objeto afunda mais. Se o objeto flutua, o líquido diminui e o objeto afunda menos.
Contingência causal	Se o objeto afunda, o líquido aumenta e o objeto afunda mais. Se o objeto flutua, o líquido diminui e o objeto afunda menos. Se o objeto afunda, o líquido diminui e o objeto afunda menos. Se o objeto flutua, o líquido aumenta e o objeto afunda mais. Se o objeto afunda, o líquido aumenta e o objeto afunda mais. Se o objeto flutua, o líquido diminui e o objeto afunda menos.
Extrapolação espacial	Se o objeto afunda, o líquido aumenta e o objeto afunda mais. Se o objeto flutua, o líquido diminui e o objeto afunda menos. Se o objeto afunda, o líquido diminui e o objeto afunda menos. Se o objeto flutua, o líquido aumenta e o objeto afunda mais. Se o objeto afunda, o líquido aumenta e o objeto afunda mais. Se o objeto flutua, o líquido diminui e o objeto afunda menos.
Generalização causal	Se o objeto afunda, o líquido aumenta e o objeto afunda mais. Se o objeto flutua, o líquido diminui e o objeto afunda menos. Se o objeto afunda, o líquido diminui e o objeto afunda menos. Se o objeto flutua, o líquido aumenta e o objeto afunda mais. Se o objeto afunda, o líquido aumenta e o objeto afunda mais. Se o objeto flutua, o líquido diminui e o objeto afunda menos.

científicas, ao divulgar-se, ficam reduzidas a certos esquemas simplificados, usualmente reduzidos a uma imagem, de naturalização (que levam a que essas concepções, em vez de serem concebidas como construções sociais, passem a fazer parte da realidade) e de interiorização ou assimilação (por meio dos quais cada indivíduo se apropria desses produtos culturais, tornando-os seus) - para mais detalhes desses processos, ver Paéz e colaboradores, 1987; Rodrigo, Rodríguez e Marrero, 1993.

Em resumo, ao transformar-se em conhecimento social, ao tomarem-se públicos, esses conceitos adaptam-se aos esquemas e regras de conhecimento simplificados que acabamos de analisar. De fato, esses modelos estão bastante vinculados às regras anteriores (na medida em que significativamente tendem a respeitá-las), mas sua origem é mais linguística e cultural, o que faz com que, ao contrário das anteriores, muitas vezes possam ser verbalizados com mais facilidade. Em compensação, é mais difícil transformá-los em pautas de ação. São modelos muito frequentes em certas áreas do conhecimento biológico que são culturalmente significativas, mais próximas das dimensões do mesocosmos (ideias sobre saúde e doença, nutrição, reprodução, mas também as relações com o meio ambiente, o clima, etc.).

Outro traço característico da aprendizagem da ciência em nossa sociedade, como vimos no primeiro capítulo, é que em vez de ter que procurar ativamente informação para alimentar nossa ânsia de prever e controlar, estamos sendo empanurrados, sobrealimentados com informação. Em nossa cultura, a informação flui de modo muito mais dinâmico, mas também muito menos organizado. O aluno é bombardeado por diversos canais de comunicação que proporcionam, praticamente sem qualquer filtro, conhecimentos supostamente científicos que, contudo,

entorno social e cultural, de cujas ideias o aluno estaria impregnado. A cultura é, entre muitas outras coisas, um conjunto de crenças compartilhadas por alguns grupos sociais, de maneira que a educação e a socialização teriam entre suas metas prioritárias a assimilação dessas crenças por parte dos indivíduos. Dado que o sistema educacional não é, hoje em dia, o único veículo - às vezes, sequer é o mais importante - de transmissão cultural, os alunos chegariam às salas de aula com crenças socialmente induzidas sobre inúmeros fatos e fenômenos. Há certos modelos, como o modelo do contágio na transmissão de doenças, ou os modelos de gasto e consumo (de energia, de recursos naturais, etc.), que aparecem de modo recorrente em nossa cultura, seja por transmissão oral, seja apresentados pelos meios de comunicação, que na sociedade da informação desempenham uma função cada vez mais relevante na difusão de certas concepções alternativas, seja em sua tentativa de divulgação ou, inclusive, por meio da publicidade que nos oferece detergentes com *biolcool* ou geladeiras com *frigorías*.

Também há conceitos que possuem um significado diferente na linguagem cotidiana e nos modelos científicos. Assim, os conceitos de calor e temperatura são utilizados na vida cotidiana quase como sinônimos, enquanto seu significado para a ciência é muito diferente. Ou, como vemos no Capítulo 7, a energia é utilizada na vida cotidiana com um significado diverso, mas assumido por todos, que é bem diferente do nítido significado que este conceito tem para a física.

O estudo das representações sociais realizado por psicólogos sociais como Moscovici (1976; Farr e Moscovici, 1984) sugere de que maneira esses tipos de concepções culturais são difundidas e adquiridas, por meio de processos de esquematização (que levam a que as teorias

podem ser pouco congruentes entre si. Nesse sentido, caberia esperar que a escola, em vez de se considerar como a única fonte de informação científica, servisse para integrar ou reinterpretar essas diversas fontes, permitindo, também, um uso mais discriminativo ou reflexivo delas. A aceitação acrítica de toda informação científica apresentada por canais de divulgação pode produzir mais ruído ou confusão do que conhecimento, quando não se sabe filtrar de maneira adequada essa informação por meio dos conhecimentos conceituais e procedimentais adequados. Assim, o aluno habituado a escutar que os detergentes têm bioenzimas ou a assistir fascinantes espetáculos audiovisuais, guerras galácticas nas quais se escutam em som estereofônico explosões no espaço vazio interestelar, pode precisar que a escola proporcione uma reinterpretação dessas informações questionáveis, e não do desprezo do mundo acadêmico pela trivialidade e pelo engano dessa cultura *fast-food*. A escola deve ajudar a reconstruir o saber cultural, mas, em vez disso, frequentemente não é mais do que uma outra fonte de ideias confusas e concepções alternativas.

#### Origem escolar: as concepções analógicas

Quando se fala das ideias dos alunos geralmente se pensa implicitamente nas duas fontes que acabamos de mencionar, esquecendo, com frequência, a importância dos aprendizados escolares na geração de ideias que vão influenciar, por sua vez, posteriores aprendizados. Esta fonte praticamente só é mencionada para referir-se a possíveis "erros" conceituais dos alunos, cuja origem aparentemente está no próprio ensino recebido. Apresentações deformadas ou simplificadas de certos conceitos levam a uma compreensão errônea,

desviada, por parte dos alunos, que não fazem mais do que refletir a informação ou interpretação recebida.

Contudo, com muita frequência as ideias que os alunos obtêm do conhecimento escolar não apenas refletem erros conceituais presentes nos livros didáticos ou nas explicações recebidas. Elas refletem um "erro" didático na forma como lhes são apresentados os saberes científicos. Dado que o conhecimento científico não é apresentado como diferente de outras formas de saber, os alunos tendem a assimilar esses conhecimentos escolares às suas outras fontes de "conhecimento científico" sobre o mundo de maneira analógica. A consequência mais direta disso é uma incompreensão da própria natureza do discurso científico, que se confunde e mistura com seu conhecimento sensorial e social. Em outras palavras, os modelos científicos (geralmente referidos a estruturas não observáveis do macrocosmos ou do microcosmos) misturam-se, tornam-se difusos, naqueles âmbitos do discurso cotidiano (referidos ao mesocosmos) com referenciais comuns. O aluno concebe como análogos sistemas de conhecimento que são complementares, mas diferentes. Assim, como veremos em detalhe no Capítulo 6, à estrutura microscópica da matéria são atribuídas propriedades macroscópicas, e vice-versa. O aluno também confunde o movimento, algo diretamente observável, pertencente ao mesocosmos, com a força, uma entidade não observável, "substancializada" (ou seja, transformada em objeto material, do mundo real) a energia (ver Capítulo 7); confunde o fenômeno (com traços observáveis pertencentes ao mesocosmos) com o genótipo (um conceito que se refere ao microcosmos); acredita que os elétrons fazem voltas por uma pista situada em torno do átomo ou que os peixes respiram com pulmões.

Vemos, assim, que por diferentes vias – sensorial, cultural e escolar – os alu-

nos vão adquirindo uma forte bagagem de concepções alternativas firmemente enraizadas – nos sentidos, na linguagem e na cultura, nas tarefas escolares – que, apesar de seu caráter diferente – espontâneo, social ou escolar –, interagem e se misturam, dando lugar a essa *ciência intuitiva* que é tão difícil de modificar nas salas de aula de ciências, inclusive utilizando estratégias deliberadamente projetadas para isso, como veremos no Capítulo 7. Parte das dificuldades para modificar ou mudar essas concepções alternativas vem da sua própria natureza representacional – seu caráter implícito, mas, ao mesmo tempo, altamente organizado, sua funcionalidade no conhecimento cotidiano –, mas outra parte poderia ser consequência do nosso desconhecimento dessa natureza, que tem levado a estratégias didáticas para a mudança conceitual de eficácia duvidosa. Por isso, antes de nos ocuparmos das estratégias didáticas para a mudança conceitual, convém que nos detenhamos em detalhar a natureza dessas concepções alternativas, que, como veremos, constituem autênticas *teorias implícitas*.

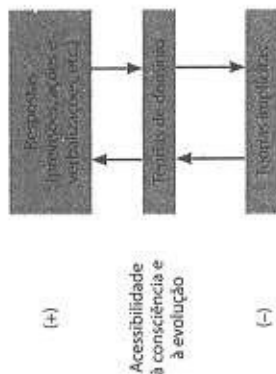
#### AS CONCEPÇÕES ALTERNATIVAS COMO TEORIAS IMPLÍCITAS

Temos visto que essas concepções alternativas que os alunos mantêm quando se deparam com a maior parte dos conceitos e fenômenos científicos não são algo arbitrário ou casual, não são o resultado de um erro, de uma irregularidade ou falha de seu sistema cognitivo; ao contrário, são o produto de um aprendizado que na maior parte dos casos é informal ou implícito e que tem como objetivo estabelecer regularidades no mundo, torná-lo mais previsível e controlável. Além disso, boa parte dessas concepções são também um produto cultural, seja porque constituem representações socialmente compartilhadas

dias, seja porque respondem a uma tentativa de dar sentido a atividades culturalmente organizadas.

Em resumo, as concepções alternativas não são algo acidental ou conjuntural, senão que têm uma natureza *estrutural*, sistemática. São o resultado de uma mente ou um sistema cognitivo que tenta dar sentido a um mundo definido não apenas pelas relações entre os objetos físicos que povoam o mundo, mas também pelas relações sociais e culturais que se estabelecem em torno desses objetos. Não é estranho, portanto, que seja tão difícil livrar-se delas no ensino, dado que constituem boa parte do nosso *sensu commun* e, inclusive, da nossa tradição cultural. Contudo, o ensino da ciência, caso pretenda que os alunos compartilhem essas outras produções culturais tão elaboradas que são os modelos e teorias da ciência, precisa superar ou transcender essas representações de primeira mão, um pouco superficiais, que nos oferecem o senso comum e a cultura cotidiana. Para isso, é necessário conhecer um pouco mais sobre como estão organizadas essas concepções alternativas e sobre o que é preciso mudar na chamada mudança conceitual. Trata-se de ideias ou concepções isoladas, desconexas, ou fazem parte de uma trama conceitual mais compacta, de uma *teoria*? Todas as ideias são igualmente persistentes ou resistentes à mudança, ou umas são mais do que outras? O que exatamente é preciso mudar na "ciência intuitiva" dos alunos? E como fazer isso?

Tal como ocorre em outros âmbitos, ao analisar as relações entre o conhecimento científico e o cotidiano em um domínio dado (por exemplo, Pozo, 1994; Rodrigo, 1997; Rodrigo e Correa, 1999) convém diferenciar entre diversos níveis de análise representacional. A Figura 4.2 ilustra esses diferentes níveis de análise. Em um nível mais superficial e, portanto, metodologicamente mais acessível e mais



**Figura 4.2**  
Níveis de análise das representações.

fácil de ser explicitado pelo próprio sujeito, estariam as crenças, as previsões, os juízos, as interpretações, etc., que esse sujeito tem sobre as situações e tarefas que enfrenta.

Se perguntamos a um aluno pela trajetória de um objeto durante a queda, pelas causas que fazem os objetos fluírem na água, ou se pedimos que ele escolha entre as diversas opções de resposta sugeridas na tarefa do Quadro 4.5, estamos ativando previsões, crenças, verbalizações, etc., em resposta à demanda apresentada nessa situação concreta. O aluno pode gerar, com relativa facilidade, uma *representação*, em forma de imagem ou explicitada por meio

da linguagem, pode ter acesso, com relativa facilidade, a essa interpretação, e nós, como educadores ou pesquisadores, também. Estamos em um primeiro nível de análise das representações, mais acessível ou imediato, mais fácil de conhecer.

De fato, a maior parte da pesquisa sobre as concepções dos alunos está centrada nesse nível de análise: expor uma tarefa ou um problema que induza nos alunos a ativação de uma representação e assumir que essa representação constitui uma concepção alternativa com as características que vimos algumas páginas atrás (generalização, estabilidade e resistência à mudança, certa coerência, etc.). Contudo, um traço essencial dessas representações, segundo assinalou Rodrigo (1997; Rodrigo e Correa, 1999), é seu caráter situacional. São representações ativadas para uma situação específica, que, em muitos casos, são constituídas ou elaboradas *ad hoc*, em resposta a essas demandas contextuais, sem que estejam necessariamente armazenadas de modo permanente ou explícito no sistema cognitivo. Nesse sentido, responderiam aos traços representacionais dos modelos mentais (Rodrigo, 1997), representações instáveis, ativadas na memória de trabalho. Portanto, embora sejam relativamente acessíveis

à consciência do sujeito, muitas vezes são representações ainda implícitas, uma vez que nem sequer chegaram a constituir-se, pelo uso reiterado, em representações explicitamente presentes no sistema cognitivo do indivíduo. De fato, não podemos assumir que toda representação ativada pelos indivíduos em resposta à demanda de uma tarefa ou de um problema escolar é uma concepção alternativa com as características e a origem que foram descritas anteriormente. Algumas delas possuem um caráter contextual, situacional, enquanto outras, devido à sua maior funcionalidade, devido ao uso reiterado em contextos bem diferentes, têm esse caráter estrutural de que falávamos. Estas últimas são as que exigem uma verdadeira mudança conceitual para serem modificadas.

Para conhecer quais dessas ideias, previsões ou ações possuem um verdadeiro significado, constituindo autênticas alternativas conceituais ao conhecimento científico, é preciso estudá-las não como ideias isoladas, mas como parte de um sistema de conhecimento mais amplo, constituído pelas relações entre essas concepções. Tanto na história da ciência como em sua aprendizagem, a mudança não implica tanto substituir uma ideia por outra quanto modificar as relações entre elas, dado que são elas que determinam seu significado. A nova teoria científica não abandona todas as ideias das teorias precedentes, senão que as reestrutura, muda seu sentido no marco da teoria (Estany, 1990; Thagard, 1992). O mesmo ocorre na aprendizagem da ciência: o que muda não são tanto as ideias isoladas quanto as teorias de que elas fazem parte (Benlloch, 1997; Benlloch e Pozo, 1996). As verdadeiras concepções alternativas são produto de uma *teoria de domínio*, constituída pelo conjunto de representações de diversos

tipos ativadas pelos sujeitos diante de contextos pertencentes a um domínio dado.<sup>3</sup>

Essas teorias de domínio seriam menos acessíveis tanto para o pesquisador quanto para os próprios processos de explicitação do sujeito. Assim, a partir de uma série de tarefas em que pedimos a um aluno para prever a trajetória de diversos objetos em movimento, podemos concluir que ele mantém uma teoria para o domínio da cinemática segundo a qual "todo movimento implica uma força equivalente" ou, indo além, podemos chegar a afirmar que esses alunos mantêm uma teoria aristotélica sobre o movimento dos objetos (Driver et al., 1994; Hierrezuelo e Montero, 1991; Pozo, 1987; ver também o Capítulo 7). Porém isso não quer dizer que o aluno mantenha de modo explícito essa teoria de domínio, nem que seja capaz de tornar explícita essa regularidade conceitual que nós inferimos a partir de suas ações e previsões.

Nesse sentido, as teorias de domínio exigem um esforço cognitivo maior e uma quantidade maior de prática para serem explicitadas. Seriam, contudo, representações mais estáveis do que os modelos mentais situacionais (Rodrigo, 1997), uma vez que, como resultado da prática repe-

<sup>3</sup> Embora a definição ou delimitação de um domínio seja também um assunto complexo, e apesar de variar em função da utilização de critérios epistemológicos, psicológicos ou educacionais, para não complicar ainda mais as coisas para o leitor - e elas já estão bastante complicadas sem isso - vamos assumir que um domínio está constituído por uma área científica de conhecimento, que, por sua vez, divide-se em subdomínios (dentro da Física, seria possível diferenciar entre mecânica, termodinâmica, eletromagnetismo, etc.). Obviamente, essa delimitação dos domínios não vai coincidir com a organização das concepções alternativas dos alunos, que estariam baseadas em critérios diferentes. Para uma análise mais detalhada do conceito de domínio, ver Hirschfeld e Gelman (1994), Karmiloff-Smith (1992) e Pozo (1994).

#### QUADRO 4.5

Um exemplo de questão de química projetada para estudar as crenças dos alunos sobre o estado de movimento dos partículas constituintes de uma substância

Temos um corpo cheio de água, quieto sobre uma mesa. Corpo que, a uma que se espalhou, em corpos as partículas que formam a água:

- Estão sempre paradas, imóveis.
- Somente vão se mover se agarrarmos o corpo.
- Estão sempre se movendo.
- Movem-se quando o ar dissolvido na água se evaporar.

Exercícios em Física, 1993.



tida com situações similares, as teorias de domínio estariam representadas de modo explícito na memória permanente do indivíduo, na forma de um conjunto de regras ou regularidades a partir das quais esses modelos mentais situacionais seriam constituídos. Assim, adotando o modelo desenvolvido por Karmiloff-Smith (1992) sobre os processos de explicitação do conhecimento, diríamos que as teorias de domínio, se bem são implícitas no sentido de ainda não serem acessíveis à consciência do indivíduo, já estão explicitamente representadas na memória (Karmiloff-Smith, 1992). A explicitação seria um processo contínuo que envolveria diversos níveis de redescrção representacional, baseados em códigos com crescente abstração ou formalização. Um conhecimento pode ser explícito sem ser consciente, e mas as formas superiores de explicitação implicam a capacidade de redescrver fenômenos ou situações em termos de linguagens e códigos com notável nível de abstração ou descontextualização, como as linguagens das ciências (Lemke, 1993; Mortimer e Machado, 1998). No próximo capítulo vamos analisar com maior detalhe os processos de explicitação ou redescrção do conhecimento na aprendizagem da ciência.

Portanto, se bem as teorias de domínio são menos acessíveis à consciência e mais difíceis de explicitar – uma vez que exigem que se tome consciência de diferentes representações ativadas em contextos diversos – são representações mais estáveis e persistentes que os modelos mentais. É claro que no mesmo indivíduo podem coexistir diversas teorias para um único domínio, ou para subdomínios diferenciados, com diversos graus de consistência interna e estabilidade. Em geral, quanto mais estável for uma teoria de domínio, maior será sua consistência (Pozo

e Gómez Crespo, 1997a), de forma que a consistência das teorias alternativas mantidas pelos alunos pode ser um bom índice de sua resistência à mudança.

Por outro lado, segundo a Figura 4.2, as teorias de domínio determinaríamos as concepções que cada indivíduo ativaria em resposta às demandas específicas de cada situação concreta, cujos traços essenciais, estruturais, seriam dados pela estrutura de suas teorias nesse domínio. Dessa maneira, as teorias de domínio proporcionaríamos, ou consistiriam, os traços invariáveis dos modelos mentais ativados em diferentes contextos dentro do mesmo âmbito de conhecimento. Mas de onde viria a regularidade das teorias de domínio? Tal como também estabelece a Figura 4.2, as teorias de domínio seriam organizadas ou estruturadas a partir de uma série de supostos implícitos, que constituiriam uma teoria-marcos (Vosniadou, 1994a) ou uma teoria implícita (Pozo et al., 1992; Pozo e Scheuer, 1999).

As teorias implícitas seriam constituídas, de fato, a partir de um conjunto de regras ou restrições no processamento da informação, as quais determinaríamos apenas a seleção da informação processada, mas também as relações estabelecidas entre os elementos dessa informação. Poderíamos dizer que essas teorias seriam uma espécie de sistema operacional do funcionamento cognitivo (Rivière, 1997), que, por meio das restrições impostas, formatariam as representações elaboradas pelo indivíduo para um domínio dado, suas teorias de domínio e, em resumo, determinaríamos a forma como irá processar um cenário concreto. Segundo Vosniadou (1994b), essas teorias-marcos, ou supostos implícitos do processamento de informações em certos domínios, seriam constituídas muito precocemente na infância. Assim, no domínio físico, Spelke (1991; Carey e Spelke, 1994) identifica três prin-

o caráter contínuo e estático da matéria, determinado pela interpretação dessas situações na forma de relações causais lineares – nas quais toda mudança deve ser consequência da ação imediata de um agente – e de uma analogia entre o modelo (a estrutura corpuscular da matéria) e a realidade que ele representa (a aparência macroscópica dessa mesma matéria) – ver o Capítulo 6.

O aluno pode modificar sua teoria de domínio, mas mantendo os mesmos supostos implícitos. Por exemplo, um aluno pode abandonar a teoria aristotélica sobre o movimento dos objetos e, em seu lugar, assumir uma versão da teoria medieval do ímpeto, sem que isso signifique superar as restrições implícitas no processamento do movimento dos objetos, consistentes, mais uma vez, em assumir uma causa

linear entre força e movimento – o que continua impedindo que ele assumia a explicação newtoniana do movimento como produto da interação entre um sistema de forças – e a analogia entre modelo e realidade (quando um objeto está imóvel não existe nenhuma força atuando sobre ele, uma vez que não é percebido nenhum efeito visível). A mudança conceitual radical, concebida como uma reestruturação profunda em um determinado domínio, ocorreria apenas quando mudassem também esses supostos implícitos subjacentes às teorias de domínio, superando as fortes restrições ao processamento impostas pelo próprio sistema cognitivo (Chi, Slotta e De Leeuw, 1994; Pozo, 1999b; Vosniadou, 1994a).

Essas restrições estariam muito vinculadas ao sistema operacional que estaria regendo os mecanismos de aprendizagem implícita quando ocorre o aprendizado de conteúdo necessário para a aquisição de conhecimentos acadêmicos, um sistema muito antigo na filogenia e na ontogenia, pouco flexível e com escasso controle

de cípios perceptivos (coesão, contato e contiguidade) que são subjacentes ao processamento que os bebês fazem do movimento dos objetos e que continuariam guiando, posteriormente, as teorias intuitivas da física dos adultos. Esses princípios dariam forma – *formatariam* – às representações que todos temos sobre o movimento dos objetos e acabariam entrando em colisão com os princípios subjacentes aos principais conceitos da mecânica newtoniana. Se, tal como foi indicado no começo deste capítulo, o ensino de conceitos científicos deve ajudar a que os alunos compreendam os princípios em que eles são fundamentados, será necessário mudar os princípios, ou supostos implícitos, nos quais, por sua vez, o conhecimento cotidiano ou alternativo se fundamenta, que seriam as teorias implícitas dos alunos.

Uma característica importante das teorias implícitas é que elas teriam um caráter mais geral do que as próprias teorias de domínio, uma vez que as representações ativadas pelos indivíduos em diversos domínios poderiam compartilhar as mesmas restrições de processamento, o mesmo sistema operacional. De fato, esses princípios de contato, contiguidade e coesão podem ser rastreados em diversos outros domínios, dado que, na verdade, são produto de regras gerais no aprendizado implícito, como as que apontamos algumas páginas atrás ao analisar a origem sensorial de algumas concepções (ver também Pozo, 1987, sobre as relações entre essas regras e o pensamento causal).

Além disso, as teorias implícitas seriam ainda mais estáveis do que as próprias teorias de domínio. Diversas teorias de domínio podem sustentar-se nos mesmos supostos implícitos. Por exemplo, os alunos podem manter diferentes teorias sobre a natureza da matéria, mas todas elas assumem, como supostos implícitos,

cognitivo, mas muito robusto e com uma grande economia de recursos cognitivos em seu funcionamento (O'Brien-Malone e Maybery, 1998; Pozo, 1996a; Reber, 1993). Apesar de, como veremos no próximo capítulo, a mudança conceitual não ter razão alguma para implicar o afastamento de um sistema com tanto valor pragmático e adaptativo, permitiria superar suas restrições em domínios específicos, gerando novas teorias para esses domínios que transcendessem as restrições impostas pelas teorias implícitas. Mas quais são exatamente as restrições que devem ser superadas para conseguir a mudança conceitual? Quais são as diferenças entre os princípios subjacentes às teorias científicas e às teorias implícitas? Existem diversas posturas ou teorias sobre as diferenças entre o conhecimento cotidiano e o científico (por exemplo, Claxton, 1984; Chi, 1992; Pozo e Carretero, 1987; Pozo et al., 1991; 1992; Rodrigo, 1997; Rodrigo e Correa, 1999; Vosniadou, 1994a), das quais podemos extrair três grandes diferenças nos princípios subjacentes às teorias intuitivas e científicas, que seria preciso modificar para conseguir uma compreensão destas últimas. O conhecimento intuitivo ou cotidiano apoia-se em supostos epistemológicos, ontológicos e conceituais radicalmente diferentes dos que são subjacentes às teorias científicas.

\* Obviamente, embora aqui não nos detembamos nisso, a análise que temos feito das concepções alternativas em três níveis de representação diferentes, mas relacionados entre si, pode ser aplicada também ao próprio conhecimento científico, onde seria razoável diferenciar entre modelos, teorias e princípios. Se não há dúvida de que o conhecimento científico tem um nível de explicitação e estabilidade maior que o conhecimento intuitivo, também aqui cabe diferenciar entre a estabilidade e explicitação das representações em cada um desses níveis do conhecimento científico.

### Princípios epistemológicos

Segundo Vosniadou (1994a), entre as teorias científicas e as teorias de domínio mantidas pelos indivíduos existe uma incompatibilidade básica devido a certos supostos epistemológicos impostos pela teoria-marco, ou teoria implícita, ao sistema de crenças dos alunos, os quais não seriam compatíveis com os supostos subjacentes à teoria científica. Esses supostos teriam uma função similar, no conhecimento cotidiano, à dos paradigmas de Kuhn (1962) ou à dos programas de investigação de Lakatos (1978). Ou seja, na hora de gerar representações específicas para prever ou explicar qualquer fenômeno cotidiano – seja a evaporação da água quando ferve, a trajetória de uma bola em movimento ou a melhor maneira de cuidar de uma planta –, nosso conhecimento intuitivo assume, de maneira implícita, certos princípios sobre a natureza da realidade e atua conforme eles (por exemplo, a realidade existe, que há um objeto real aí fora que é uma bola e tem propriedades, é vermelha, grande, pesada e está se movimentando e que o mundo é tal como aparece diante dos nossos sentidos, a bola realmente é vermelha, não é que eu a esteja vendo vermelha, está se movimentando, não é que eu veja que ela se movimenta, etc.). Ou, em outras palavras, as teorias de domínio geradas em cada um desses âmbitos adotariam, de modo implícito e, portanto, acrítico, a forma desses princípios, seriam *formatadas* de acordo com eles.

Segundo Vosniadou (1994a), alguns desses princípios seriam diferentes dos aceitos pelas teorias científicas, que, como vimos no Capítulo 3, não tratam tanto da realidade quanto dos modelos elaborados para dar sentido à realidade. A energia, a força ou o movimento não seriam tanto propriedades absolutas dos objetos, mas

relações atribuídas a eles pelos modelos, de maneira que estes podem diferir, e de fato diferem, da realidade percebida. Assim, o movimento e o repouso não são propriedades absolutas dos objetos, embora sensorialmente pareça isso, senão que dependem das relações entre objetos; de fato, embora aparentemente ocorra o contrário, todos os objetos do Universo estão em movimento contínuo, o livro que o leitor tem em suas mãos, e mesmo o próprio leitor, estão se movimentando imperceptivelmente neste momento, navegando a uma velocidade estimável, mas imperceptível na realidade sensorial.

Esses diferentes princípios epistemológicos – ou supostos implícitos sobre as relações entre o nosso conhecimento e o mundo – dão lugar, de fato, a diferentes teorias de domínio. Por exemplo, a Figura 4.3 apresenta os supostos em que estão baseadas as teorias dos alunos sobre a força, em contraposição com as teorias científicas. Em nosso conhecimento cotidiano su-  
pomos (como veremos no Capítulo 7) que a força é uma propriedade absoluta dos objetos, da mesma maneira que assumimos que a cor ou o peso também são propriedades absolutas desses objetos, e não o produto da relação entre esses objetos e outros. Igualmente, os alunos assumem que o repouso é o estado “natural” dos objetos e que, portanto, todo movimento precisa ser explicado por meio de um agente causal e que os objetos inanimados podem movimentar-se apenas mediante a ação de um agente externo. Dessa forma, estão estabelecendo restrições às suas teorias da força, as quais tornarão impossível a assimilação do modelo newtoniano como um sistema de interação e equilíbrio dentro de um modelo formal. Na mecânica newtoniana, movimento e repouso são dois estados que dependem da interação entre diversas forças, enquanto para o conhecimento cotidiano são duas situa-

ções aparentemente diferentes. Na vida diária, quando vemos que um objeto se movimenta buscamos uma explicação em termos de um agente externo, uma força, que tenha causado esse movimento, e quando o movimento termina, assumimos que é porque a força que o impulsionava se esgotou. Essa relação causal direta entre força e movimento tornará impossível a compreensão, por exemplo, do princípio da inércia ou a própria diferenciação entre força e movimento. Da mesma maneira, não concebemos a cor como uma relação entre a luz que ilumina o objeto e o olho que o percebe, e sim a consideramos como uma propriedade absoluta, real, desse objeto: esse livro tem a capa vermelha e essa poltrona é azul. Contudo, para uma pessoa daltônica, o livro não é vermelho. Temos a tendência de atribuir à realidade propriedades e atributos que não são outra coisa senão o produto da nossa interação cognitiva, da nossa construção mental da realidade.

Vosniadou (1994a) apresenta outros exemplos dos supostos subjacentes às teorias dos alunos em outros domínios, como o calor ou o ciclo dia/noite. Embora não fique claro se essa é ou não uma lista fechada de supostos, comuns a todos esses domínios, ou se os supostos incompatíveis diferem de um domínio para outro, parece haver certos traços globais comuns aos supostos epistemológicos do conhecimento cotidiano em diferentes domínios, como uma certa fé realista segundo a qual o mundo é tal como nós o vemos, e aquilo que não vemos (por exemplo, as forças equilibradas que agem sobre um objeto em repouso aparente) não existe ou, pelo menos, é muito difícil de conceber. De fato, Vosniadou (1994b) afirma que esses supostos são parte de uma “teoria global” da física ingênua, produto tanto de certas predisposições inatas do sistema cognitivo humano quanto do aprendizado

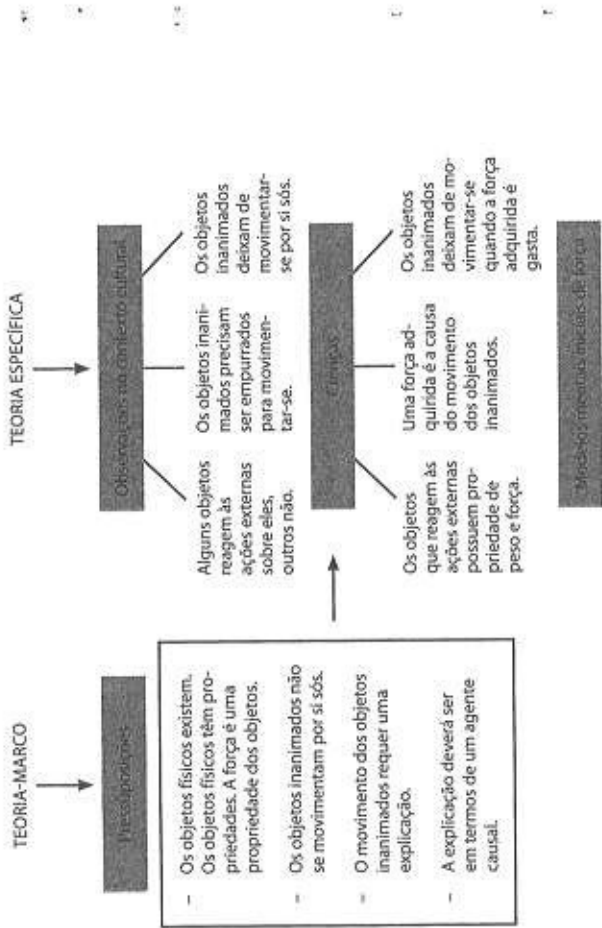


Figura 4.3 Estrutura conceitual hipotética subjacente aos modelos mentais iniciais de força segundo Vosniadou (1994a).

nos contextos culturais da vida cotidiana. Essa teoria implícita diferiria da científica não só em sua forma de conceber o conhecimento, mas também no tipo de entidades que fazem parte da teoria, em sua ontologia.

**Princípios ontológicos**

Outra teoria sobre a mudança conceitual, desenvolvida por Chi (1992; Chi, Slotta e De Leeuw, 1994), propõe características mais precisas e detalhadas ao considerar que a mudança conceitual se torna necessária quando existe uma incompatibilidade ontológica entre a teoria científica e a teoria mantida pelo aluno. Segundo esse modelo, as pessoas classificam todos os objetos do mundo em um número limitado de categorias ontológicas, às quais

lando os fenômenos novos a entidades já conhecidas. Contudo, essa funcionalidade das categorias e dos conceitos provém da sua organização hierárquica. Boa parte das características que podem ser atribuídas a um pássaro provém da sua inclusão em outras categorias mais amplas (ser vivo, animal, vertebrado, etc.). Diante de um animal novo, desconhecido por elas, as crianças de 3-4 anos estudadas por Keil (1992) assumiam que, ao ser um animal, come, bebe, dorme, tem pais, etc. Ainda que algumas dessas atribuições possam acabar sendo erradas em casos concretos (de fato, a engenharia genética pode acabar com algumas das nossas crenças ontológicas mais enraizadas), em termos

gerais nossa hierarquia ontológica, em grande medida implícita no processamento, nos ajudará a pôr ordem no mundo.

Porém, como organizamos ontologicamente o mundo? Segundo Chi (1992), na parte mais alta da nossa hierarquia ontológica estariam três categorias fundamentais, subdivididas, por sua vez, em outras categorias menores. Essas três grandes categorias, na teoria de Chi, seriam as de *matéria*, *processos* e *estados mentais* (ver Figura 4.4). Se consideramos que uma coisa é matéria, atribuiremos a ela certas propriedades "materiais" (peso, volume, densidade, cor, etc.); estamos atribuindo uma natureza ontológica *objetiva*, supondo que se trata de um objeto

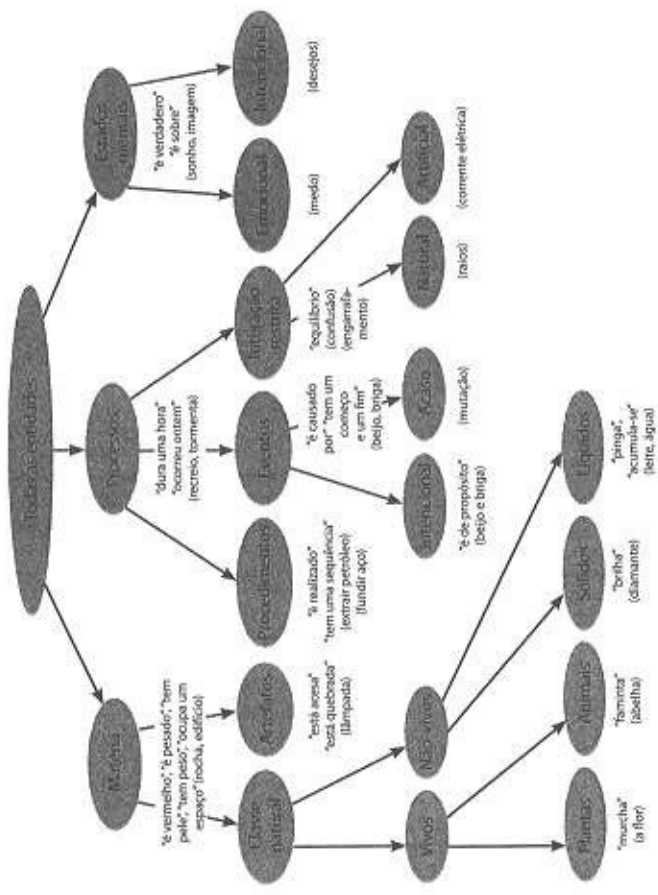


Figura 4.4 Um possível esquema de categorização do mundo segundo Chi (1992). As categorias separadas horizontalmente são ontologicamente diferentes. A mudança conceitual implicaria a passagem de um ramo principal para outro.



existente no mundo. Assim, consideramos que as mesas, as nuvens e os cachorros são matéria de diferente natureza, ou seja, diferenciamos sua natureza material em outras subcategorias (vivo/não vivo, etc.). Ao contrário, interpretar alguma coisa como um processo implica concebê-lo como um fato ou um acontecimento, algo que ocorre no tempo e que pode, por sua vez, ter diferente natureza, como a evaporação, a quebra de um vidro ou uma tormenta. Finalmente, se consideramos algo como um estado mental é que atribuímos isso a um "objeto com mente" (Rivière, 1991), que tem o desejo ou a intenção de fazer alguma coisa.

Para Chi (1992), nossa compreensão do mundo está determinada pelas categorias ontológicas (matéria, processos ou estados mentais) a partir das quais o interpretamos. E modificar nossa compreensão do mundo significa mudar nossas atribuições ontológicas. Se os alunos, como veremos no Capítulo 7, interpretam a energia como matéria – ou seja, substancializam-na, transformam-na em um objeto –, dificilmente poderão entender o princípio de conservação da energia, que requer interpretá-la como um processo de interação. Interpretar a energia ou a força como propriedades materiais é bem diferente de interpretá-las como processos. Assumir que a motivação dos alunos é um "estado mental" é diferente de concebê-la como um processo, resultado das interações produzidas na sala de aula.

Em geral, a mudança conceitual radical será necessária, segundo o modelo de Chi (1992), quando for preciso mudar uma entidade de uma categoria principal para outra. Assim, seria necessária uma reestruturação ontológica para conceber o peso não como uma propriedade da matéria, mas como um processo, uma relação entre a massa de dois corpos, de modo que o peso de um objeto não depende apenas de si mesmo, não é um

estado, mas o produto da relação entre duas massas. Quando em um artigo se narra uma expedição para o Himalaia se diz que cada xerpa carregava "50 quilos" de equipamentos, parece assumir-se que o peso do equipamento é um estado e não um processo, ou seja, uma propriedade material, absoluta, e não uma relação. O mesmo ocorre com outros muitos conceitos científicos, como energia, calor, força, etc., que tendem a ser aceitos pelos alunos. Mas também acontece no conhecimento cotidiano, quando entidades materiais tendem a se *substancializar* ou materializar-se, de modo que se atribuem a elas propriedades da matéria. Como mostrou Viennot (1996), enquanto no conhecimento cotidiano a cor é uma propriedade material atribuída aos objetos, a física da cor requer entendê-la como um processo, uma relação, a resposta perceptiva a uma excitação. Outro tanto poderia ser dito da força, da energia ou mesmo dos diferentes estados de agregação da matéria, que para serem compreendidos com um significado próximo ao da ciência precisariam ser entendidos não como propriedades estáticas, mas como processos e, mais especificamente, como processos de interação. Portanto, a evolução na compreensão de um conceito implicaria diversas mudanças em sua atribuição ontológica.

Assim, por exemplo, no começo as crianças nem sequer atribuem ao ar propriedades materiais – peso, densidade, volume, etc. (Benlloch, 1997; Carey, 1991; Seré, 1985 – e, portanto, o ar seria para elas uma não-entidade, algo que na verdade é inexistente. Mais adiante elas conseguem compreender a natureza material do ar, e com isso, ao incluí-lo na categoria matéria, atribuem-lhe certas propriedades materiais, como ter peso, ocupar espaço, etc. Para alcançar uma melhor compreensão

da estrutura material do ar e dos gases em geral, deverão realizar uma nova atribuição ontológica, passando a conceber essas diferentes propriedades como sendo o resultado de um processo de interação entre as partículas. Assim, essas diversas propriedades (peso, densidade, volume, temperatura) fariam parte de um sistema complexo de relações de transformação e conservação (Benlloch, 1997; Benlloch e Pozo, 1996).

Portanto, apesar de segundo Chi (1992) a mudança conceitual ser necessária sempre que for preciso redesignar um fenômeno ou objeto de uma categoria ontológica principal para outra (ou seja, no caso da física e da química, nas quais a partir de certa idade em geral pode ser excluída a interpretação em termos de estados mentais, passar de concebê-lo como matéria a entendê-lo como um processo, ou vice-versa), a verdade é que a maior parte das mudanças conceituais radicais analisadas por Chi, Slotta e De Leeuw (1994) devem-se à dificuldade de reinterpretar certos fenômenos em termos de uma única categoria ontológica subordinada, a de interação. Segundo Chi, Slotta e De Leeuw (1994, p. 32), esta categoria implicaria interpretar um fenômeno em termos de situações de equilíbrio, sem início nem fim, nas quais não é possível identificar uma causa e nas quais vários sistemas estão interagindo simultaneamente (como, por exemplo, compreender a matéria em termos de partículas em contínua interação ou interpretar o calor como um problema de transferência e equilíbrio energético). Perante a tendência cotidiana de interpretar os processos dentro de relações causais lineares e unidirecionais – tal como foi descrito em uma seção anterior deste capítulo, quando abordamos a origem das concepções alternativas –, as teorias científicas geralmente concebem esses processos como um sistema de interações em busca de estados de equilíbrio.

Os esquemas de interação desempenhariam uma função muito importante nas teorias científicas, de onde conceitos como energia ou força são entendidos no marco de uma interação dentro de sistemas ou entre eles, um dos esquemas formais analisados no final do Capítulo 3. Não é que o cobertor produza calor, é que reduz o intercâmbio de energia, produzindo um estado de aparente equilíbrio térmico. A força que põe em movimento uma bola não se consome, é que a ação de outras forças reduz a velocidade até levar a bola a um estado de repouso, ou seja, de forças em *equilíbrio*. Ou, inclusive, as relações entre (des)motivação e aprendizado não são unidirecionais e simples, senão que fazem parte de um complexo sistema de interações sociais na sala de aula, como vimos no Capítulo 2.

De fato, é difícil pensar em uma adequada compreensão da maior parte dos conceitos científicos se eles não são interpretados no marco de sistemas de interação. A tendência a substancializar ou materializar boa parte dos conceitos científicos está baseada, portanto, em princípios não apenas epistemológicos e ontológicos, mas também conceituais. Ou, em outras palavras, as diferenças nos princípios epistemológicos e ontológicos entre as teorias científicas e as teorias alternativas traduzem-se, finalmente, em diferenças – mais operacionais ou próximas da prática docente – na *estrutura conceitual* de umas e outras teorias.

### Princípios conceituais

Uma diferença essencial entre as teorias cotidianas e as científicas reside na forma como estão estruturados os conceitos em umas e outras. Enquanto as teorias científicas utilizam *esquemas ou estruturas conceituais* próximos aos esquemas operatórios formais de Inhelder e

\*N. de R. Etnia da mais montanhosa região do Nepal.

Piaget (1955), descritos no capítulo anterior (p. 78-79), as teorias implícitas são baseadas em estruturas conceituais muito mais simples, que se opõem em boa medida a esses esquemas formais subjacentes às teorias científicas, razão pela qual o aprendizado da ciência vai exigir, além da mudança epistemológica e ontológica que acabamos de ver, uma mudança nas estruturas conceituais, ou *reestruturação* dos conhecimentos. Dito de outra maneira, o aluno não conseguirá assimilar o conhecimento científico que lhe é apresentado durante as aulas a menos que consiga interpretar a tarefa por meio de um esquema conceitual mais complexo, cujas características são próximas ao pensamento formal piagetiano. O Quadro 4.6 resume as três principais restrições estruturais das teorias implícitas que impedem a assimilação dos conceitos científicos baseados em esquemas ou estruturas formais, que são a maioria. A seguir, descrevemos brevemente essas três grandes diferenças estruturais entre teorias implícitas e científicas, que o leitor pode encontrar detalhadas em detalhe nos Capítulos 6, para a aprendizagem da química, e 7, no caso da física (para uma justificação mais detalhada dessas diferenças, ver também Pozo et al., 1991; Pozo, 1996a).

#### QUADRO 4.6

Restrições estruturais das teorias implícitas frente ao conhecimento formal ou científico

Restrições estruturais (teorias implícitas)

Qualidade física: simples em um sentido (alguma - objeto)

Menor equificação ou estratificação quantitativa do domínio

Transição da conservação

Esquemas formais (teorias científicas)

Qualidade física: complexidade completa

Proporção (probabilidade) complexa

Conservação implícita em sistemas em equilíbrio

#### Causalidade linear frente à interação de sistemas

Os alunos tendem a recorrer a um esquema causal muito simples para explicar os acontecimentos. Segundo esse sistema, a relação entre causa e efeito é linear e em um único sentido, derivado do uso dessas regras simplificadoras para a aprendizagem implícita cotidiana que vimos anteriormente, ao fazermos referência à origem sensorial das concepções alternativas (também Andersson, 1986; Pozo, 1987). Contudo, a maior parte das teorias científicas exige entender as situações como uma interação de sistemas em que, pelo menos, ocorre uma das duas situações seguintes:

- A relação causa/efeito não ocorre em um único sentido, e sim envolve uma relação recíproca. Não é que um agente atue sobre um objeto modificando-o, senão que dois sistemas interagem modificando-se mutuamente.
- A relação envolve não apenas uma causa, mas a interação entre várias causas que se coordenam para produzir um efeito dado. Além disso, essa relação às vezes pode tomar a forma de uma compensação multiplicativa, em

que dois fatores se compensam entre si para produzir um efeito constante. Essas compensações adotam a forma habitual de uma proporção inversa, implicando, portanto, o uso de um esquema quantitativo, do qual falaremos mais adiante.

Frente à interpretação dos fenômenos em termos de sistemas em interação, o conhecimento cotidiano restringe o processo à forma de esquemas de causalidade linear simples, segundo a qual a relação é linear e em um único sentido: agente-efeito (Andersson, 1986). Contudo, a maior parte das teorias científicas, ou do conhecimento disciplinar completo, requer entender as situações como uma interação. Nos Capítulos 6 e 7 veremos como esse esquema de interação é essencial para entender o princípio de conservação da energia, o de inércia ou a própria estrutura corpuscular da matéria. A tendência de simplificar as situações, uma característica comum e necessária em nosso conhecimento cotidiano, dadas as limitações de nosso sistema cognitivo de aprendizagem, restringe a possibilidade de conceber os problemas em termos de interações entre variáveis ou sistemas conceituais. Como veremos mais adiante, no Capítulo 6, nossa concepção da matéria nos diz que, quando uma camisa seca ao sol, o vento leva as partículas de água que estão na camisa, em vez de, como faria a química, conceber a matéria como uma contínua interação entre partículas, de forma que a energia proporcionada pelo vento ou pelo sol modifica a estrutura das moléculas de água, transformando-as em vapor. Da mesma maneira, um professor que está na sala de aula com alunos pouco interessados pelo aprendizado da ciência tenderá a fazer uma interpretação linear segundo a qual os alunos não aprendem porque não estão interessados, sem chegar a conceber a interação entre ambos os

fatores dentro de um sistema de relações na sala de aula, como a que tentamos apresentar no Capítulo 2 (possivelmente não estão motivados porque não aprendem).

#### Mudança e transformação frente à conservação e ao equilíbrio

Outra restrição estrutural nas teorias implícitas dos alunos, muito vinculada à anterior, é a tendência do pensamento causal cotidiano de centrar-se na mudança, mais do que nos estados (Driver, Guesne e Tiberghien, 1985; Pozo et al., 1991).

- Na terminologia utilizada pelo próprio Piaget, diríamos que as teorias implícitas dos alunos estão centradas no que se transforma e não no que se conserva. Contudo, a maior parte dos conceitos científicos envolvem uma conservação. Quando a conservação é diretamente observável, é acessível para as crianças do período operatório concreto. Mas quando se trata de uma conservação não observável, somente pode ser alcançada pela via conceitual, ou seja, tomando consciência das relações entre conceitos.

- Compreender a natureza como um sistema de equilíbrio em diversos parâmetros é, talvez, uma das conquistas mais substantivas do conhecimento científico. Contudo, para os alunos é muito difícil entender o equilíbrio, seja mecânico, físico, químico, ou ecológico, como um sistema dinâmico, um ciclo sem início nem fim em que a interação de diversos sistemas provoca mudanças em outros elementos do sistema.

A ideia de que os efeitos ocorrem em um único sentido implica centrar-se na mudança (ação), esquecendo os efeitos recíprocos (reação) que garantem a conservação (Inhelder e Piaget, 1955).



Interpretar o mundo como um sistema de equilíbrio dinâmico é, talvez, uma das características mais distintivas do conhecimento científico. As teorias científicas organizam-se em torno de equilíbrios cíclicos, sem início nem fim (Chi, Slotta e De Leeuw, 1994), como a circulação do sangue, o equilíbrio térmico, o funcionamento da economia ou o próprio processo de equilíbrio cognitivo, segundo Piaget, enquanto as teorias implícitas estruturam-se em torno da cadeia de acontecimentos que estão na sua origem, acontecimentos com início/ agente (o cobertor "dá" calor; o aluno não está motivado) e fim/ efeito (calor "transmitido" pelo cobertor para o corpo; o aluno não aprende), de modo que estão centrados nessas mudanças conjunturais mais do que na estrutura permanente: o estado de equilíbrio dinâmico que torna possível que as coisas sejam como são. Nos Capítulos 6 e 7 veremos como estas restrições no funcionamento cognitivo limitam as possibilidades de compreender alguns princípios básicos da química e da física, traduzidos em leis de conservação que se afastam bastante dos esquemas simplificadores de gasto e consumo próprios do conhecimento cotidiano em nossa cultura, e que exigem conceber as relações e os processos científicos no marco de sistemas complexos, que exigem, também, uma quantificação precisa e rigorosa.

### Relações qualitativas frente a esquemas de quantificação

Em nossa vida cotidiana tendemos a estabelecer relações qualitativas entre os fatos, as quais praticamente não somos capazes de quantificar. Contudo, a ciência caracteriza-se pelo uso de operações quantitativas precisas, que determinam não só se existe uma relação entre dois fatos, mas também em que quantidade

essa relação existe. Essa necessidade de quantificar traduz-se, no caso do pensamento científico, no uso combinado de três esquemas de quantificação, cujo uso está muito longe de ser geral entre os adolescentes e mesmo entre os adultos universitários (Pérez Echeverría, 1990).

- Proporção: a maior parte dos conceitos científicos implica, como dizíamos anteriormente, uma relação entre dois conceitos. Mas no caso das ciências físico-naturais essa relação geralmente adota, também, a forma de uma proporção. Contudo, as pesquisas mostram que, diante de tarefas que exigem um cálculo proporcional, os alunos, universitários incluídos, tendem a utilizar estratégias simplificadoras, que são baseadas em análises qualitativas ou em regras mais simples, como a regra aditiva ou as correspondências.
- Probabilidade: embora a maior parte da ciência que se pode ensinar aos adolescentes não corresponda à ciência do século XX e, portanto, seja basicamente determinista, existem diversas noções científicas que exigem a compreensão da probabilidade e do acaso. Mesmo assim, mais uma vez, os estudos mostram que o acaso e a probabilidade estão longe de ser noções intuitivas e que sua compreensão é limitada entre os adolescentes e também entre os adultos.
- Correlação: trata-se de um esquema útil para a análise de dados probabilísticos, muito utilizado nas ciências sociais e na análise de séries numéricas nas ciências físico-naturais. É baseado, em todos os casos, no domínio de técnicas estatísticas de complexidade diversa. É, sem dúvida, o menos intuitivo e o mais difícil de utilizar, inclusive por adultos especializados, dado que, em vez dele, tendemos a usar regras

de covariação simples, como as mencionadas na seção anterior.

Mais uma vez, onde o conhecimento cotidiano recorre a regras simplificadoras ou aproximativas, a ciência usa estruturas precisas e complexas, neste caso de cálculo. Como veremos nos Capítulos 6 e 7, uma dificuldade adicional na aprendizagem da química e da física é a necessidade de quantificar de modo preciso as complexas relações estabelecidas entre as variáveis ou os conceitos, o que requer, por sua vez, dominar estruturas de cálculo, como proporção, probabilidade ou correlação, que estão longe de ser intuitivas e fáceis de dominar (Pérez Echeverría, 1990).

Em resumo, as teorias científicas diferem do conhecimento cotidiano no tipo de relações qualitativas (conservação, equilíbrio, interação sistêmica) e quantitativas (proporção, probabilidade e correlação) que estabelecem entre os conceitos componentes. Utilizar esse tipo de relações, mais complexas e elaboradas, exigiria adquirir novas estruturas conceituais ou, caso se prefira, aplicar novos princípios conceituais que estariam, de fato, estreitamente ligados aos princípios epistemológicos e ontológicos que apresentamos algumas páginas atrás. De fato, para concluir a análise das diferenças entre o conhecimento cotidiano e o científico, vamos retomar os diferentes níveis de análise empreendidos (epistemológico, ontológico e propriamente conceitual) como aspecto ou dimensões complementares nessa passagem do conhecimento cotidiano para o científico.

### DAS TEORIAS IMPLÍCITAS ÀS CIENTÍFICAS: O QUE SE ALTERA NA MUDANÇA CONCEITUAL?

Como já vimos, se assumirmos que as "concepções alternativas" são, de al-

gum modo, o resultado do "senso comum", ou seja, do funcionamento do sistema cognitivo humano como produto biológico e cultural aplicado a prever e controlar os fenômenos científicos, mudar essas concepções alternativas requer um pouco mais do que substituir as ideias dos alunos por outras cientificamente mais aceitáveis. Requer, na verdade, modificar substancialmente os princípios nos quais está baseado, de modo implícito, esse processo e esse conhecimento. Requer, em resumo, *reformatar* a mente dos alunos ou, pelo menos, incorporar um novo sistema operacional que seja compatível com os princípios nos quais se baseia o conhecimento científico.

Na seção precedente vimos como os supostos epistemológicos, ontológicos e conceituais das teorias científicas e cotidianas diferem entre si. Sintetizando essas diferenças já apresentadas, o Quadro 4.7 mostra cada uma dessas diferenças como uma *dimensão de mudança* na aprendizagem da ciência. Em vez de estarmos diante de uma comparação dicotômica entre formas cotidianas e científicas de conhecer o mundo, estariamos diante de um *continuum* ao longo do qual seria necessário ir se aprofundando com a finalidade de chegar cada vez mais perto do sentido do conhecimento científico. Seriam eixos que definem uma sequência de construção dos princípios subjacentes ao conhecimento científico. Ou, dito de outro modo, cada um destes princípios envolveria restrições ou tendências do processo cognitivo *natural*, no sentido de espontâneo, que é preciso superar em domínios e situações concretas se queremos conseguir interpretá-las de um ponto de vista próximo do científico.

Seriam tendências que não só afetariam o pensamento dos alunos, mas o de todos nós em diversas situações em que tendemos a usar o conhecimento cotidiano. Como veremos no próximo capítulo,



esse conhecimento cotidiano, e os su-  
postos nos quais ele se baseia, pode ser  
reestruturado ou reinterpretado a partir  
de outras formas de conhecimento mais  
complexas, mas raramente é abandonado  
ou eliminado da mente do aluno, dado  
que possui uma grande eficácia cogniti-  
va e adaptativa. Portanto, apesar de esses  
diversos princípios reconstituem-se de  
modo relacionado e solidário, uma vez  
que se exigem mutuamente, mudar es-  
ses princípios em um domínio dado não  
necessariamente implica abandonar as  
formas mais simples, intuitivas, de co-  
nhecimento nesse domínio e, muito me-  
nos, que a mudança se generalize ou seja  
transferida automaticamente para outros  
princípios ou para outros domínios de co-  
nhecimento.

Portanto, como se verá em detalhe no  
próximo capítulo, construir os princípios  
epistemológicos, ontológicos e conceituais  
do conhecimento científico, tal como se  
propõe a modo de síntese no Quadro 4.7,  
não implica de maneira alguma abandonar  
os princípios do "senso comum", senão que  
se trata de transcendê-los ou superá-los em  
domínios concretos do conhecimento, sem  
que necessariamente essa superação passe  
ou seja transferida para outros domínios,  
ainda que, sem dúvida, possa favorecer  
sua atualização em outras áreas próximas.  
A seguir, faremos um resumo das princi-  
pais características dessas tendências de  
mudança propostas no Quadro 4.7 a partir  
do que foi explicado em páginas preceden-  
tes, uma vez que elas constituirão o eixo  
das análises das dificuldades de aprendiza-  
gem na química e na física apresentadas na  
Parte II do livro.

### Mudança epistemológica

Do ponto de vista epistemológico,  
em nosso conhecimento cotidiano consu-  
mamos assumir uma postura *realista*, se-

gundo a qual o mundo é tal como nós o  
percebemos ou como se mostra diante de  
nós. Assim, como mostrava o exemplo de  
Vosniadou (1994a) que apresentamos al-  
gumas páginas atrás, tendemos a conceber  
a ação de uma força somente quando ela  
tem um efeito perceptível sobre os objetos  
(causa um movimento), mas é pouco ve-  
rossímil para nós que as forças atuem do  
mesmo modo sobre os objetos em repou-  
so (ver Capítulo 7 para uma análise mais  
detalhada deste exemplo). Da mesma ma-  
neira, ainda aplicando esse princípio, os  
alunos tendem a atribuir às partículas que  
compõem a matéria as mesmas proprieda-  
des que ela tem em nível macroscópico, o  
que faz com que falem das "partículas mo-  
lhadas da água" ou acreditem que quando  
se enche um balão, devido à ação do calor,  
se enche também cada uma das moléculas  
de ar que há em seu interior (a compre-  
ensão da química é analisada com detalhe  
no Capítulo 6). Esse suposto *realista*, se-  
gundo o qual as coisas são concebidas tal  
como se percebem, estaria na base do uso  
de certas regras heurísticas que mencio-  
namos anteriormente, quando estudamos  
a origem sensorial das concepções alter-  
nativas (como, por exemplo, a regra de  
semelhança) e, de fato, poderia se tratar  
de um princípio muito geral e básico que  
regeria nosso processamento e conheci-  
mento em diversos domínios, não apenas  
naqueles vinculados ao conhecimento da  
natureza, mas também nos relacionados  
com conhecimento social, psicológico,  
etc. De fato, essa tendência *realista* é, pelo  
menos em nossa cultura, bastante domi-  
nante e difícil de superar, inclusive no  
âmbito científico, no qual durante muito  
tempo dominou uma concepção positivis-  
ta entre os próprios cientistas e também  
entre os professores de ciências. Segundo  
essa concepção, a função da ciência era  
*descobrir* a estrutura e o funcionamento  
da natureza, em vez de *construir* modelos  
para interpretá-la.

### QUADRO 4.7

Tres dimensões da mudança na aprendizagem da ciência

Princípios epistemológicos

A realidade é tal como  
a vemos. O que não  
se percebe não se  
concebe.

A realidade existe e  
tem suas propriedades,  
mesmo que nem sempre  
possamos conhecê-la  
diretamente; contudo,  
por meio da ciência e da  
técnica podemos saber  
como ela realmente é.

O conhecimento  
científico é uma  
construção que nos  
proporciona modelos  
alternativos para  
interpretar a realidade,  
mas que não são parte  
dela.

Princípios ontológicos

Interpretação do  
mundo em termos de  
estados da matéria  
desconexos entre si.

Os fenômenos são inter-  
pretados como uma suces-  
são de fatos relacionados  
entre si por meio de certos  
processos.

Os fenômenos são in-  
terpretados a partir do  
conjunto de relações  
complexas que fazem  
parte de um sistema.

Princípios conceituais

Os fenômenos e fatos  
são descritos em função  
das propriedades e mu-  
danças observáveis.

Os fenômenos são expli-  
cados mediante relações  
causais simples que evo-  
luem para diferentes graus  
de complexidade.

As propriedades dos  
corpos e os fenôme-  
nos são interpretados  
como um sistema de  
relações de interação.

Somente muda aquilo  
que vemos que se altera.  
Há necessidade de expli-  
car o que muda, mas não  
o que permanece.

Aceita-se a conservação de  
propriedades não observá-  
veis, mas não o equilíbrio.

Os diferentes fenômenos  
são interpretados em  
termos de interação, o  
que leva à conservação e  
ao equilíbrio.

Os fenômenos são inter-  
pretados de maneira  
qualitativa.

Utilização de regras simpli-  
ficadoras.

Proporção, probabili-  
dade, correlação.

Esta tendência realista parece estar muito enraizada no sistema cognitivo humano. De fato, as primeiras concepções sobre o conhecimento e sua aquisição, que surgem na infância, em uma idade tão precoce como 3-4 anos, parecem já ter um forte componente realista, segundo o qual nosso conhecimento é uma cópia ou um reflexo direto de como são as coisas, e aprender não é senão reproduzir ou repetir aquilo que vemos (Pozo e Scheuer, 1999). Em suas versões mais primitivas e ingênuas, esta concepção dá lugar às teorias da cópia direta, segundo as quais basta ver algo para saber fazê-lo. Assim, uma criança de 4 anos dirá que para aprender a desenhar basta ver um desenho bem feito. Mas esta concepção parece evoluir e complicar-se com a idade e a instrução, até chegar ao que poderíamos denominar "realismo interpretativo", segundo o qual, apesar de a meta do aprendizado consistir em copiar a estrutura do mundo e o nosso conhecimento não ser senão o reflexo da realidade, seria quase sempre um reflexo inexacto ou enviesado da estrutura do mundo, e não uma cópia fiel dele – uma vez que diversos processos de aprendizagem e condições práticas poderiam interferir nessa aprendizagem ou descoberta da estrutura real do mundo. Dito de outra maneira, o verdadeiro conhecimento – neste caso, por exemplo, o conhecimento científico – deveria ser uma cópia exata – quanto mais exata for a cópia, melhor o conhecimento –, mas essa fidelidade quase nunca se consegue, dado que existem numerosos obstáculos que o impedem (cognitivos, perceptivos, sociais, etc.). O mundo é de uma forma determinada e possui uma estrutura e características dadas, e conhecer é descobri-las, ou ter acesso a elas, apesar de que nem sempre é possível conseguir isso. Segundo essa concepção, um conhecimento é melhor quanto mais exato for, ou seja, quanto mais se aproximar da verdadeira natureza

do mundo. E, evidentemente, o conhecimento científico é mais exato e verdadeiro do que outras formas de conhecer o mundo, como o conhecimento cotidiano.

É assim que muitos professores parecem conceber a aquisição do conhecimento científico por parte de seus alunos, que seria obstaculizada pelas suas concepções alternativas, sua falta de motivação, seu pouco desenvolvimento cognitivo, etc., os quais impediriam que aprendessem verdadeiramente a ciência (Pozo et al., 1998; Strauss e Shilony, 1994). As ideias prévias dos alunos seriam *concepções errôneas*, desviadas do saber verdadeiro e, portanto, deveriam ser eliminadas para que houvesse uma compreensão correta do mundo. Da mesma maneira, muitos alunos que superam um realismo imediato percebem a ciência como uma interpretação da realidade que obriga a transcender certas aparências perceptivas, mas respeitando a natureza real dos modelos científicos. Certas características reais do mundo não podem ser percebidas diretamente em condições normais (como os átomos, as células ou a corrente elétrica), mas podem ser interpretadas a partir de certas experiências. Para esses alunos, o átomo, a energia ou a força seriam uma parte não perceptível da realidade, existiriam realmente, mesmo que só possam ser conhecidas por meio do filtro de certas experiências científicas. Como veremos no Capítulo 7, o *substantialismo* ou materialismo dos alunos, quando atribuem entidade material a boa parte dos conceitos científicos (Viennot, 1996), não passa de mais uma manifestação de sua fé realista: se algo existe na minha mente, deve existir, como uma entidade material, também no mundo.

Em compensação, a partir de uma posição *construtivista*, como a que defendemos no Capítulo 1, na aprendizagem do conhecimento científico, tal como é gerado e difundido na sociedade atual, assume-se que todos os modelos e teo-

rias são uma construção ou invenção social em resposta a certas demandas ou necessidades práticas e teóricas e que a ciência, como assinalávamos no capítulo anterior ao destacar as características do pensamento formal piagetiano, não é um discurso sobre o real, mas, sim, sobre modelos possíveis. Conhecer não é descobrir a realidade, é elaborar *modelos alternativos* para interpretá-la. Somente assim é possível entender o verdadeiro valor da ciência e sua contribuição para a compreensão do mundo. Para muitos alunos, a ideia newtoniana do movimento devido à inércia no vazio é menos realista do que suas próprias intuições, uma vez que em seu mundo real não existe vazio; pelo contrário, ele está bem cheio de percepções e sensações intensas sobre como mover os objetos e ser movido por eles. Em nosso mundo real – ou seja, no mundo proporcionado por nossos sentidos com uma aparência de realidade –, para mover um objeto é necessário exercer uma força. No modelo construído por Newton, as forças são necessárias para mudar a quantidade de movimento, mas não para que os objetos em movimento continuem se movendo.

Somente superando essas crenças realistas tão intensas é possível assumir uma ideia deste tipo, que significa adotar uma posição *relativista* ou *perspectivista*, segundo a qual existem diversas formas de conhecer a mesma realidade e nenhuma delas é necessariamente verdadeira, senão que cada uma é relativa ao marco teórico e às necessidades práticas que enfrenta. Como mostrou Eduardo Mortimer (1995), perante a concepção de muitos professores que apresentam uma teoria ou modelo atômico dado como verdadeiro, apoiado em certas definições taxativas como, por exemplo, "o átomo é a menor porção de um elemento químico que tem existência própria", existem diversos modelos de átomo com uma vigência relativa em diferentes domí-

nios e tarefas. Não se trata de assumir um deles como verdadeiro e os outros como falsos, mas de compreender sua eficácia relativa em diferentes contextos. Da mesma maneira, afirmar que a mecânica clássica foi superada pela mecânica quântica ou pela relativista não quer dizer que ela seja falsa e deva ser abandonada, mas que sob determinadas condições – não as mais cotidianas a juízo dos nossos sentidos, é claro – seus princípios não se cumprem. A mesma coisa ocorre, em outra escala, com o conhecimento cotidiano quando comparado ao científico. Não é que seja falso – de fato, permite fazer muitas premissões que acabam se cumprindo –, mas que é insuficiente para certas condições ou contextos. Ou seja, nenhuma teoria é completa ou total, nenhum modelo pode ser igual à realidade que tenta representar, do mesmo modo que – retomando a precisa metáfora de Borges naquele texto significativamente intitulado *Do rigor na ciência* – um mapa nunca pode ser fisicamente igual ao território que representa, dado que, nesse caso, seria o próprio território e não mais seria útil como mapa; então, é um modelo, um esquema incompleto e parcial desse território. Além disso, se bem é verdade que alguns mapas parecem mais do que outros com os territórios que representam, não há mapas verdadeiros nem falsos em si, senão que tudo depende do contexto e das metas para os quais nós os usamos. Um mapa do metrô de Nova York será inadequado se o que desejo é passar pelas ruas de Greenwich Village, mas um mapa de ruas será pouco útil se o que quero é utilizar o metrô. Ou, em outras palavras, por mais rigor que se tenha, na ciência nunca se alcança o conhecimento verdadeiro no sentido de que reproduza exatamente o mundo real. O que teremos são modelos cada vez mais complexos e potentes para prever, explicar e simular a estrutura do mundo.



### Mudança ontológica

Porém, a mudança epistemológica na própria natureza do conhecimento requer também utilizar novas entidades ontológicas de uma complexidade crescente. O realismo ingênuo das crianças costuma reduzir os fenômenos a estados – as coisas são de uma certa forma porque são assim. Boa parte das explicações, ou redescobertas, das crianças são tautológicas, limitam-se a afirmar ou descrever o estado do mundo sem remetê-lo a outras entidades conceituais. O mundo divide-se em objetos em repouso e em movimento, sólidos, líquidos e gases, leves e pesados, quentes e frios, vivos e não vivos, moles e duros, etc., sem que cada uma dessas entidades ou categorias precise ser redescrita ou explicada em termos de outra categoria, dado que constituem estados materiais, do mesmo modo que para alguns professores os alunos estão divididos em espertos, preguiçosos, desmotivados, etc., que são diversos estados mentais. A partir de uma certa idade, as crianças tendem a superar as interpretações animistas, ou seja, a confusão entre estados mentais e materiais, e por isso quando forem aprender ciência tenderão a utilizar sobretudo interpretações baseadas em estados materiais, mais uma vez vinculadas à mencionada substancialização dos conceitos científicos, embora ainda persistam certas interpretações animistas no âmbito do conhecimento biológico.

Essa interpretação do mundo em termos de estados da matéria sucessivos ou desconectados entre si é própria do conhecimento cotidiano e, em muitos contextos, permite muitas previsões a partir das características concretas associadas a cada estado, mas é insuficiente para explicar ou dar sentido a esses estados, para o qual é preciso relacioná-los a certos processos, que conectem esses estados entre si e permitam explicar a transição

de um para outro (como um objeto em repouso põe-se em movimento, como um líquido se transforma em um gás, como esfria um objeto quente, etc.). O fenômeno observado não é mais apenas um estado, é um processo, ou seja, segundo a classificação ontológica estabelecida por Chi (1992; Chi, Slotta e Leeuw, 1994; ver Figura 4.4.), uma sucessão ou uma cadeia de fatos na qual um deles, o antecedente, é causa direta do outro, o consequente. Como veremos mais adiante, esses processos geralmente possuem certos traços estruturais restritivos (são unidirecionais, lineares, etc.), mas mesmo assim, passar de conceber os fenômenos como estados para concebê-los como processos supõe uma mudança ontológica importante para a aprendizagem da ciência, uma vez que implica estabelecer relações entre os conceitos. Por exemplo, o calor passa de ser um estado a ser um processo, uma relação entre dois ou mais estados, ou as mudanças entre os diversos estados de agregação da matéria são interpretadas em termos de relações de temperatura e densidade, ou seja, a mudança já não ocorre entre qualidades isoladas atribuídas a certos estados da matéria, senão que envolve um processo que relaciona esses estados.

A atribuição da categoria de processo a um fenômeno pode, contudo, ir crescendo em complexidade na medida em que forem incorporados ou somados novos fatores causais à explicação do fato, que geralmente é um passo prévio à compreensão das relações em termos de sistemas, tal como faz a ciência, nos quais o que é relevante não são apenas os processos imediatos que produziram essa mudança no estado da matéria (por exemplo, que um objeto se ponha em movimento), mas o conjunto de relações impostas por um determinado modelo para explicar esse fenômeno (por exemplo, o modelo newtoniano como marco interpretativo do mo-

vimento e repouso dos objetos). De fato, como veremos a seguir, o conhecimento científico não costuma estar baseado tanto em relações lineares simples, em análises de processos, como em interações complexas dentro de sistemas de equilíbrio. Assim, o movimento de um objeto ou de um planeta não se explica como um processo gerado por um agente causal, mas como o produto da interação entre todos os corpos que configuram o sistema a que pertencem. Igualmente, as mudanças no estado de agregação da matéria não são resultado de um processo linear, unidirecional, no qual, por exemplo, "o calor provoca a evaporação da água" (um processo), senão que se explicam a partir das interações entre as partículas que configuram o sistema. Observamos, assim, uma característica essencial da mudança conceitual como integração de diferentes formas de conhecimento, tal como será argumentado no próximo capítulo: assim como os diferentes estados passavam a se relacionar por meio de processos, os diferentes processos relacionam-se entre si dentro de um sistema.

Cada nível de análise ontológico não deveria abandonar os conhecimentos do nível anterior, senão que deveria integrá-los – ou, em termos de Karmiloff-Smith (1992), redescrivê-los – em novas categorias ontológicas com uma complexidade maior. Portanto, essa redistribuição ontológica deve ser concebida, mais uma vez, como uma via ou sequência de construção com uma complexidade progressiva que, como veremos no próximo capítulo, não precisa supor o abandono das entidades ontológicas mais simples, senão, mais precisamente, deve ser sua reinterpretção ou integração em outras mais complexas. Em determinados níveis de análise, um fenômeno pode ser representado como um processo linear, ou mesmo como um estado ou um fato dado, mas obviamente isso empobrece seu significado.

### Mudança nas estruturas conceituais

A interpretação dos fenômenos em termos de sistemas, que acabamos de considerar como uma característica própria do conhecimento científico, requer também mudar as estruturas conceituais a partir das quais se interpretam, na tripla dimensão que assinalamos com certo detalhe umas páginas atrás; portanto, vamos nos limitar aqui a resumir essas ideias. Por um lado, como acabamos de ver, há uma transição entre aceitar os diferentes fenômenos como fatos, como algo dado que nem ao menos requer ser remetido a outro fato ou que, no máximo, dá lugar a uma explicação tautológica ("uma bala desmancha na água porque é mole" ou "porque é feita de substâncias solúveis") e o momento em que começamos a nos relacionar com certos processos de causalidade linear, baseados em esquemas simples, unidirecionais, nos quais um agente atua de modo linear e unidirecional sobre um objeto, produzindo uma mudança em seu estado (Andersson, 1986) – "a bala desmancha devido à ação da água", "porque a água dissolve as moléculas do caramelo". Essas interpretações causais lineares adotam a forma de certos esquemas ou regras simplificadoras, que foram abundantemente estudadas não só em relação ao pensamento causal cotidiano (Pozo, 1987), mas com as próprias regras da aprendizagem associativa, e viriam a ser os esquemas de causalidade apresentados anteriormente, ao estudar a origem das concepções alternativas dos alunos: regras de semelhança, covariação e contigüidade entre causa e efeito.

Essas análises causais lineares vão se tornando mais complexas à medida que são incorporados ou somados mais fatores causais, passando de uma causalidade simples, de um único fator ou agente, para uma causalidade múltipla, em que a ação de várias causas se soma, mas mantendo



o esquema conceitual básico, baseado na unidirecionalidade da ação causal. Seria necessário que houvesse uma mudança nas estruturas conceituais para que essas relações aditivas unidirecionais, centradas na mudança, sejam transformadas em sistemas de interação (por exemplo, remetendo a dissolução da bala à interação entre ela e o solvente). Diante da interpretação da oxidação como uma relação causal linear (é um pó vermelho que flutua no ar e que se deposita sobre um prego que tenhamos deixado à intempérie) aparece uma interpretação em termos de uma *interação*, ou seja, uma ação mútua entre dois ou mais fatores dentro de um sistema. A compreensão da natureza corpuscular da matéria, dos conceitos de movimento intrínseco e vazio, ou a transição entre os diferentes estados da matéria em termos desse modelo requer entender essas relações como interações (Gómez Crespo, 1896; Pozo e Gómez Crespo, 1997b; ver também Capítulo 6). Entender as noções científicas básicas de calor, energia, força e movimento ou corrente elétrica significa interpretá-las também como relações de interação dentro de um sistema físico (Gómez Crespo et al., 1995; Viennot, 1996; ver também Capítulo 7). Da mesma maneira, entender o funcionamento do corpo humano, a saúde e a doença ou as relações dentro de um ecossistema como um sistema de interações é um requisito essencial para a compreensão de alguns conceitos biológicos fundamentais (Arca, 1995). O conceito de interação é, em nossa opinião, um dos esquemas conceituais sobre os quais se assenta o conhecimento científico e um dos que traz maiores dificuldades para os alunos na aprendizagem da ciência, como veremos na Parte II do livro.

Outro dos esquemas conceituais básicos da ciência, estreitamente vinculado à ideia de interação, é a noção de equilíbrio, cuja construção também é muito laborio-

sa, uma vez que os alunos, no início, estão mais centrados nas mudanças do que nos estados (Driver, Guesne e Tiberghien, 1985; Pozo et al., 1991). Isso leva a que no começo prestem mais atenção ao que muda do que ao que permanece além da mudança, ou, em outras palavras, fazem uma ligação com ideias desenvolvidas anteriormente, tendem a conceber os estados e as mudanças em separado, sem conectá-los entre si, de maneira que quando ocorre uma mudança observável tendem a concebê-la como uma "mudança de estado", que envolve uma reatuação ontológica (aquilo que tinha as propriedades de um líquido passa a ter as propriedades de um gás), mas não uma constância ou permanência de propriedades. As célebres conservações piagetianas (do peso, do volume, da quantidade de matéria, mas também do espaço ou do tempo) – ver, por exemplo, Delval, 1994; Flavell, 1985; ou para uma análise em termos de processos de mudança conceitual, Benlloch, 1997 – envolvem a aplicação de um novo esquema conceitual de *mudança com conservação*, razão pela qual certas propriedades se conservam além da mudança aparente. As conservações de propriedades observáveis ou que podem ser inferidas por meio da observação serão mais simples e precisas do que as conservações não observáveis. De qualquer maneira, com muita frequência os alunos interpretam a conservação e a mudança dessas diversas propriedades de maneira independente, sem conectá-las dentro de um sistema. Assim, por exemplo, quando se enche um balão, ele aumenta seu volume devido à ação do calor, as crianças podem compreender que se conserva a quantidade de ar que há dentro do balão, mas não conseguem relacionar essa conservação com as mudanças que ocorrem na densidade, no volume ou na temperatura do ar (Benlloch, 1997; Benlloch e Pozo, 1996). Somente quando

compreendem todas essas relações de mudança e conservação dentro de um sistema podem ter uma representação da situação em termos de *equilíbrio*. A conservação da energia, da quantidade de movimento, da matéria, ou a própria conservação dentro de um sistema biológico exigem a utilização de noções baseadas na *conservação e no equilíbrio dentro* de um sistema, outros dos esquemas conceituais característicos do conhecimento científico, sem o qual os conceitos específicos (calor, energia, substância, fotossíntese, etc.) não podem ser interpretados do modo em que a ciência faz suas interpretações.

Contudo, o conhecimento científico normalmente requer não apenas estabelecer novas relações qualitativas entre os conceitos, mas também medir e quantificar essas relações de acordo com regras complexas, diante das quais tendemos, no conhecimento cotidiano, a utilizar simples *relações qualitativas ou regras heurísticas* alternativas (Pérez Echeverría, 1990), que, apesar de serem aproximativas e imprecisas, geralmente são muito funcionais do ponto de vista cognitivo, dado que aplicá-las consome poucos recursos cognitivos e podem ter um grau apreciável de ajuste, o que, mais uma vez, mostra que não se deve esperar que a educação científica signifique o abandono dessas regras, senão que ela deve estabelecer certas restrições em seu uso.

A utilização de esquemas de *proporção, probabilidade e correlação*, próprios das teorias científicas, requer condições de rigor e controle em sua aplicação, que dificilmente são encontradas em contextos e problemas cotidianos, muitas vezes caracterizados pela imprecisão e indefinição (Claxton, 1991; Pozo e Gómez Crespo, 1997b). Ainda que a meteorologia utilize complexos cálculos probabilísticos para, a partir de um cenário dado, estimar as probabilidades de chuva, nossa estima-

tiva é baseada em apreciações qualitativas ou em regras heurísticas que utilizam dados parciais e que, geralmente, têm algum viés. Mais uma vez, a aprendizagem da ciência vai exigir que essas situações e os esquemas de conhecimento cotidiano úteis nesses casos sejam reinterpretados ou redefinidos em termos de outros esquemas mais complexos, mas também mais exigentes, razão pela qual seu uso só se justifica em certos contextos e para certas metas.

Portanto, se aceitamos que existem diferenças epistemológicas, ontológicas e conceituais entre as teorias implícitas dos alunos e as teorias científicas que se pretende ensinar a eles – algumas dessas diferenças são apresentadas nas análises que temos feito – e que aprender ciência requer, de algum modo, superar ou transcender essas diferenças, todos os currículos de ciências devem adotar uma postura explícita sobre sua existência e sobre a forma de superar essas teorias. Em nossa opinião, a partir da análise que descrevemos, uma das metas essenciais da educação científica deve ser justamente a de favorecer as relações entre as formas de conhecimento cotidiano e de conhecimento científico. Como veremos no próximo capítulo, também existem diferentes maneiras de conceber essas relações e elas implicam, por sua vez, diferentes modos de expor o currículo de ciências. Apesar de, da nossa parte, já termos avançado uma forma de transcendê-las, baseada na integração entre ambas as formas de conhecimento, mais do que na substituição de uma pela outra, para compreender melhor sua natureza convém repassar as diversas formas de entender as relações entre o conhecimento cotidiano, que se dão não só de modo explícito na pesquisa, mas principalmente de modo implícito nas salas de aula, por meio da prática cotidiana no aprendizado e no ensino das ciências.