

Capítulo 2*

Superação das visões deformadas da ciência e da tecnologia: Um requisito essencial para a renovação da educação científica

Temos dedicado o primeiro capítulo deste livro a expor as razões que apoiam a ideia de uma alfabetização científica para todos os cidadãos e cidadãos e temos analisado as reticências e barreiras sociais que se têm oposto (e continuam a opor-se) a uma educação científica generalizada, com argumentos que expressam implicitamente a oposição à ampliação do período de escolaridade obrigatória para todos os cidadãos, a suposta incapacidade da maioria da população para uma formação científica, etc.

A educação científica aparece assim como uma necessidade do desenvolvimento social e pessoal. Mas as expectativas postas na contribuição das ciências nas humanidades modernas (Langevin, 1926) não se tem cumprido, e assistimos

* Este capítulo está baseado no conteúdo dos seguintes artigos: GIL-PÉREZ, D., FERNÁNDEZ, I., CARRASCOSA, J., CACHAPUZ, A. e PRAIA, J. (2001). Por uma imagem não deformada do trabalho científico. *Ciência & Educação*, 7 (2), 125-153.

MAIZTEGUI, A., ACEVEDO, J. A., CAAMAÑO, A., CACHAPUZ, A., CAÑAL, P., CARVALHO, A. M. P., DEL CARMEN, L., DUMAS CARRÉ, A., GARRITZ, A., GIL-PÉREZ, D., GONZÁLEZ, E., GRAS-MARTÍ, A., GUIASOLA, J., LÓPEZ-CEREZO J. A., MACEDO, B., MARTÍNEZ-TORREGROSA, J., MORENO, A., PRAIA, J., RUEDA, C., TRICÁRICO, H., VALDÉS, P. e VILCHES, A. (2002). Papel de la tecnología en la educación científica: una dimensión olvidada. *Revista Iberoamericana de Educación*, 28, 129-155.

a um fracasso generalizado e, o que é pior, a uma crescente recusa dos estudantes para a aprendizagem das ciências e incluso para a própria ciência.

Esta preocupante distância entre as expectativas postas na contribuição da educação científica na formação de cidadãos conscientes das repercussões sociais da ciência — e susceptíveis de se incorporarem numa percentagem significativa, às suas tarefas — e a realidade de uma ampla recusa da ciência e da sua aprendizagem, tem terminado por dirigir a atenção para como se está levando a cabo essa educação científica.

Esta análise do ensino das ciências, tem mostrado entre outras coisas, graves discordâncias da natureza da ciência que justificam, em grande medida, tanto o fracasso de um bom número de estudantes, como a sua recusa à ciência. Compreendeu-se, pois, como afirmam Guilbert e Meloche (1993), que o melhoramento da educação científica exige como requisito iniludível, modificar a imagem da natureza da ciência que nós os professores temos e transmitimos.

Com efeito, numerosos estudos mostraram que o ensino transmite visões da ciência que se afastam notoriamente da forma como se constróem e evolucionam os conhecimentos científicos (McComas, 1998; Fernández, 2000; Gil-Pérez et al., 2001). Visões empobrecidas e distorcidas que criam o desinteresse, quando não a rejeição, de muitos estudantes e se convertem num obstáculo para a aprendizagem.

Isto está relacionado com o facto de que o ensino científico — incluindo o universitário — reduziu-se basicamente à apresentação de conhecimentos já elaborados, sem dar ocasião aos estudantes de se aproximarem das actividades características do trabalho científico (Gil-Pérez et al., 1999). Deste modo, as concepções dos estudantes — incluindo as dos futuros docentes — não se afastam daquilo a que se pode chamar uma imagem “folk”, “naif” ou “popular” da ciência, socialmente aceite, associada a um suposto Método Científico, com maiúsculas, perfeitamente definido (Fernandez et al., 2002).

Poder-se-ia argumentar que esta dissonância carece no fundo de importância já que não impediu os docentes de desempenharem a tarefa de transmissores dos conhecimentos científicos. No entanto, as limitações de uma educação científica centrada numa mera transmissão de conhecimentos — limitações postas em relevo por uma abundante literatura, recolhida em boa medida nos Handbooks já publicados (Gabel, 1994; Fraser e Tobín, 1998; Perales e Cañal, 2000), deram origem a investigações que evidenciam concepções epistemológicas desadequadas e mesmo incorrectas como um dos principais obstáculos aos movimentos de renovação da Educação Científica.

Compreendeu-se, assim, que se quisermos trocar o que os professores e alunos fazem nas aulas científicas, é preciso previamente modificar a epistemologia dos professores (Bell e Pearson, 1992). E ainda que, possuir concepções válidas sobre a ciência não garante que o comportamento docente seja coerente com ditas concepções, este constitui um *requisito sine qua non* (Hodson, 1993). O estudo de ditas concepções tem-se convertido, por essa razão, numa potente linha de investigação e tem proposto a necessidade de estabelecer no que se pode compreender como uma imagem basicamente correcta sobre a natureza da ciência e da actividade científica, coerente com a epistemologia actual. Isto é o que pretendemos abordar neste capítulo.

Possíveis visões deformadas da ciência e da tecnologia

Somos conscientes da dificuldade que implica falar de uma “imagem correcta” da actividade científica, que parece sugerir a existência de um suposto método universal, de um modelo único de desenvolvimento científico. É preciso, evitar qualquer interpretação deste tipo, mas não se consegue renunciar do a falar das características da actividade científica, mas sim com um esforço consciente para evitar simplismos e deformações claramente contrárias ao que se pode compreender, no sentido amplo, como “aproximação científica do tratamento de problemas”.

Tratar-se-ia, em certo modo, de aprender por via negativa uma actividade complexa que parece difícil de caracterizar positivamente. Temos proposto esta actividade a numerosas equipas de docentes, solicitando-lhes que expliquem, a título de hipóteses, quais podem ser as concepções erróneas sobre a actividade científica a que o ensino das ciências deve prestar atenção, evitando a sua transição explícita e implícita.

Poderia pensar-se que esta actividade deve ser escassamente produtiva já que se está pedindo aos professores, que temos por hábito cair nestas deformações, que investiguem quais podem ser estas. No entanto, ao criar-se uma situação de investigação (preferivelmente colectiva), nós, professores, podemos distanciar-nos criticamente das nossas concepções e práticas habituais, fruto de uma impregnação ambiental, que não havíamos tido ocasião de analisar e valorizar.

O resultado deste trabalho é que as deformações conjecturadas são sempre as mesmas; ou melhor, não só se assinalam sistematicamente as mesmas deformações, senão que se observa uma notável coincidência na frequência com que cada uma é mencionada.

Cabe assinalar, por outra parte, que se se realiza uma análise bibliografia, procurando referências a possíveis erros e simplismos na forma em que o ensino das ciências apresenta a natureza da ciência, os resultados de dita análise são surpreendentemente coincidentes com as conjunturas das equipas de docentes no que se referem às deformações mencionadas, e em geral, incluindo a frequência com que o são (Fernandez, 2000). Esta coincidência básica mostra a efectividade da reflexão das equipas de docentes.

Convém ponderar e discutir as deformações conjecturadas (como veremos, *estritamente relacionadas entre si*), que expressam, no seu conjunto, uma imagem ingénua profundamente afastada do que supõe a construção dos conhecimentos científicos, mas que se foi consolidando até se converter num estereótipo socialmente aceite que, insistimos, a própria educação científica reforça por acção ou omissão.

1. Uma visão descontextualizada

Decidimos começar por uma deformação criticada por todas as equipas de docentes implicadas neste esforço de clarificação e por uma abundante literatura: a transmissão de uma visão descontextualizada, socialmente neutra que esquece dimensões essenciais da actividade científica e tecnológica, como o seu impacto no meio natural e social, ou os interesses e influências da sociedade no seu desenvolvimento (Hodson, 1994). Ignora-se, pois, as complexas relações CTS, Ciência-Tecnologia-Sociedade, ou melhor CTSA, agregando a A de Ambiente para chamar a atenção sobre os graves problemas de degradação do meio que afectam a totalidade do planeta. Este tratamento descontextualizado comporta, muito em particular, uma falta de clarificação das relações entre a ciência e a tecnologia.

Com efeito, habitualmente a tecnologia é considerada uma mera aplicação dos conhecimentos científicos. De facto, a tecnologia tem sido vista tradicionalmente como uma actividade de menor status que a ciência “pura” (Acevedo, 1996; DeVries, 1996; Cajas, 1999 e 2001), por mais que isso tenha sido refutado por epistemólogos como Bunge (1976 e 1997). Até muito recentemente, o seu estudo não tem formado parte da educação geral dos cidadãos (Gilbert, 1992 e 1995), senão que tem ficado relegado ao nível do secundário, e à chamada formação profissional, que estava orientada para estudantes com o pior rendimento escolar, frequentemente vindos dos sectores sociais mais desfavorecidos (Rodríguez, 1998). Isto responde à tradicional primazia social do trabalho “intelectual” frente

às actividades práticas “manuais”, próprias das técnicas (Medway, 1989; Lopez Cubino, 2001).

É relativamente fácil, no entanto, questionar esta visão simplista das relações ciência-tecnologia: basta reflectir brevemente sobre o desenvolvimento histórico de ambas (Gardner, 1994) para compreender que a actividade técnica precedeu em milénios a ciência e que, por tanto, de modo algum pode considerar-se como mera aplicação de conhecimentos científicos. A este respeito, cabe sublinhar que os dispositivos e instalações, e em geral os inventos tecnológicos, não podem ser considerados como meras aplicações de determinadas ideias científicas. Em primeiro lugar, porque eles têm uma pré-história que muitas vezes é independente de ditas ideias como, muito em particular, necessidades humanas que têm vindo a evoluir, outras invenções que lhe precederam ou conhecimentos e experiências práticas acumuladas de muitas diversas índoles. Assim, o desvio de uma agulha magnética por uma corrente eléctrica (experiência de Oersted, efectuada em 1819), por si só não sugeria a sua utilização para a comunicação à distância entre as pessoas. Advertiu-se essa possibilidade, só porque a comunicação á distância era uma necessidade crescente, e já se haviam desenvolvido antes outras formas de “telegrafia” sonora e visual, nas quais se empregavam determinados códigos; também se tinham construído baterias de potência considerável, longos condutores e outros dispositivos que se tornavam imprescindíveis para o invento da telegrafia. Isto permite começar a romper com a ideia comum da tecnologia como subproduto da ciência, como um simples processo de aplicação do conhecimento científico para a elaboração de artefactos (o que reforça o suposto carácter neutro, alheio a interesses e conflitos sociais, do binómio ciência-tecnologia).

Mas, o mais importante é clarificar o que a educação científica dos cidadãos e cidadãs perde com esta desvalorização da tecnologia. Isto obriga a perguntar-nos, como faz Cajas (1999), se há algo característico da tecnologia que possa ser útil para a formação científica dos cidadãos e que nós, os professores de ciências, não estamos a tomar em consideração.

Ninguém pretende hoje, evidentemente, traçar uma separação entre a ciência e a tecnologia: desde a revolução Industrial os técnicos incorporaram de uma forma crescente as estratégias da investigação científica para produzir e melhorar os seus produtos. A interdependência da ciência e da tecnologia continua crescendo devido à sua incorporação nas actividades industriais e produtivas, e isso torna hoje difícil, e ao mesmo tempo, desinteressante classificar um trabalho como puramente científico ou puramente tecnológico.

Interessa destacar, pelo contrário, alguns aspectos das relações ciência tecnologia, com o objectivo de evitar visões deformadas que empobrecem a educação científica e tecnológica. O objectivo dos técnicos tem sido e vai sendo, fundamentalmente, produzir e melhorar os artefactos, sistemas e procedimentos que satisfaçam necessidades e desejos humanos, mais do que contribuir à compreensão teórica, ou seja, à construção de corpos coerentes de conhecimentos (Mitcham, 1989; Gardner, 1994). Isto não significa que não utilizem ou construam conhecimentos, senão que os constroem para *situações específicas* reais (Cajas 1999) e logo, complexa, em que não é possível deixar de um lado toda uma série de aspectos que numa investigação científica podem ser obviados como não relevantes, mas que é preciso contemplar no desenho e manuseamento de produtos tecnológicos que devem funcionar na vida real.

Deste modo, o estudo resulta ao mesmo tempo mais limitado (interessa resolver uma questão específica, não construir um corpo de conhecimentos) e mais complexo (não é possível trabalhar em condições “ideais”, fruto de análises capazes de eliminar influências “espúrias”). Assim “como” converte-se na pergunta central, por cima do “porquê”. Um “como” ao qual, geralmente, não se pode responder unicamente a partir de princípios científicos: ao passar dos desenhos à realização de protótipos e destes à optimização dos processos para a sua produção real, são inumeráveis — e, com frequência inesperados — os problemas que devem resolver-se. O resultado final tem que ser o funcionamento correcto, em situações requeridas, dos produtos desenhados (Moreno, 1988).

Esta complexa interacção de compreensão e acção em situações específicas mas reais, não “puras”, é o que caracteriza o trabalho tecnológico (Hill, 1998; Cajas, 1999). Como vemos, de modo algum pode conceber-se a tecnologia como mera aplicação dos conhecimentos científicos. Não devemos pois, ignorar nem desvalorizar os processos de desenho necessários para converter em realidade os objectos e sistemas tecnológicos e para compreender o seu funcionamento. A apresentação destes produtos como *simples aplicação de algum princípio científico* só é possível na medida em que não se presta a atenção real à tecnologia. *Perde-se assim uma ocasião privilegiada para conectar com a vida diária dos estudantes*, para os familiarizar com o que supõe a concepção e realização prática de artefactos e o seu manuseamento real, superando os habituais tratamentos puramente livrescos e verbalistas.

Estes planeamentos afectam também, em geral, as propostas de incorporação da dimensão CTSA que se têm centrado em promover a absolutamente necessária contextualização da actividade científica, discutindo a relevância dos

problemas abordados, estudando as suas aplicações e possíveis repercussões (pondo ênfase na tomada de decisões), mas afastando outros aspectos chave do que supõe a tecnologia: a análise meios-fins, o desenho e a realização de protótipos (com a resolução de inúmeros problemas práticos), a optimização dos processos de produção, a análise risco-custo-benefício, a introdução de melhoras sugeridas pelo uso, ou seja, tudo o que supõe a realização prática e o manuseamento real dos produtos tecnológicos de que depende a nossa vida diária.

De facto, as referências mais frequentes das relações CTSA que incluem a maioria dos textos escolares de ciências reduzem-se à enumeração de algumas *aplicações* dos conhecimentos científicos (Solbes e Vilches, 1997), caindo assim numa exaltação simplista da ciência como factor absoluto de progresso.

Frente a esta ingénua visão de raiz positivista começa a alargar-se uma tendência a descarregar sobre a ciência e a tecnologia a responsabilidade da situação actual de deterioração crescente do planeta, o que não deixa de ser uma nova simplificação maniqueísta em que resulta fácil cair e que chega a afectar, inclusive, alguns livros de texto (Solbes e Vilches, 1998). Não podemos ignorar, a este respeito, que são os científicos quem estudam os problemas que hoje enfrenta a humanidade, advertem dos riscos e encontram soluções (Sánchez Ron, 1994). Evidentemente, não só os cientistas, nem todos os cientistas. É certo que são também cientistas e técnicos quem têm produzido, por exemplo, os compostos que estão destruindo a camada de ozônio, *mas em conjunto com ecologistas, políticos, empresários e trabalhadores*. As críticas e as chamadas à responsabilidade devem estender-se a *todos*, incluindo os “simples” consumidores de produtos nocivos.

Esquecer a tecnologia é expressão de visões puramente operativistas que ignoram completamente a contextualidade da actividade científica, como se a ciência fosse um produto elaborado em torres de marfim, à margem das contingências da vida ordinária. Trata-se de uma visão que se conecta com a que contempla aos cientistas como seres especiais, génios solitários, que falam uma linguagem abstracta, de difícil acesso. A visão descontextualizada vê-se reforçada, pois, pelas concepções individualistas e elitistas da ciência.

2. Uma concepção individualista e elitista

Esta é, junto à visão descontextualizada que acabamos de analisar — e à qual está estreitamente ligada — outra das deformações mais frequentemente

assinaladas pelas equipas de docentes e também mais tratadas na literatura. Os conhecimentos científicos aparecem como obra de génios isolados, ignorando-se o papel do trabalho colectivo, dos intercâmbios entre equipas, essenciais para favorecer a criatividade necessária para abordar situações abertas, não familiares (Solomon, 1987; Linn, 1987). Em particular, deixa-se acreditar que os resultados obtidos, por um só cientista ou equipa podem bastar para verificar ou falsear uma hipótese ou inclusive toda uma teoria.

Frequentemente insiste-se, explicitamente, em que o trabalho científico é um domínio reservado a minorias especialmente dotadas, transmitindo expectativas negativas para a maioria dos alunos, e muito em particular, das alunas, com claras discriminações de natureza social e sexual: a ciência é apresentada como uma actividade eminentemente “masculina”.

Contribui-se, além disso, a este elitismo escondendo o significado dos conhecimentos por detrás de apresentações exclusivamente operativistas. Não se realiza um esforço para tornar a ciência acessível (começando com tratamentos qualitativos, significativos), nem por mostrar o seu carácter de construção humana, na que não faltam confusões nem erros, como os dos próprios alunos.

Em algumas ocasiões encontramos-nos com uma deformação de sinal oposto que contempla a actividade científica como algo simples, próximo do sentido comum, esquecendo que a construção científica parte, precisamente, do questionamento sistemático do óbvio (Bachelard, 1938), mas em geral, a concepção dominante é a que contempla a ciência como uma actividade de génios isolados.

A falta de atenção à tecnologia contribui a esta visão individualista e elitista: por uma parte, obvia-se a complexidade do trabalho científico-tecnológico que exige, como já temos assinalado a integração de diferentes classes de conhecimentos, dificilmente assumidos por uma única pessoa; por outra parte, menospreza-se a contribuição de técnicos, mestres de oficina, etc., que com frequência têm tido um papel essencial no desenvolvimento científico-tecnológico. O ponto de partida da Revolução Industrial, por exemplo, foi a máquina de Newcomen, que era fundidor e ferreiro. Como afirma Bybee (2000), “Ao revisar a investigação científica contemporânea, não se pode escapar à realidade de que a maioria dos avanços científicos estão baseados na tecnologia”. Isto questiona a visão elitista, socialmente assumida, de um trabalho científico-intelectual por cima de um trabalho técnico.

A imagem individualista e elitista do cientista traduz-se em iconografias que representam o *homem* da bata branca no seu inacessível laboratório, repleto

de estranhos instrumentos. Desta forma constatamos uma terceira e grave deformação: a que associa o trabalho científico, quase exclusivamente, com esse trabalho no laboratório, onde o cientista experimenta e observa, procurando o feliz “descobrimento”. Transmite-se assim uma visão empiro-inductivista da actividade científica, que abordaremos seguidamente.

3. Uma concepção empiro-inductivista e ateorica

Talvez tenha sido a concepção empiro-inductivista a deformação que foi estudada em primeiro lugar, e a mais amplamente assinalada na literatura. Uma concepção que defende o papel da observação e da experimentação “neutra” (não contaminadas por ideias aprioristas), esquecendo o papel essencial das hipóteses como focalizadoras da investigação e dos corpos coerentes de conhecimentos (teorias) disponíveis, que orientam todo o processo.

Numerosos estudos têm mostrado as discrepâncias entre a imagem da ciência, proporcionada pela epistemologia contemporânea, e certas concepções docentes, amplamente estendidas, marcadas por um empirismo extremo (Giordan, 1978; Hodson, 1985; Nussbaum, 1989; Clemenson, 1990; King, 1991; Stinner, 1992; Désautels et al., 1993; Lakin e Wellington, 1994; Hewson, Kerby e Cook, 1995; Jiménez-Alexandre, 1995; Thomaz et al., 1996; Izquierdo, Sanmartí e Espinet, 1999...). Deve-se insistir a este respeito, na rejeição generalizada do que Piaget (1970) denomina “o mito da origem sensorial dos conhecimentos científicos”, ou seja, na rejeição de um empirismo que concebe os conhecimentos como resultado da inferência indutiva a partir de “dados puros”. Esses dados não têm sentido por si mesmos, senão que requerem ser interpretados de acordo com um sistema teórico. Assim, por exemplo, quando se utiliza um amperímetro não se observa a intensidade da corrente, mas sim o simples desvio da agulha (Bunge, 1980). Insiste-se, por isso, em que toda a investigação, e a mesma procura de dados, vêm marcadas por paradigmas teóricos, ou seja, por visões coerentes, articuladas que orientam a dita investigação.

É preciso, insistir na importância dos paradigmas conceptuais, das teorias, no desenvolvimento do trabalho científico (Bunge, 1976), num processo completo, não reduzido a um modelo definido de mudança científica (Estany, 1990), que inclui eventuais roturas, mudanças revolucionárias (Kuhn, 1971), do paradigma vigente num determinado domínio e surgimento de novos paradigmas teóricos. É preciso também insistir em que os problemas científicos constituem inicialmente “situações problemáticas” confusas: o problema não é dado,

é necessário formula-lo da maneira precisa, modelizando a situação, fazendo determinadas opções para simplifica-lo mais ou menos com o fim de poder aborda-lo, clarificando o objectivo, etc. E tudo isto partindo do *corpus* de conhecimentos que se tem no campo específico em que se desenvolve o programa de investigação (Lakatos, 1989).

Estas concepções empiro-inductivistas da ciência afectam mesmos os cientistas — pois como explica Mosterín (1990) seria ingénuo pensar que estes “são sempre explicitamente conscientes dos métodos que usam na sua investigação” — assim como, logicamente, mesmos aos estudantes (Gaskell, 1992; Pomeroy, 1993; Roth e Roychondhury, 1994; Solomon, Duveen e Scott 1994; Abrams e Wanderse, 1995; Traver, 1996; Roth e Lucas, 1997; Désautels e Larochelle, 1998). Convém assinalar que esta ideia, que atribui a essência da actividade científica à experimentação, coincide com a de “descobrimento” científico, transmitida, por exemplo pelas bandas desenhadas, pelo cinema e, em geral, pelos meios de comunicação (Lakin e Wellington, 1994). Dito de outra maneira, parece que a visão dos professores — ou a que proporcionam os livros de texto (Selley, 1989; Stinner, 1992) — não é muito diferente, no que respeita ao papel atribuído às experiências do que temos denominado de imagem “ingénua” da ciência, socialmente difundida e aceite.

Cabe assinalar que mesmo se esta parece ser a deformação mais estudada e criticada na literatura, são poucas as equipas de docentes que se referem a esta possível deformação. Isto pode interpretar-se como índice do peso que continua a ter esta concepção empiro-inductivista nos professores de ciências. É preciso ter em conta a este respeito que apesar da importância dada (verbalmente) à observação e experimentação, em geral, o ensino é puramente libresco, de simples transmissão de conhecimentos, sem trabalho experimental real (mais além de algumas “receitas de cozinha”). A experimentação conserva, assim, para professores e estudantes o atractivo de uma “revolução pendente”, como temos podido perceber em entrevistas realizadas a professores no activo (Fernández, 2000).

Esta falta de trabalho experimental tem como uma das causas, a escassa familiarização dos professores com a dimensão tecnológica e vem por sua vez reforçar as visões simplistas sobre as relações ciência-tecnologia às quais já fizemos referência. Em efeito, o trabalho experimental pode ajudar a compreender que mesmo se a tecnologia se desenvolveu durante milénios sem a contribuição da ciência, inexistente até muito recentemente (Niiriluoto, 1997; Quintanilla e Sánchez Ron, 1997), a construção do conhecimento científico *sempre* tem sido e continua a ser devedora da tecnologia: basta recordar que para submeter à

prova as hipóteses que focalizam uma investigação estamos obrigados a construir desenhos experimentais; e falar de *desenhos* é já utilizar uma linguagem tecnológica.

É certo que, como já assinalava Bunge (1976), os desenhos experimentais são devedores do corpo de conhecimentos (A construção, por exemplo, de um amperímetro só tem sentido à luz de uma boa compreensão da corrente eléctrica), mas a sua realização concreta exige resolver problemas práticos num processo complexo com todas as características do trabalho tecnológico. É precisamente este o sentido que deve dar-se ao que manifesta Hacking (1983) quando — parafraseando a conhecida frase “A Observação está carregada de teoria” (Hanson 1958) — afirma que “a observação e a experimentação científica estão carregadas de uma competência prática prévia”.

Quando por exemplo, Galileo concebe a ideia de “debilitar”, a caída dos corpos mediante o uso de um plano inclinado de fricção desprezável, com o objectivo de submeter à prova a hipótese de que a queda dos graves constitui um movimento de aceleração constante, a proposta resulta conceptualmente simples: se a queda livre tem lugar com aceleração constante, o movimento de um corpo que desliza por um plano inclinado com fricção desprezável também terá uma aceleração constante, mas tanto mais pequena quanto menor seja o ângulo do plano, o que facilita a medida dos tempos e a prova da relação esperada entre as distâncias percorridas e os tempos empregados. No entanto, a realização prática deste desenho comporta resolver toda uma variedade de problemas: preparação de uma superfície suficientemente plana e polida, por onde possa rolar uma pequena esfera, como forma de reduzir a fricção; construção de uma caleira para evitar que a esfera se desvie e caia do plano inclinado; estabelecer a forma de soltar a pequena esfera e de determinar o instante de chegada, etc. Trata-se sem dúvida alguma, de um trabalho tecnológico destinado a lograr um objectivo concreto, a resolver uma situação específica, o que exige uma multiplicidade de habilidades e conhecimentos. E o mesmo se pode dizer de qualquer desenho experimental, inclusive os mais simples.

Não se trata, pois de assinalar como às vezes se faz, que “alguns” desenvolvimentos tecnológicos têm sido imprescindíveis para fazer possíveis “certos” avanços científicos (como, por exemplo, o papel das lentes na investigação astronómica): a tecnologia está *sempre* no coração da actividade científica; a expressão *desenho* experimental é perfeitamente ilustrativa a este respeito.

Infelizmente, as escassas práticas escolares de laboratórios escamoteiam aos estudantes (incluindo na Universidade!) toda a riqueza do trabalho experi-

mental, dado que apresenta montagens já elaboradas, para seu simples manuseamento seguindo guias de tipo “receita de cozinha”.

Deste modo, o ensino centrado na simples transmissão de conhecimentos já elaborados não só impede compreender o papel essencial que a tecnologia, joga no desenvolvimento científico, senão que, contraditoriamente, favorece a manutenção das concepções empiro-inductivas que consagram um trabalho experimental, ao qual nunca se tem acesso real, como elemento central de um suposto “Método Científico”... o que se vincula com outras duas graves deformações que abordaremos brevemente.

4. Uma visão rígida, algorítmica, infalível...

Esta é uma concepção amplamente difundida entre o professorado de ciências, como se tem podido constatar utilizando diversos desenhos (Fernández, 2000). Assim, em entrevistas realizadas com professores, uma maioria refere-se ao “Método Científico” como uma sequência de etapas definidas, em que as “observações” e as “experiências rigorosas” desempenham um papel destacado contribuindo à “exactidão e objectividade” dos resultados obtidos.

Face a isto é preciso ressaltar o papel desempenhado na investigação pelo pensamento divergente, que se concretiza em aspectos fundamentais e erroneamente relegados nos traçados empiro-inductivistas, como são, a invenção de hipóteses e modelos, ou o próprio desenho de experiências. Não se raciocina em termos de certezas, mais ou menos baseadas em “evidências”, senão em termos de hipóteses, que se apoiam, é certo, nos conhecimentos adquiridos mas que são contempladas como “tentativas de resposta” que devem ser postas à prova o mais rigorosamente possível, o que dá lugar a um processo complexo, em que não existem princípios normativos de aplicação universal, para a aceitação ou a rejeição de hipóteses ou, mais em geral, para explicar as trocas mutuas nos conhecimentos científicos (Gieryn, 1988). É preciso reconhecer, pelo contrário, que esse carácter “tentativo” se traduz em dúvidas sistemáticas, em redefinições, procura de novas vias, etc., que mostram o papel essencial da investigação e da criatividade, contra toda a ideia de método rígido, algorítmico. E, se bem que a obtenção de dados experimentais em condições definidas e controladas (nas que a dimensão tecnológica joga um papel essencial) ocupa um lugar central na investigação científica, é preciso relativizar o dito papel, que só faz sentido, insistimos, com relação às hipóteses a contrariar e aos desenhos concebidos para tal efeito. Em palavras de Hempel (1976), “Ao conheci-

mento científico não se chega aplicando um procedimento indutivo de inferência a partir de dados recolhidos anteriormente, senão mediante o chamado método das hipóteses a título de tentativas de respostas a um problema em estudo e depois submetendo estas à contrastação empírica”. São as hipóteses, pois, as que orientam a procura de dados. Uma hipótese que, por sua vez, nos remetem ao paradigma conceptual de partida, pondo de novo em evidência o erro das propostas empíricas.

A concepção algorítmica, como a empiro-inductivista, em que se apoia, pode manter-se na mesma medida em que o conhecimento científico se transmite de forma acabada para a sua simples recepção, sem que os estudantes, nem os professores tenham ocasião de constatar praticamente as limitações desse suposto “Método Científico”. Pela mesma razão incorre-se com facilidade numa visão aporismática e ahistórica da actividade científica à que nos referiremos em seguida.

5. Uma visão aporismática e ahistórica (ergo acabada e dogmática)

Como já referimos, o facto de transmitir conhecimentos já elaborados, conduz muito frequentemente a ignorar quais foram os problemas que se pretendiam resolver, qual tem sido a evolução de ditos conhecimentos, as dificuldades encontradas etc., e mais ainda, a não ter em conta as limitações do conhecimento científico actual ou as perspectivas abertas.

Ao apresentar uns conhecimentos já elaborados, sem sequer se referir aos problemas que estão na sua origem, perde-se de vista que, como afirma Bachelard (1938), “todo o conhecimento é a resposta a uma questão”, a um problema. Este esquecimento dificulta captar a racionalidade do processo científico e faz com que os conhecimentos apareçam como construções arbitrárias. Por outra parte, ao não completar a evolução dos conhecimentos, ou seja, ao não ter em conta a história das ciências, desconhece-se quais foram as dificuldades, os obstáculos epistemológicos que foram preciso superar, o que resulta fundamental para compreender as dificuldades dos alunos (Saltiel e Viennot, 1985).

Devemos insistir, uma vez mais, na estreita relação existente entre as formações contempladas até aqui. Esta visão aporismática e ahistórica, por exemplo, torna possível as concepções simplistas sobre as relações ciência-tecnologia. Pensemos que se toda a investigação responde a problemas, com frequência esses problemas têm uma vinculação directa com necessidades hu-

manas e, portanto, com a procura de soluções adequadas para problemas tecnológicos prévios.

De facto, o esquecimento da dimensão tecnológica na educação científica impregna a visão distorcida da ciência socialmente aceite que evidenciamos aqui. Precisamente por isto, escolhemos dar o nome de “Possíveis visões deformadas da ciência e da tecnologia”, tratando assim de superar um esquecimento que historicamente tem a sua origem na distinta valorização do trabalho intelectual e manual, e que afecta gravemente a necessária alfabetização científica e tecnológica do conjunto da cidadania (Maiztegui et al., 2002).

A visão distorcida e empobrecida da natureza da ciência e da construção do conhecimento científico, em que o ensino das ciências incorre por acção ou omissão, inclui outras visões deformadas, que têm em comum esquecer a dimensão da ciência como construção de corpos coerentes de conhecimentos.

6. Visão exclusivamente analítica

Referimo-nos em primeiro lugar, ao que temos denominado visão “exclusivamente analítica”, que está associada a uma incorrecta apreciação do papel da análise no processo científico.

Assinalamos, para iniciar, que uma característica essencial de uma aproximação científica é a vontade explícita de simplificação e de controlo rigoroso em condições pré-estabelecidas, o que introduz elementos de artificialidade indubitáveis, que não devem ser ignorados nem ocultados: os cientistas *decidem* abordar problemas resolúveis e começam *ignorando* consciente e voluntariamente muitas das características das situações estudadas, o que evidentemente os “afasta” da realidade; e continuam afastando-se mediante o que, sem dúvida, há que considerar a essência do trabalho científico: *A invenção* de hipóteses e modelos...

O trabalho científico exige, pois, tratamentos analíticos, simplificados, artificiais. Mas isto não supõe, como às vezes se critica, incorrer necessariamente em visões parciais e simplistas: na medida em que se trata de análises e simplificações conscientes, tem-se presente a necessidade de síntese e de estudos de complexidade crescente. Pensemos, por exemplo, que o estabelecimento da unidade da matéria — que constitui um claro apoio a uma visão global, não parcializada — é uma das maiores conquistas do desenvolvimento científico dos últimos séculos: os princípios de conservação e *transformação* da matéria e da energia foram estabelecidos, respectivamente, nos séculos XVIII e XIX, e foi

só nos finais do século XIX quando se produziu a fusão de três domínios aparentemente autónomos — electricidade, óptica e magnetismo — na teoria electromagnética, que se abriu um enorme campo de aplicações que seguem revolucionando a nossa vida de cada dia. E não há que esquecer que os processos de unificação exigiram, com frequência, atitudes críticas nada cómodas que tiveram que vencer fortes resistências ideológicas e inclusive perseguições e condenações, como nos casos, bem conhecidos, do heliocentrismo ou do evolucionismo. A história do pensamento científico é uma constante confirmação de que os avanços têm lugar profundizando o conhecimento da realidade em campos definidos; é esta profundização inicial a que permite chegar posteriormente a estabelecer laços entre campos aparentemente desligados (Gil-Pérez et al., 1991).

7. Visão acumulativa, de crescimento lineal

Uma deformação à que também não fazem referência as equipas de docentes, e que é a segunda menos mencionada na literatura — trás a visão exclusivamente analítica — consiste em apresentar o desenvolvimento científico como fruto de um crescimento lineal, puramente acumulativo (Izquierdo, Sanmartí e Espinet, 1999), ignorando as crises e as remodelações profundas, fruto de processos complexos que não se deixam ajustar por nenhum modelo definido de desenvolvimento científico (Gieryn, 1988; Estany, 1990). Esta deformação é complementada, em certo modo, do que temos denominado visão rígida algorítmica, ainda que devam ser diferenciadas: enquanto a visão rígida ou algorítmica se refere como se concebe a *realização de uma investigação dada*, a visão acumulativa é uma interpretação simplista da evolução dos conhecimentos científicos ao longo do tempo, como fruto do conjunto de investigações realizadas em determinado campo. Esta é uma visão simplista à qual o ensino costuma contribuir, ao apresentar as teorias hoje aceites sem mostrar o processo do seu estabelecimento, nem ao se referir às frequentes confrontações entre teorias rivais, nem aos complexos processos de mudança que incluem autênticas “revoluções científicas” (Kuhn, 1971).

8. Relações entre distintas visões deformadas da actividade científica e tecnológica

Estas são, em síntese, as sete deformações que temos visto tratadas na literatura e que são mencionadas como fruto da reflexão (auto)crítica das equi-

pas de docentes. Trata-se também das deformações que temos visto reflectidas na docência habitual, num estudo realizado em que foram utilizados cerca de 20 desenhos experimentais (Fernández et al. 2002). Mas estas deformações não constituem uma espécie de “sete pecados capitais” distintos e autónomos: pelo contrário, como foi mostrado no caso das pré-concepções dos estudantes num determinado domínio formam um esquema conceptual relativamente integrado (Driver e Oldham, 1986).

Podemos recordar que uma visão individualista e elitista da ciência, por exemplo, apoia implicitamente a ideia empirista de “descobrimento” e contribui, além disso a uma leitura descontextualizada, socialmente neutra da actividade científica (realizada por “génios solitários”). Do mesmo modo, para citar outro exemplo, uma visão rígida, algorítmica, exacta da ciência reforça uma interpretação acumulativa, linear, do desenvolvimento científico, ignorando as crises e as revoluções científicas.

Assim, estas concepções aparecerem associadas entre si, como expressão de uma imagem ingénua da ciência que se tem ido desencantando, passando a ser socialmente aceite. De facto essa imagem tópica da ciência parece ter sido assumida por numerosos autores do campo da educação, que criticam como características da ciência o que não são senão visões deformadas da mesma. Assim por exemplo, Kemmis e Mc Taggart (Hodson, 1992) atribuem à investigação académica deformações e reduções que os autores dão por assente que correspondem ao “método científico” utilizado por “as ciências naturais”, tais como, seu carácter “neutral, sua preocupação exclusiva por “acumular conhecimentos” (sem atenção “ao melhoramento da prática”), sua limitação a “um mero procedimento de *resolução* de problemas” (esquecendo o delineamento dos mesmos) etc., etc.

Inclusive, entre alguns investigadores em didáctica da ciência, parece aceitar-se que a ciência clássica seria puramente analítica, “neutra”, etc. Já não se trata de que o ensino tenha transmitido essas concepções reducionistas, empobrecedoras, senão que *toda* a ciência clássica teria esses defeitos. Mas, como se pode afirmar que a ciência clássica é — como se costuma dizer — puramente analítica, se o seu primeiro edifício teórico significou a integração dos universos considerados essencialmente distintos, derrubando a suposta barreira entre o mundo celeste e o subllunar? Uma integração que implicava desafiar dogmas, tomar partido pela liberdade de pensamento, e correr riscos de ser condenada.

E não é só a mecânica: toda a ciência clássica pode interpretar-se como a superação de supostas barreiras, a integração de domínios separados (pelo sentido comum e pelos dogmas). Pensemos na teoria da evolução das espécies; na

síntese orgânica (nos séculos XIX ainda se sustentava a existência de um “*élan vital*” e negava-se a possibilidade de sintetizar compostos orgânicos); no electromagnetismo, que mostrou os vínculos entre a electricidade, magnetismo e óptica; nos princípios de conservação e transformação da massa e da energia, aplicáveis a qualquer processo (Gil-Pérez et al., 1991). Onde está o carácter puramente analítico? Onde está o carácter neutro, asséptico, dessa ciência? Há que reconhecer que, pelo menos, nem toda a ciência clássica tem sido assim. Parece mais apropriado, pois, falar de visões (ou, em todo o caso, tendências) deformadas da ciência, do que atribuir essas características a toda a ciência clássica.

As concepções docentes sobre a natureza da ciência e a construção do conhecimento científico seriam, pois, expressões dessa visão comum, que nós os professores de ciências aceitaríamos implicitamente devido à falta de reflexão crítica e a uma educação científica que se limita, com frequência, a uma simples transmissão de conhecimentos já elaborados. Isto não só deixa na sombra as características essenciais da actividade científica e tecnológica, senão que contribui a reforçar algumas deformações, como o suposto carácter “exacto” (ergo dogmático) da ciência, ou da visão aproblemática. Deste modo, a imagem da ciência que adquirimos os docentes não se diferenciaria significativamente da que pode expressar qualquer cidadão, e resulta muito afastada das concepções actuais sobre a natureza da ciência e da construção do conhecimento científico.

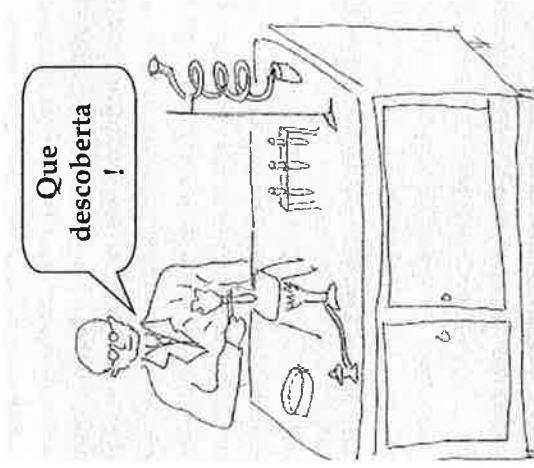
O trabalho realizado até aqui tem-nos permitido evidenciar, a título de hipóteses, possíveis visões deformadas da ciência que o ensino poderia estar contribuindo a transmitir por acção ou omissão. As numerosas investigações recolhidas na literatura confirmam a extensão desta imagem distorcida e empobrecida da ciência e da tecnologia, assim como a necessidade de superá-la para fazer possível uma educação científica susceptível de interessar aos estudantes e facilitar a sua imersão numa cultura científica. Com tal propósito, dedicaremos o seguinte capítulo a apoiar o questionamento destas deformações.

Análises da presença das visões deformadas da ciência e da tecnologia no ensino

Tal como temos indicado, dedicaremos este capítulo a analisar em que medida o ensino das ciências transmite as visões deformadas que acabamos de discutir. São possíveis, naturalmente, numerosos desenhos para levar a cabo dita análise, como se detalha em alguns trabalhos citados (Fernández, 2000;

Fernández et al., 2002). Por exemplo, é possível analisar o que nos textos, livros, artigos, etc., se assinala em torno da natureza do trabalho científico, ou o que reflectem os diagramas de um processo de investigação que incluem alguns textos e livros práticos. Pode-se recolher, mediante questionários e entrevistas, o que para os professores significa um processo de investigação, etc. Ou pode-se proceder a observações directas de como se orienta um trabalho na aula etc., etc. No entanto, a nossa intenção não é, fundamentalmente, por em relevância a incidência de uma imagem deformada e empobrecida da ciência no ensino (posta em evidência por uma abundante investigação da qual temos vindo a fazer referência), sem utilizar este trabalho de análises para aprofundar na compreensão do que representam estas visões distorcidas da actividade científica e afirmar o necessário distanciamento crítico com respeito às ditas deformações. Passamos a descrever alguns dos desenhos utilizados para favorecer este distanciamento crítico.

Recorremos, por exemplo, a proporcionar um desenho, elaborado por um professor em formação como representação de actividade científica (ver Quadro1), solicitando, em primeiro lugar, que se assinalem *as visões deformadas que se detectam por acção ou omissão em dito desenho* e, seguidamente, que procedam a modifica-lo até enfrentar as visões deformadas da ciência que agora transmite por acção ou omissão.



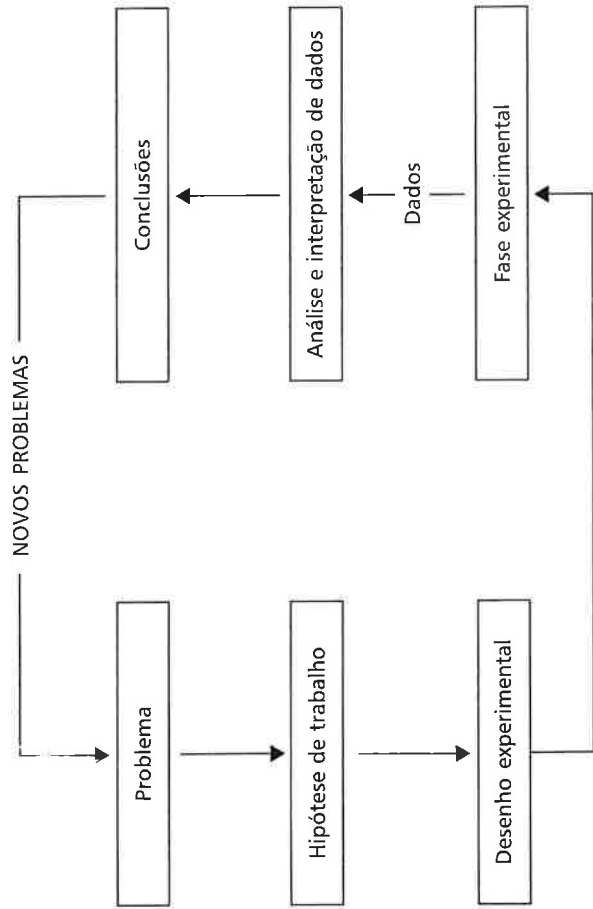
Quadro 1. Representação distorcida da actividade científica

Não resulta difícil constatar que este desenho “típico” incide claramente em todo o conjunto de visões deformadas:

- *Individualista e elitista* (representa um único investigador, Homem...).
 - *Descontextualizada* (não se disse nada sobre o possível interesse e relevância da investigação, suas possíveis repercussões...e o local do trabalho parece uma autêntica torre de marfim absolutamente isolada... nem sequer se desenha uma janela!).
 - *Aproblemática* (não se indica que se esteja investigando algum problema).
 - *Empiro-inductivista* (a sua actividade parece reduzir-se à observação e experimentação na busca do descobrimento feliz... não se representa nem um livro que permita pensar no corpo de conhecimentos).
- Pouco mais se pode dizer do que aparece no desenho, mas sim das ausências, que vem a incidir, por omissão, em outras visões deformadas:
- *Rígida, algorítmica, infalível* (nada se disse, por exemplo, de possíveis revisões e novas linhas da investigação).
 - *Exclusivamente analítica* (não se propõe a possível vinculação do problema abordado a diferentes campos da ciência, nem a conveniência de um tratamento interdisciplinar...).
 - *Acumulativa* (nenhuma menção de como o novo “descobrimento” afecta o corpo de conhecimentos...).

É possível, no entanto, enfrentar estas deformações com relativa facilidade. Por exemplo, pode-se agregar um outro investigador, incluindo mulheres e jovens investigadores em formação, questionando assim as visões individualistas e elitistas. Pode-se questionar a visão rígida com algum comentário sobre as numerosas revisões, desenhando, uma papelreira da que desbordem papéis amachucados. E a visão acumulativa com uma exclamação do tipo “Se se confirmarem estes resultados será necessário rever a teoria vigente!”, etc., etc.

É importante deter-se em análises e rectificações como estas. Podemos, para citar um segundo exemplo, solicitar a análise crítica de um diagrama de fluxo como o apresentado no Quadro 2, extraído de um livro de texto como representação do “Método científico” e sua posterior modificação para evitar as visões deformadas da ciência que agora transmite por acção ou omissão.

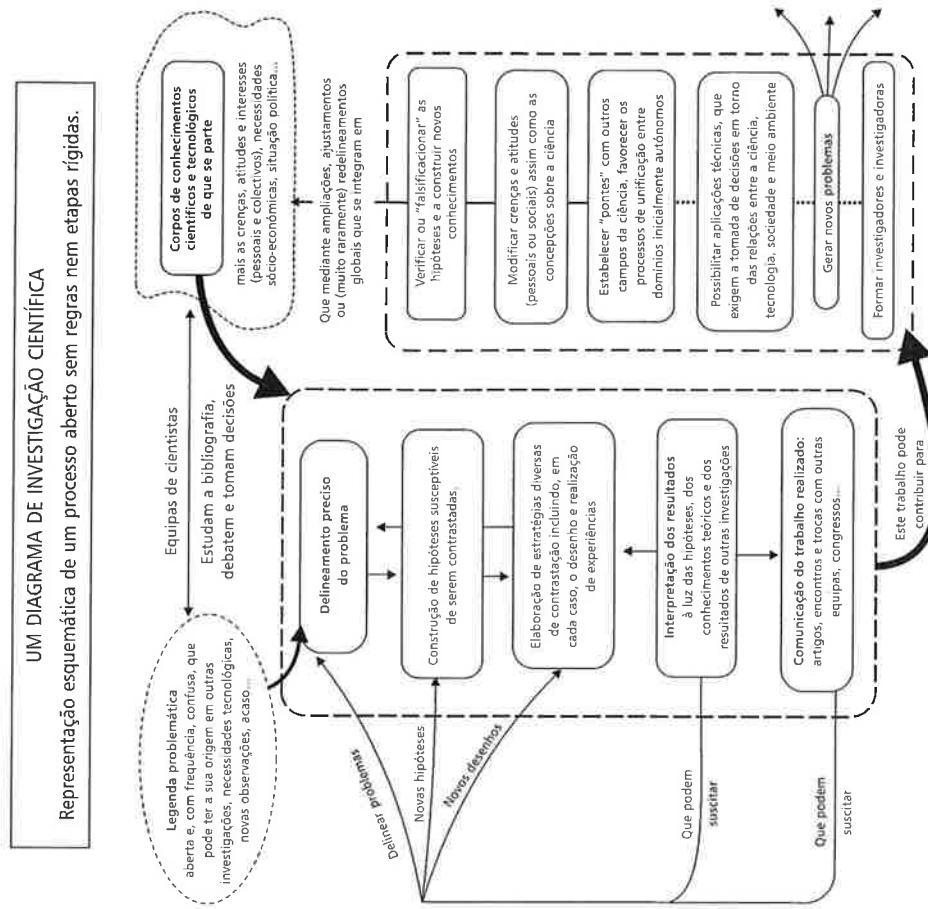


Quadro 2. Diagrama representativo do “Método Científico”

De novo resulta fácil detectar muitas das distorções e empobrecimentos típicos num diagrama como este: desde o carácter rígido, algorítmico, de etapas a seguir ordenadamente, à visão descontextualizada, ainda que pelo menos se faça referência a um problema como a origem da investigação.

Um esforço explícito por não incorrer nestas deformações permite elaborar diagramas mais ricos como o que se apresenta no Quadro 3.

Uma leitura cuidadosa permite constatar como os autores têm evitado incorrer, por acção ou omissão, nos reductionismos e distorções típicas. Podemos ver por exemplo, como se enfrentam visões individualistas e elitistas. Com referências a “equipas de homens e mulheres cientistas”, à “comunicação do trabalho realizado: artigos, encontros e intercâmbios com outras equipas, congressos...” e a formação de investigadores e investigadoras como uma das contribuições do trabalho científico. E para citar outros exemplos, evita-se transmitir uma visão puramente analítica assinalando que as investigações realizadas podem contribuir a “estabelecer pontes” com outros campos da ciência e favorecer os processos de unificação entre domínios inicialmente autónomos”.



Quadro 3. Diagrama representativo das estratégias da actividade científica

Como último exemplo dos desenhos utilizados para favorecer a análise das visões deformadas da ciência e da tecnologia no ensino e a posterior elaboração de propostas para evitar estas deformações, propomos analisar a visão da ciência que transmite um texto tirado de um livro universitário (Quadro 4) e a elaboração de um texto alternativo que descreve mais adequadamente a natureza da actividade científica.

PARRY R. W., SEINER L. E., E DIETZ P. M. (1973). *Química. Fundamentos experimentales* (Barcelona: Ed. Reverté).

"Resumindo, as actividades básicas da ciência são:

- (1) acumulação de informação mediante a observação
- (2) organização desta informação e procura de regularidade
- (3) procura de uma explicação das regularidades e
- (4) comunicação dos resultados e das prováveis explicações

Para a realização destas actividades não existe uma ordem pré-definida, não há um "método científico" que exija que se sigam estritamente os passos indicados com esta ordem. Na realidade, quando se trata de encontrar uma explicação, aparece geralmente a necessidade de realizar observações melhor controladas. Uma sequência de observações cuidadosamente controladas, em geral, denomina-se experiência. No caso das experiências em química, as condições controlam-se mais facilmente no laboratório, mas o estudo da natureza não deveria limitar-se ao que se pode realizar num local fechado, porque a ciência nos rodeia completamente.

Quadro 4. Reprodução da visão da ciência transmitida por um texto universitário de Química

Podemos iniciar assinalando que este texto tenta evitar uma visão rígida da actividade científica quando assinala: "Para a realização destas actividades não existe uma ordem pré-definida, não há um "método científico" que exija que se sigam estritamente os passos indicados por essa ordem".

Também se tem em conta o carácter social da ciência ou falar de "comunicação", ainda que não se questione com clareza a visão individualista e elitista. Com muito boa vontade, pode-se aceitar que este texto tente também enfrentar uma visão descontextualizada na frase em que afirma que "A ciência rodeia-nos completamente".

No resto das visões incide, bem por acção (como acontece com a concepção empirioinductivista), bem por omissão, posto que não se menciona nada que permita evitar visões aporismáticas, exclusivamente analíticas ou de crescimento linear, puramente acumulativo, dos conhecimentos científicos.

A elaboração de um texto alternativo é naturalmente uma tarefa bastante exigente, para a qual se precisa tempo e uma cuidadosa atenção para não es-

quecer nenhuma das possíveis deformações. A título de exemplo reproduzimos um texto elaborado por uma equipa de professores, em que se recolhem as reflexões tidas em conta no estudo das visões deformadas da ciência e da tecnologia abordadas em capítulos anteriores (Quadro 5).

Quadro 5. Uma descrição da actividade científica que tenta enfrentar os reducionismos e deformações

Queremos assinalar, em primeiro lugar, que somos conscientes que a natureza da actividade científica tem dado lugar a sérios debates, em que se manifestam profundas discrepâncias entre os estudos (Popper, 1962; Khun, 1971; Bunge, 1976; Toulmin, 1977; Feyerabend, 1975; Lakatos, 1982; Laudan, 1984...). Isto gera, em ocasiões, uma certa perplexidade entre os investigadores em didáctica e leva a delinear-se tem sentido falar de uma concepção correcta da ciência. Existem, no entanto, alguns aspectos essenciais a que se dá um amplo consenso e que podíamos resumir assim:

1. Em primeiro lugar, temos que nos referir à **rejeição da ideia mesma de "Método científico"**, com maiúsculas, como conjunto de regras perfeitamente definidas a aplicar mecanicamente e independentes do domínio investigado. Com palavras de Bunge (1980): "A expressão (*Método Científico*) é enganosa, pois pode induzir a acreditar que consiste num conjunto de receitas exaustivas e infalíveis...".

2. Em segundo lugar, há que realçar a rejeição generalizada do que Piaget (1970) denomina "o mito da origem sensorial dos conhecimentos científicos", é decidir a **rejeição de um empirismo que concebe os conhecimentos como resultado da inferência indutiva a partir de "dados puros"**. Esses dados não têm sentido em si mesmos, senão que requerem ser interpretados de acordo com um sistema teórico. Assim, por exemplo, quando se utiliza um amperímetro não se observa a intensidade da corrente, mas sim o simples desvio da agulha. Insiste-se, devido a isto, que toda a investigação e a mesma procura de dados vêm marcadas por paradigmas teóricos, ou seja, por visões coerentes articuladas que orientam esta investigação.

É preciso insistir na importância dos paradigmas conceptuais, das teorias, como origem e término do trabalho científico (Bunge, 1976), num processo complexo que inclui eventuais rupturas, mudanças revolucionárias do paradigma vigente num determinado domínio e surgimento de novos paradigmas teóricos. É preciso também insistir em que os problemas científicos constituem inicialmente "situações problemáticas" confusas: o problema não é dado, sendo necessário formula-lo de maneira precisa, modelizando a situação, fazendo determinadas opções para simplifica-lo mais ou menos, para poder abor-

cretas. O desenvolvimento científico entranha a finalidade de estabelecer generalizações aplicáveis à natureza. Precisamente essa exigência de aplicabilidade, de funcionamento correcto para descrever fenómenos, realizar previsões, abordar e propor novos problemas, etc., é o que dá validade (que não a certeza ou carácter de verdade indiscutível) aos conceitos, leis e teorias que se elaboram.

5. Por último, é preciso compreender o carácter social do desenvolvimento científico, o que se evidencia não só no facto que o ponto de partida do paradigma teórico vigente é a cristalização das contribuições de gerações de investigadores, senão também, em que a investigação responde cada vez mais a estruturas institucionalizadas (Bernal, 1967; Kuhn, 1971; Matthews, 1991 e 1994) em que o labor dos indivíduos é orientado pelas linhas de investigação estabelecidas, pelo trabalho da equipa da que formam parte, carecendo praticamente de sentido a ideia de investigação completamente autónoma. Ainda mais, o trabalho dos homens e mulheres de ciências — como qualquer outra actividade humana — não têm lugar à margem da sociedade em que vivem, e se vê afectado, logicamente, pelos problemas e circunstâncias do momento histórico, do mesmo modo que a sua acção tem uma clara influência sobre o meio físico e social em que se insere. Assinalar isto pode parecer supérfluo, no entanto a ideia de que fazer ciência é pouco menos que uma tarefa de “génios solitários” que se encerram numa torre de marfim, desconnectando-se da realidade, constitui uma imagem tópica muito estendida e que o ensino lamentavelmente não ajuda a superar, dado que se limita à transmissão de conteúdos conceptuais e treino em alguma destreza, mas deixando de lado os aspectos históricos e sociais que abarcam o desenvolvimento científico.

Desenha-se assim uma imagem imprecisa, nebulosa da metodologia científica — longe de toda a ideia de algoritmo — em que nada garante que se chegará a um bom resultado, mas que representa, sem dúvida, a melhor forma de orientar o tratamento de um problema científico (como testemunham os impressionantes edifícios teóricos construídos).

Pode-se dizer, em síntese, que a essência da orientação científica — deixando de lado toda a ideia de “método” — encontra-se na troca de um pensamento e acção baseados nas “evidências” do sentido comum a um raciocínio em termos de hipóteses, ao mesmo tempo mais criativo (é necessário ir mais além do que parece evidente e imaginar novas possibilidades) e mais rigoroso (é necessário fundamentar e depois submeter à prova, cuidadosamente, as hipóteses, duvidar dos resultados e procurar a coerência global).

É preciso ter presente, por outra parte, que uma característica essencial de uma aproximação científica é a vontade explícita de simplificação e de controlo rigoroso em condições pré-estabelecidas, o que introduz elementos de artificialidade individuáveis, que não devem ser ignorados nem ocultados: os cien-

da-lo, clarificando o objectivo, etc. E tudo isto partindo do *corpus* de conhecimentos que existe no campo específico em que se realiza a investigação.

3. Em terceiro lugar, há que ressaltar o papel representado na investigação por um pensamento divergente, que se concretiza em aspectos fundamentais e erroneamente relegados nas propostas empiristas como são as invenções de hipóteses e modelos, o próprio desenho de experiências. Não se raciocina, pois, em termos de certezas, mais ou menos baseadas em “evidências”, senão em termos de hipóteses que se apoiam nos conhecimentos adquiridos, mas que são vistas como simples “tentativas de resposta” que vão ser postas à prova o mais rigorosamente possível. E se bem que a obtenção de evidência experimental em condições definidas e controladas ocupa um lugar central na investigação científica, é preciso relativizar dito papel, que só faz sentido em relação à hipótese a constatar e aos desenhos concebidos para tal efeito. Em palavras de Hempel (1976), “ao conhecimento científico não se chega aplicando um procedimento indutivo de inferência a dados recolhidos com antecedência, senão mediante o chamado método das hipóteses a título de tentativas de resposta a um problema em estudo, e submetendo logo estas à contrastação empírica”. São as hipóteses as que orientam a procura de dados. Uma hipótese que, por sua vez, nos remetem ao paradigma conceptual de partida, pondo de novo em evidência o erro das propostas empiristas.

4. Outro ponto fundamental é a procura da coerência global (Chalmers, 1990). O facto de trabalhar em termos de hipóteses introduz exigências suplementares de rigor: é preciso duvidar sistematicamente dos resultados obtidos e de todo o processo seguido para obtê-los, o que conduz a revisões contínuas, a tentar obter esses resultados por caminhos diversos e, muito em particular, mostrar a sua coerência com os resultados obtidos em outras situações. É necessário chamar aqui à atenção contra as interpretações simplistas dos resultados experimentais e contra um possível “reducionismo experimentalista”: não basta um tratamento experimental para falsear ou verificar uma hipótese; trata-se sobretudo da existência, ou não, de coerência global com o marco de um *corpus* de conhecimentos.

De facto um dos fins mais importantes da ciência radica na vinculação de domínios aparentemente inconexos. Em efeito, num mundo em que o primeiro que se percebe é a existência de uma grande diversidade de materiais e de seres, submetidos a contínuas mudanças, a ciência procura estabelecer leis e teorias gerais que sejam aplicáveis ao estudo do maior número possível de fenómenos. A teoria atómica molecular da matéria, a síntese electromagnética, os princípios da conservação e transformação, os esforços que se realizam para unificar os distintos tipos de interacção existentes na natureza, etc., são bons exemplos dessa procura de coerência e globalidade, ainda que isto se deva realizar partindo de problemas e situações particulares inicialmente muito con-

tistas decidem abordar problemas resolúveis e comecem, para isso, ignorando consciente e voluntariamente muitas das características e das situações estudadas, o que evidentemente os “afasta” da realidade; e continuam afastando-se, mediante o que sem dúvida, há que considerar como a essência do trabalho científico: a invenção de hipóteses, a construção de modelos imaginários. O trabalho científico exige, pois tratamentos analíticos, simplificadoros artificiais. Mas isto não supõe, como às vezes se critica, incorrer necessariamente em visões parciais e simplistas: na medida em que se trata de análises e simplificações conscientes, tem-se presente a necessidade de síntese e de estudos de complexidade crescente. Pensemos, por exemplo, que o estabelecimento da unidade da matéria — que constitui um claro apoio a uma visão global, não parcializada — é uma das maiores conquistas do desenvolvimento científico dos últimos séculos: os princípios de conservação e transformação da matéria e da energia foram estabelecidos, respectivamente, nos séculos XVIII e XIX, mas foi só nos finais do XIX que se produziu a fusão dos três domínios aparentemente autónomos — electricidade, óptica e magnetismo — na teoria electromagnética, abrindo um enorme campo de aplicações que segue revolucionando a nossa vida de cada dia. E não há que esquecer que estes processos de unificação, têm exigido frequentemente atitudes críticas nada cómodas que têm tido que vencer fortes resistências ideológicas e inclusive perseguições e condenações como em casos bem conhecidos, do heliocentrismo e do evolucionismo. A história do pensamento científico é uma constante confirmação de que esta é a forma de fazer ciência, profundizando o conhecimento da realidade em campos definidos, balizados; é esta profundização que permite, posteriormente, chegar a estabelecer laços entre campos aparentemente desligados.

A ideia de “método científico”, em resumo, tem perdido hoje as suas maiúsculas, ou seja, a sua suposta natureza de caminho preciso — conjunto de operações ordenadas — e infalível, assim como a sua suposta neutralidade. Isto não supõe, no entanto, negar o que de específico a ciência moderna tem dado ao tratamento dos problemas: a ruptura com um pensamento baseado em estudos pontuais, nas “evidências” do sentido comum e em certezas dogmáticas, introduzindo um raciocínio que se apoia num sistemático questionamento do óbvio e numa exigência de coerência global, que se tem mostrado de uma extraordinária fecundidade.

A análise do texto anterior permite constatar, uma vez mais, que é perfeitamente possível evitar as visões deformadas que o ensino das ciências costuma transmitir por acção ou omissão. De facto, estas actividades de análise crítica e de elaboração de produtos alternativos terminam por afirmar uma concepção mais adequada da ciência e permitem compreender que a extensão das

visões deformadas é o resultado da ausência, quase absoluta, de reflexão epistemológica e de aceitação crítica de um ensino por simples transmissão de conhecimentos já elaborados que contribui, como temos vindo a mostrar, a afirmar ditas deformações. Basta, no entanto, uma reflexão crítica como a que estamos favorecendo para se apropriar, com relativa facilidade, de concepções da actividade científica e tecnológica mais adequadas. Mas, merece realmente a pena todo este esforço de clarificação? Abordaremos agora as suas implicações.

Algumas implicações para o ensino das ciências

Obter uma maior compreensão da actividade científica tem em si mesma, um indubitável interesse, em particular para quem é responsável, em boa medida, da educação científica de futuros cidadãos de um mundo impregnado de ciência e tecnologia. Convém recordar, no entanto, que como assinalam Guilbert e Meloche (1993), “Uma melhor compreensão pelos docentes dos modos de construção do conhecimento científico (...) não é unicamente um debate teórico, senão eminentemente prático”. Trata-se, pois de compreender a importância prática, para a docência, do trabalho realizado e poder tirar um maior proveito do mesmo, perguntando-nos o *que é o que queremos potenciar no trabalho dos nossos alunos e alunas*. O trabalho de clarificação realizado para responder a esta pergunta permite afastar-nos dos habituais reducionismos e incluir aspectos que não só são essenciais a uma investigação científica, senão que resultam imprescindíveis, como diversas linhas de investigação têm mostrado, para favorecer uma aprendizagem significativa das ciências, ou seja, para favorecer a construção de conhecimentos científicos e desenvolver destrezas e atitudes científicas (Gil-Pérez, 1993), tais como os que se citam no Quadro 6.

Quadro 6. Aspectos a incluir num *curriculum* de ciências para favorecer a construção de conhecimentos científicos

1. Apresentam-se situações problemáticas abertas (com o objectivo de que os alunos possam tomar decisões para precisá-las) de um nível de dificuldade adequado (correspondente à sua zona de desenvolvimento próximo)?
2. Propõe-se uma reflexão sobre o possível interesse das situações propostas que dê sentido ao seu estudo (considerando a sua relação com o programa geral de trabalho adoptado, as possíveis, implicações CTSA...)?

Presta-se atenção, em geral, a potenciar atitudes positivas e a que o trabalho se realize num clima próximo ao que é a investigação colectiva (situações em que as opiniões, interesses etc. de cada indivíduo contam) e não num clima de submetimento de tarefas impostas por um professor / “capataz”?

Procura-se evitar toda discriminação (por razões étnicas e sociais...) e, em particular, o uso de uma linguagem sexista, transmissora de expectativas negativas para as mulheres?

3. Propõe-se uma análise qualitativa, significativa, que ajude a compreender e a balizar as situações propostas (à luz dos conhecimentos disponíveis, do interesse do problema etc.) e a formular perguntas operativas sobre o que se procura?

Mostra-se, por outra parte, o papel essencial das matemáticas como instrumento de investigação, que intervém desde a formulação mesma de problemas até à análise dos resultados, sem cair em operativismos cegos?

4. Propõe-se a **emissão de hipóteses**, fundamentadas nos conhecimentos disponíveis, susceptíveis de orientar o tratamento das situações e de fazer explícitas, funcionalmente, as pré-concepções?

Presta-se atenção às pré-concepções (que, insistentemente, devem ser contempladas como hipóteses)?

Presta-se atenção à actualização dos conhecimentos que constituem pré-requisitos para o estudo empreendido?

5. Propõe-se a elaboração de estratégias (no plural), incluindo, no seu caso desenhos experimentais?

Presta-se atenção à actividade prática em si mesma (montagens, medidas...) dando à dimensão tecnológica o papel que lhe corresponde neste processo?

Potencia-se a incorporação da tecnologia actual aos desenhos experimentais (ordenadores, electrónica, automatização...) com o objectivo de favorecer uma visão mais correcta da actividade científico-técnica contemporânea?

6. Propõe-se a análise profunda dos resultados (sua interpretação física, fiabilidade, etc.), à luz do corpo de conhecimentos disponíveis, das hipóteses tidas em conta e/ou dos resultados de outras equipas?

Propõe-se uma reflexão sobre os possíveis conflitos entre alguns resultados e as concepções iniciais, favorecendo a “auto-regulação” do trabalho dos alunos?

Promove-se que os estudantes comparem a sua evolução conceptual e metodológica com a experimentada historicamente pela comunidade científica?

7. Propõe-se a consideração de possíveis perspectivas (redelineamento do estudo a outro nível de complexidade, problemas derivados...)

Considera-se, em particular, as implicações CTSA do estudo realizado (possíveis aplicações, repercussões negativas, tomada de decisões...)?

Pede-se a elaboração de “produtos” (protótipos, colecções de objectos, cartazes,...) pondo em ênfase a estreita relação ciência-tecnologia?

8. Pede-se um esforço de integração que considere a contribuição do estudo realizado à construção de um corpo coerente de conhecimentos, as possíveis implicações em outros campos de conhecimentos, etc.?

Pede-se algum trabalho de construção de sínteses, mapas conceptuais, etc., que ponha em relação conhecimentos diversos?

9. Presta-se atenção à comunicação como aspecto essencial da actividade científica?

Propõe-se a elaboração de memórias científicas do trabalho realizado?

Pede-se a leitura e comentário crítico de textos científicos?

Presta-se atenção à verbalização, solicitando comentários significativos que evitem o “operativismo mudo”?

10. Potencia-se a dimensão colectiva do trabalho científico organizando equipas de trabalho e facilitando a interacção entre as equipas e a comunidade científica (representada na classe pelo resto das equipas, o corpo de conhecimentos já construído, os textos, o professor como “perito”...)?

Faz-se ver, em particular, que os resultados de uma só pessoa ou de uma só equipa não bastam para verificar ou falsear uma hipótese?

Contempla-se (e utiliza-se) o corpo de conhecimentos disponíveis como a cristalização do trabalho realizado pela comunidade científica e a expressão do consenso alcançado?

O enriquecimento do *curriculum* do ensino das ciências que reflecte o Quadro 6 é um bom exemplo da incidência positiva que pode ter a clarificação da natureza da ciência. Mas contemplar estes aspectos supõe muito mais que ampliar o curriculum, incluindo as dimensões procedimentais e axiológicas da actividade científica, habitualmente esquecidas na educação: podíamos dizer que a incorporação de aspectos como os que foram citados no Quadro 6 exige que o processo ensino/aprendizagem das ciências deixe de estar baseado na transmissão através do professor e dos livros de textos de conhecimentos já elaborados para a sua recepção/assimilação pelos estudantes. E partir de situações problemáticas abertas, discutindo o seu possível interesse e relevância, procedendo a aproximações qualitativas e à construção de soluções tentativas, hipotéticas, destinadas a ser postas à prova e a integrar-se no seu caso, no corpo

de conhecimentos de que se parte, transformando-o, etc., supõe actuar como cientistas. E isto, por sua vez, exige um ambiente adequado, em que o professor impulsione e oriente esta actividade dos estudantes, que de simples receptores passam a desempenhar o papel de novos investigadores, que contam com o apoio do professor como perito (Gil-Pérez et al., 1991).

Em síntese não é possível superar a imagem reducionista e distorcida da ciência sem incorporar os aspectos citados no Quadro 6, e essa incorporação supõe reorientar o trabalho dos estudantes para aproxima-lo do que é a actividade científica. Daí a importância de uma profundização epistemológica como a que temos realizado e que completamos nos capítulos seguintes.

Referências bibliográficas neste capítulo 2

- ABRAMS, E. e WANDERSEE, J. H. (1995). How to infuse actual scientific research practices into science classroom instruction. *International Journal of Science Education*, 17, 6, 683-694.
- ACEVEDO, J. A. (1996). La tecnología en las relaciones cts. una aproximación al tema. *Enseñanza de las ciencias*, 14 (1), 35-44.
- BACHELARD, G. (1938). *La Formation de L'esprit scientifique*. Paris: Vrin.
- BELL, B. F. e PEARSON, J. (1992). Better Learning. *International Journal of Science Education*, 14 (3), 349-361.
- BERNAL, J. D. (1967). *Historia Social de la Ciencia*. Barcelona: Península.
- BUNGE, M. (1976). *Filosofía de la Física*. Barcelona: Ariel.
- BUNGE, M. (1980). *Epistemología*. Barcelona: Ariel.
- BUNGE, M. (1997) *Ciencia, Técnica y Desarrollo*. Buenos Aires: Juárez Ed.
- BYBEE, R. (2000). Achieving Technological Literacy: A National Imperative. *The Technology Teacher*, September 2000, 23-28.
- CAJAS, F. (1999). Public Understanding of Science: Using technology to Enhance School Science in Everyday Life. *International Journal of Science Education*, 21(7), 765-773.
- CAJAS, F. (2001). Alfabetización científica y tecnológica: la transposición didáctica del conocimiento tecnológico. *Enseñanza de las Ciencias*, 19(2), 243-254.
- CHALMERS, A. F. (1990). *Science and its fabrication*. Minneapolis, MP: University of Minnesota Press.
- CLEMINSON, A. (1990). Establishing an epistemological base for science teaching in the light of contemporary notions of the nature of science and of how children learn science, *Journal of Research in Science Teaching*, 27, (5), 429- 445.
- DÉSAUTELS, J. e LAROCHELLE, M. (1998b). The epistemology of students: The "thingified" nature of scientific knowledge. Em Fraser, B. e Tobin, K. (Eds.) *International Handbook of Science Education*, London: Kluwer.

- DÉSAUTELS, J., LAROCHELLE, M., GAGNÉ, B. e RUEJL, F. (1993). La formation a l'enseignement des sciences: le virage épistémologique. *Didaskalia*, 1, 49-67.
- DEVRIES, M. (1996). Technology Education: Beyond the 'Technology is Applied Science' Paradigm (Guest Article). *Journal of Technology Education*, 8(1), 7-15.
- DRIVER, R. e OLDFHAM, V. (1986). A constructivist approach to curriculum development in science. *Studies in Science Education*, 13, 105-122.
- ESTANY, A. (1990). *Modelos de cambio científico*. Barcelona: Editorial Crítica.
- FERNÁNDEZ, I. (2000). Análisis de las concepciones docentes sobre la actividad científica: Una propuesta de transformación. Tesis Doctoral. Departament de Didàctica de les Ciències Experimentals. Universitat de València.
- FERNÁNDEZ, I., GIL-PÉREZ, D., CARRASCOSA, J., CACHAPUZ, J. e PRAIA, J. (2002). Visiones deformadas de la ciencia transmitidas por la enseñanza. *Enseñanza de las Ciencias*, 20 (3), 477-488.
- FEYERABEND, P. (1975). *Against Method*. Londres: Verso. (Existe traducción al castellano en Madrid: Siglo XXI).
- FRASER, B. J. e TOBIN, K. G. (Eds.) (1998). *International Handbook of Science Education*. London: Kluwer Academic Publishers.
- GABEL, D. L. (Ed.) (1994). *Handbook of Research on Science Teaching and Learning*. New York: McMillan.
- GARDNER, P. L. (1994). Representations of the relationship between Science and Technology in the curriculum. *Studies in Science Education*, 24, 1-28.
- GASKELL, P. J. (1992). Authentic science and school science. *International Journal of Science Education*, v. 14, nº 3, 265-272.
- GIERE, R. N. (1988). *Explaining Science. A cognitive approach*. Chicago: The University of Chicago Press.
- GIL-PÉREZ, D. (1993). Contribución de la historia y la filosofía de las ciencias al desarrollo de un modelo de enseñanza/aprendizaje como investigación. *Enseñanza de las Ciencias*, 11 (2), 197-212.
- GIL-PÉREZ, D., CARRASCOSA, J., DUMAS-CARRÉ, A., FURIÓ, C., GALLEGO, N., GENÉ, A., GONZÁLEZ, E., GUIASOLA, J., MARTÍNEZ, J., PESSOA, A. SALINAS, J., TRICÁRICO, H. e VALDÉS, P. (1999). ¿Puede hablarse de consenso constructivista en la educación científica? *Enseñanza de las Ciencias*, 17, (3), 503-512.
- GIL-PÉREZ, D., CARRASCOSA, J., FURIÓ, C. e MARTÍNEZ-TORREGROSA, J. (1991). *La enseñanza de las ciencias en la educación secundaria*. ICE/Universitat de Barcelona. Barcelona: Horsori.
- GIL-PÉREZ, D., FERNÁNDEZ, I., CARRASCOSA, J., CACHAPUZ, A. e PRAIA, J. (2001). Por una imagem não deformada do trabalho científico. *Ciência & Educação*, 7 (2), 125-153.
- GILBERT, J.K. (1992). The interface between science education and technology education. *International Journal of Science Education*, 14(5), 563-578.

- GILBERT, J. K. (1995). Educación tecnológica: una nueva asignatura en todo el mundo. *Enseñanza de las Ciencias*, 13(1), 15-24.
- GIORDAN, A. (1978). Observation — Expérimentation: mais comment les élèves apprennent-ils? *Revue Française de Pédagogie*, 44, 66-73. Traducción española en *Infancia y Aprendizaje*, 1978, número 13.
- GUILBERT, L. e MELOCHE, D. (1993). L'idée de science chez des enseignants en formation: un lieu entre l'histoire des sciences et l'hétérogénéité des visions. *Didaskalia*, 2, 7-30.
- HACKING, I. (1983). *Representing and Intervening*. Cambridge, MA: Cambridge University Press. Traducción de S. García (1996): *Representar e intervenir*. Seminario de Problemas Científicos y Filosóficos, UNAM; Instituto de Investigaciones Filosóficas, México D. F.: UNAM/Paidós.
- HANSON, N. R. (1958). *Patterns of Discovery. An inquiry into the conceptual foundations of science*. Cambridge, MA: Cambridge University Press. Traducción de E. García Camarero (1977): *Patrones de descubrimiento. Investigación de las bases conceptuales de la ciencia*.
- HEMPEL, C. G. (1976). *Filosofía de la ciencia natural*. Madrid: Alianza.
- HEWSON, P. W., KERBY, H. W. e COOK, P. A. (1995). Determining the conceptions of teaching science held by experienced high school science teachers. *Journal of Research in Science Teaching*, Vol. 32, (5), 503-520.
- HILL, A. (1998). Problem Solving in Real-Life contexts: An Alternative for Design in Technology Education. *International Journal of Technology and Design Education*, 8, 203-220.
- HODSON, D. (1985). Philosophy of science, science and science education. *Studies in Science Education*, 12, 25-57.
- HODSON, D. (1992). In search of a meaningful relationship: an exploration of some issues relating to integration in science and science education. *International Journal of Science Education*, Vol. 14, 541-562.
- HODSON, D. (1993). Philosophy stance of secondary school science teachers, curriculum experiences and children's understanding of science: some preliminary findings. *Interchange*, 24 (1 e 2) 41-52.
- HODSON, D. (1994). Seeking Directions for Change. The Personalization and Politisation of Science Education. *Curriculum Studies*, 2 (1), 71-98.
- IZQUIERDO, M., SANMARTÍ, N. e ESPINET, M. (1999). Fundamentación y diseño de las prácticas escolares de ciencias experimentales. *Enseñanza de las Ciencias*, 17(1), 45-59.
- JIMENEZ, ALEIXANDRE, M. P. (1995). La formación del profesorado de ciencias y matemáticas en España y Portugal. Publicación del departamento de Didáctica de las Ciencias. Universidad de Extremadura.
- KING, B. B. (1991). Beginning Teachers Knowledge of and Attitude Towards History and Philosophy of Science. *Science Education*, 75(1), 135-141.

- KUHN, TH. S. (1971). *La estructura de las revoluciones científicas*. México: Fondo de cultura económica.
- LAKATOS, I. (1982). *Historia de la ciencia y sus reconstrucciones racionales*. Madrid: Tecnos.
- LAKATOS, I. (1989). *La metodología de los programas de investigación científica*. Madrid: Alianza Editorial.
- LAKIN, S. e WELLINGTON, J. (1994). Who will teach the "nature of science"? Teachers view of science and their implications for science education. *International Journal of Science Education*, 16(2), 175-190.
- LANGVIN, P. (1926). La valeur éducative de l'histoire des sciences. *Bulletin de la Société Française de Pédagogie*, 22. Décembre 1926.
- LAUDAN, L. (1984). *Science and values: the aims of science and their role in the scientific debate*. Berkeley: University of California Press.
- LINN, M.C. (1987). Establishing a research base for science education: challenges, trends and recommendations. *Journal of Research in Science Teaching*, 24 (3), 191-216.
- LÓPEZ CUBINO, R. (2001). *El área de Tecnología en Secundaria*. Madrid: Narcea.
- MAIZTEGUI, A., ACEVEDO, J. A., CAAMAÑO, A., CACHAPUZ, A., CAÑAL, P., CARVALHO, A. M. P., DEL CARMEN, L., DUMAS CARRÉ, A., GARRITZ, A., GIL-PÉREZ, D., GONZÁLEZ, E., GRAS-MARTÍ, A., GUIASOLA, J., LÓPEZ-CEREZO, J. A., MACEDO, B., MARTÍNEZ-TORREGROSA, J., MORENO, A., PRAIA, J., RUEDA, C., TRICÁRICO, H., VALDÉS, P. e VILCHES, A. (2002). Papel de la tecnología en la educación científica: una dimensión olvidada. *Revista Iberoamericana de Educación*, 28, 129-155.
- MATTHEWS, M. R. (1991). Un lugar para la historia y la filosofía en la enseñanza de las ciencias. *Comunicación, Lenguaje y Educación*, 11-12, 141-155.
- MATTHEWS, M. R. (1994). Historia, filosofía y enseñanza de las ciencias: la aproximación actual. *Enseñanza de las Ciencias*, 12(2), 255-277.
- McCOMAS, W. F. (Ed.) (1998). *The Nature of Science in Science Education. Rationales and Strategies*. Dordrecht/Boston London: Kluwer Academic Publishers.
- MEDWAY, P. (1989). Issues in the theory and practice of technology education. *Studies in Science Education*, 16, 1-24.
- MITCHAM, C. (1989). *¿Qué es la filosofía de la tecnología?* Barcelona: Antropos-Servicio Editorial del País Vasco.
- MORENO, A. (1988). *Aproximación a la física. Una historia de visionarios, rebeldes y creadores*. Madrid: Mondadori.
- MOSTERÍN, J. (1990). Prólogo al libro de Estany A. *Modelos de cambio científico*. Barcelona: Editorial Crítica.
- NIINILUOTO, I. (1997). Ciencia frente a Tecnología: ¿Diferencia o identidad? *Arbor*, 620, 285-299.
- NUSSBAUM, J. (1989). Classroom conceptual change: philosophical perspectives. *International Journal in Science Education*, v. 11, Special Issue, 530-540.
- PERALES, F. J. e CAÑAL, P. (2000). *Didáctica de las ciencias experimentales. Teoría y práctica de la enseñanza de las ciencias*. Alcoy: Marfil.

- PIAGET, J. (1970). *La epistemología genética*. Barcelona: Redondo.
- POMEROY, D. (1993). Implications of teachers' beliefs about the nature of science: Comparison of the beliefs of scientists, secondary science teachers, and elementary teachers. *Science Education*, 77(3), 261-278.
- POPPER, K. R. (1962). *La lógica de la investigación científica*. Madrid: Tecnos.
- QUINTANILLA, M. A. e SÁNCHEZ RON, J. M. (1997). *Ciencia Tecnología y Sociedad*. Madrid: Santillana.
- RODRÍGUEZ, G. D. (1998). Ciencia, Tecnología y Sociedad: Una mirada desde la educación en Tecnología. *Revista Iberoamericana de Educación*, 18, 107-143.
- ROTH, W. M. e LUCAS, K. B. (1997). From "Truth" to "Invented Reality": A Discourse Analysis of High School Physics Students' Talk about Scientific Knowledge. *Journal of Research in Science Teaching*, Vol. 34, (2), 145-179.
- ROTH, W. M. e ROYCHONHURY, A. (1994). Students' Epistemologies and Views about Knowing and Learning. *Journal of Research in Science Teaching*, v. 31(1), 5-30.
- SALTIEL, E. e VIENNOT, L. (1985). ¿Qué aprendemos de las semejanzas entre las ideas históricas y el razonamiento espontáneo de los estudiantes? *Enseñanza de las Ciencias*, 3 (2), 137-144.
- SÁNCHEZ RON, J. M. (1994) ¿El conocimiento científico prenda de felicidad? Em Nadal, J. (Ed.). *El mundo que viene*, 221- 246. Madrid: Alianza.
- SELLEY, N. J. (1989). The philosophy of school science. *Interchange*, 20, (2), 24-32.
- SOLBES, J. e VILCHES, A. (1997). STS interactions and the teaching of Physics and Chemistry. *Science Education*, 81(4), 377-386.
- SOLBES, J. e VILCHES, A. (1998). Las interacciones CTS en los nuevos textos de secundaria. Em Banet, E. e De Pro, A. (Coords.). *Investigación e Innovación en la Enseñanza de las Ciencias*, v. 1, 142-147. Murcia: D. M.
- SOLOMON, J. (1987). Social influences on the construction of pupils' understanding of science. *Studies in Science Education*, 14, 63-82.
- SOLOMON, J., DUVEEN, J. e SCOTT, L. (1994). Pupils' images of scientific epistemology. *International Journal of Science Education*, v. 16, (3), 361-373.
- STINNER, A. (1992). Science textbooks and science teaching: from logic to evidence. *Science Education*, 76, (1), 1-16.
- THOMAZ, M. F., CRUZ, M. N., MARTINS, I. P. e CACHAPUZ, A. F. (1996). Concepciones de futuros profesores del primer ciclo de primaria sobre la naturaleza de la ciencia: Contribuciones de la formación inicial. *Enseñanza de las Ciencias*, 14(3), 315-322.
- TOULMIN, S. (1977). *La comprensión humana. I: el uso colectivo y la evolución de los conceptos*. Madrid: Alianza.
- TRAYER, M. J. (1996). La història de les ciències en l'ensenyament de la Física i la Química. Tesis Doctoral. Departament de Didàctica de les Ciències Experimentals. Universitat de València, 1996.