

Inovação tecnológica e difusão no contexto de economias de desenvolvimento intermédio*

INTRODUÇÃO

Com a revolução industrial inglesa, no final do século XVIII, a noção de tempo sofreu uma alteração profunda. Até há cerca de 200 anos, um indivíduo médio dificilmente distinguiria o mundo que o rodeava no início e no final da sua vida. Hoje, já nada se passa da mesma maneira. A *quantidade de mudança*, traduzida pelo ritmo elevado de ocorrência de inovações, constitui uma das características singulares da nossa época. A inovação tecnológica, através da sua difusão por um número crescente de indivíduos, afecta a própria organização do espaço e os modos de vida.

Em conjunto com a quantidade de mudança, uma segunda característica singular do mundo actual é a cada vez maior incorporação da *componente «imaterial»* nos processos económicos. A produção apenas é possível dada a combinação de energia e de informação. Até muito recentemente, o peso relativo da componente energética escondia a importância da informação e do imaterial no sistema económico. O esforço era dirigido para a pesquisa e a diversificação das fontes energéticas, que permitiam substituir o trabalho humano «físico» empregue na produção de bens e serviços.

Porém, hoje em dia, a consideração da dimensão «imaterial» afigura-se indispensável. Este componente do sistema económico está, no final do século XX, bem à vista de todos. O desenvolvimento das tecnologias da informação e da comunicação, que sofreu uma aceleração assinalável na década de 80, tem permitido compreender a importância estratégica do factor informação. A riqueza de um país depende agora, em grande parte, do potencial de conhecimentos disponível, da sua organização e do respectivo modo de utilização (Caraça, 1989).

As transformações tecnológicas mais recentes têm assim desempenhado um papel indutor no aparecimento de um novo «paradigma tecneconómico», em que se conjuga a intensificação da «mudança» com a emergência do «ima-

*Estudo realizado no âmbito do projecto de investigação «Transformações Tecnológicas, Empresas e Universidade», em fase de execução no CEDEP — Centro de Economia Internacional do ISE/UTL. Este projecto é co-financiado pela Junta Nacional de Investigação Científica e Tecnológica e pela Fundação Luso-Americana para o Desenvolvimento.

Os autores desejam agradecer ao Prof. Ramos dos Santos os comentários feitos a propósito de uma versão preliminar, bem como aos participantes numa reunião alargada do projecto em que este trabalho foi apresentado e discutido. Como é evidente, todas as deficiências ou lacunas que permaneçam são da exclusiva responsabilidade dos autores.

terial». Tais transformações têm-se repercutido a diversos níveis, com o aparecimento e expansão de novos sectores e mercados, com a reestruturação de sectores já existentes, com novas formas de organização da produção e da empresa, com alterações nos mercados de trabalho e, em geral, com modificações nas macrestruturas económicas e sociais.

Estas alterações tão profundas têm assim contribuído para concentrar as atenções, tanto do público em geral como dos especialistas. A par de uma literatura de larga audiência, de carácter prospectivo, mas também relativamente ficcional, tem-se vindo a realizar um esforço de teorização do fenómeno da mudança tecnológica, com o objectivo de determinar quais as suas causas e consequências.

Neste artigo procura-se dar conta deste esforço, apresentando aos que trabalham no âmbito das ciências sociais no nosso país um campo teórico em crescimento muito rápido e que se pode considerar sob a designação genérica de «economia da inovação». Em particular, procura-se equacionar este esforço teórico, que na sua origem tem produções intelectuais provenientes de economias desenvolvidas, como o Reino Unido, os Estados Unidos, a Holanda ou a França, tomando em consideração as possibilidades e as restrições que se colocam às economias de desenvolvimento intermédio, com características idênticas à economia portuguesa, no acompanhamento da actual mudança de paradigma tecnocómico.

Para se atingirem estes objectivos faz-se, na primeira parte, uma breve revisão do tratamento que tem sido dado à tecnologia no âmbito da teoria económica, desde as abordagens mais ortodoxas, em que esta variável é negligenciada ou, pelo menos, subestimada até às abordagens mais recentes, onde a tecnologia ocupa um lugar de relevo na explicação da transformação económica.

De seguida, na segunda parte, traça-se o quadro conceptual da economia da inovação e expõem-se as principais linhas teóricas quanto à difusão da inovação tecnológica. Em particular, procurar-se-á discutir as implicações epistemológicas desta perspectiva para a teoria económica.

Na terceira parte aborda-se o problema da difusão internacional da tecnologia e analisam-se as principais barreiras que se opõem à absorção das novas tecnologias no contexto das economias de desenvolvimento intermédio.

Finalmente, apontam-se algumas linhas para futura reflexão sobre os problemas que se colocam às economias com um nível de desenvolvimento idêntico ao da economia portuguesa.

1. TECNOLOGIA E TEORIA ECONÓMICA

1.1 TECNOLOGIA E ORTODOXIA ECONÓMICA

É vulgar encontrar-se logo nas primeiras páginas dos principais manuais de economia uma referência às questões básicas que se colocam aos economistas e para as quais se espera uma resposta da teoria económica. Essas questões consubstanciam-se normalmente na tríade: «Que, como e para quem produzir?» (Samuelson e Nordhaus, 1988.)

De acordo com os manuais, a resposta a estes problemas básicos da organização económica é dada pelo funcionamento do sistema de preços em mer-

cados de concorrência livre, onde, através da interacção da oferta e da procura, se determina a afectação de recursos escassos susceptíveis de empregos alternativos. É também vulgar, nesses manuais, admitir-se a possibilidade de substituição parcial ou total da «mão invisível» por outros mecanismos de regulação económica característicos de economias mistas ou centralizadas. No entanto, e este é o aspecto que se deseja sublinhar, independentemente do processo de afectação de recursos, a tecnologia é normalmente considerada uma combinação dos factores produtivos primários, atingindo-se uma combinação óptima de acordo com as orientações provenientes dos mercados factoriais ou dos departamentos de planeamento onde se procedeu à estimativa dos preços-sombra. Assim, esta substituíbilidade factorial de inspiração neoclássica é, dentro de dados limites, absoluta, sendo a tecnologia (combinação de factores) totalmente moldável ao longo de uma infinidade de pontos das curvas isoquantas.

O mesmo fenómeno ocorre ao longo das fronteiras de possibilidades de produção, onde a multiplicidade de escolhas ao dispor da sociedade quanto à questão do «que produzir?» tem o seu reverso nas n combinações factoriais que lhes estão subjacentes. Uma «moldabilidade» muito elevada da tecnologia é altamente improvável, conforme tem sido posto em evidência pela análise empírica.

Apesar da hipótese de o determinismo tecnológico ser dificilmente aceitável, existe algum consenso de que o desenvolvimento tecnológico é afectado por um conjunto de circunstâncias, nomeadamente de ordem social, que favorecem a progressão não reversível ao longo de certas direcções, onde a acumulação de inovações incrementais vai permitindo o amadurecimento das inovações radicais. Isto é, o esforço e o investimento no desenvolvimento das diferentes tecnologias apontam para a evolução ao longo de «trajectórias tecnológicas» (Nelson e Winter, 1977). O próprio debate acerca das «tecnologias apropriadas» às circunstâncias dos países em vias de desenvolvimento tem concluído, dada a experiência factual, que existem limites quanto à diversidade tecnológica possível na produção de um dado bem ou serviço.

Por outro lado, e para além da pouca verosimilhança do pressuposto da possibilidade de escolha de uma infinidade de combinações factoriais, convém ter-se em consideração que a chamada *teoria neoclássica da produção* se preocupa, em última instância, com a explicação da formação dos preços dos factores, de modo a poder daí derivar uma teoria de repartição dos rendimentos, com as remunerações factoriais determinadas pelas produtividades marginais dos factores de produção. Isto é, a preocupação está mais no «para quem?» do que no «como produzir?».

Na teoria neoclássica da produção, a função de produção — relação técnica que exprime o nível de produção eficiente para uma dada combinação de factores produtivos — é utilizada para ilustrar a lei dos rendimentos decrescentes e as suas consequências «física» e «monetária»: a lei do produto marginal decrescente e a lei dos custos relativos crescentes.

A teoria neoclássica da produção considera, nas suas versões simplificadas, a tecnologia e a inovação como factores exógenos à empresa e ao sistema económico. Quando se pretende considerar os efeitos da transformação tecnológica, observando a alteração da função de produção por motivos relacionados com o «progresso técnico», não é possível compreender-se o processo que esteve subjacente à evolução poupadora de recursos (a deslo-

cação da função de produção corresponde a uma variação na quantidade de recursos por unidade produzida).

Se bem que admitindo a variabilidade de combinações factoriais ao longo de uma dada isoquanta, não se aceita a especificidade tecnológica de cada uma dessas combinações. Isto é, para uma empresa (ou uma economia) se deslocar de uma combinação factorial para outra, há necessidade de desenvolver um conjunto de conhecimentos específicos para pôr em acção a nova combinação. O desenvolvimento de tais conhecimentos tem implícito, como é óbvio, determinados custos económicos.

De acordo com a teoria neoclássica, o «progresso técnico» apenas se verificaria quando se registassem mudanças de isoquanta. As variações de combinação factorial ao longo de uma mesma isoquanta não implicariam tal progresso, pois a isoquanta representa as combinações possíveis, dado o nível de conhecimentos disponíveis na economia. Como a tecnologia é identificada com informação na teoria neoclássica, o acesso aos conhecimentos existentes seria feito sem qualquer custo suplementar. Mas, na realidade, e como se viu no parágrafo anterior, a variação de combinação factorial acarreta custos de natureza económica. Se, por uma alteração nos preços dos factores e nas respectivas ofertas, a empresa (economia) for obrigada a deslocar-se para uma combinação factorial distinta daquela em que se encontrava inicialmente, então ela deverá incorrer em custos elevados para poder dominar a tecnologia implícita à nova combinação¹. A questão que se coloca, do ponto de vista económico, é de como distinguir os custos relacionados com uma modificação de combinação factorial dos custos inerentes ao salto para uma outra isoquanta. Para Rosenberg (1976) o facto de em ambas as situações se verificarem custos económicos dificulta a distinção habitual feita pela teoria neoclássica entre alteração da combinação factorial e mudança de isoquanta devido a «progresso técnico». A adaptação a novas situações nos mercados factoriais é também uma expressão de mudança tecnológica.

A crítica à teoria neoclássica de produção não deve ser conduzida em termos do seu excessivo grau de abstracção na apresentação da empresa. A abstracção é aceitável quando — dado um certo fenómeno a explicar — a teoria é capaz de demonstrar a sua eficácia através de um modelo simplificado. O motivo pelo qual esta teoria não oferece capacidade explicativa das transformações tecnológicas é que esse não é o seu objectivo. A teoria neoclássica da produção pretende fundamentalmente explicitar a afectação eficiente de recursos obtida a partir das orientações provenientes dos mercados (Coombs, Saviotti e Walsh, 1987). Como os mercados em causa são os dos factores, cria-se também a base necessária para uma teoria de repartição dos rendimentos.

Também na *teoria neoclássica do comércio internacional*, a tecnologia tem um cariz genérico, não específico. A tecnologia tem o mesmo carácter

¹ Em contraste com a substituíbilidade dos factores produtivos dos autores neoclássicos, a função de produção neokeynesiana assenta na complementaridade dos factores, permitindo a escolha de uma única técnica produtiva no curto prazo. Esta função de produção, que se apresenta em forma de L, é também conhecida como «função de produção de Leontief», visto tal configuração corresponder ao pressuposto de rigidez no curto prazo dos coeficientes de produção das matrizes *input-output*. O facto de se abrir o leque das escolhas tecnológicas apenas no médio/longo prazo é tão inconsistente com a realidade como a posição neoclássica, que admite a escolha de uma infinidade de técnicas num dado momento.

de bem público, só que agora à escala internacional. Ela é identificada com informação que existe livremente disponível para ser utilizada pelos produtores das diferentes economias, estando como que concentrada num *pool* de informação ao qual os produtores podem recorrer para, de acordo com a sua dotação relativa de factores, adoptarem a tecnologia que lhes convém. Assim, de acordo com esta análise, os produtores de dois países poderiam ambos fornecer um bem tecnologicamente sofisticado, baseando-se em intensidades factoriais muito distintas e, mais grave, independentemente do nível de desenvolvimento das respectivas economias. Esta perspectiva é tanto mais paradoxal em relação à realidade, quanto o modelo se baseia na hipótese de imobilidade dos factores produtivos. Tal visão escamoteia o facto de existir um mercado de tecnologia com regras muito específicas, conforme se verá adiante, em 3.2, não se podendo de modo nenhum equiparar a absorção de tecnologia (através dos processos formais de transferência de tecnologia ou outros) à utilização sem custos de informação livremente disponível.

A disponibilidade da informação tecnológica é, aliás, um dos pressupostos do próprio modelo de concorrência perfeita. No entanto, em condições de concorrência monopolística, mais próximas da realidade, a capacidade de uma empresa preservar o segredo tecnológico é fundamental para lhe permitir a diferenciação proporcionadora de uma «renda» e a manutenção do monopólio. A extrapolação do que se passa em mercados locais para horizontes geográficos mais amplos, com contextos distintos quanto a externalidades e quanto a outros factores ambientais, permite compreender por que razão se tendem a manter durante longos períodos de tempo os hiatos tecnológicos que separam as economias em desenvolvimento das mais desenvolvidas.

Outro aspecto em que a teoria ortodoxa insistiu durante longo tempo foi a homogeneidade dos factores produtivos. Apenas a partir da década de 60 se começou a admitir a hipótese de heterogeneidade dos factores abrindo caminho às teorias do capital humano (através da identificação do investimento educacional como formação bruta de capital fixo) e, no âmbito da análise do comércio internacional, às teorias neofactoriais.

Torna-se assim evidente que a própria escola neoclássica foi evoluindo, não se mantendo na posição rígida do equilíbrio geral walrasiano. Os contributos exteriores à ortodoxia têm-na obrigado a considerar aspectos antes negligenciados, abrindo novas perspectivas teóricas.

1.2. CONTESTAÇÃO À ORTODOXIA

Um contributo seminal para considerar os efeitos dinâmicos da inovação tecnológica na estrutura e no funcionamento do sistema económico surge com a obra de Schumpeter (1912, 1943).

Partindo de uma perspectiva estática idêntica à de Walras, com as actividades económicas a processarem-se num esquema de fluxos circulares em que as rotinas existentes permitem manter os equilíbrios preços/quantidades, Schumpeter introduz então o efeito da inovação proporcionado pela acção individual de um dado empresário. A inovação gera instabilidades nos equilíbrios dos fluxos circulares, promovendo, por um lado, a «destruição criadora» e, por outro, o reajustamento nos preços/quantidades. Este modelo, em que o desenvolvimento económico é consequência da iniciativa

do empresário inovador, foi denominado por C. Freeman (1982) «Schumpeter Mark 1». Nas suas obras posteriores, Schumpeter (1943) substituiu o seu empresário (identificável, de algum modo, com a firma atomística de Marshall) pela grande empresa com laboratórios próprios de I&D. Uma I&D consciente, visando produzir endogenamente as inovações tecnológicas proporcionadoras de vantagens competitivas, distingue o modelo Schumpeter Mark 2 do seu antecessor, no qual a ciência, a tecnologia e a invenção aparecem de maneira exógena. Os trabalhos de Schumpeter abriram perspectivas novas de investigação à teoria económica (Coombs, Saviotti e Walsh, 1987). Em primeiro lugar, o aparecimento da inovação provoca a passagem da situação de equilíbrio inicial para uma situação de desequilíbrio. O desenvolvimento económico aparece associado ao desequilíbrio, sendo motivado pela inovação tecnológica. Só a inovação (ao nível do produto) permite a criação de novos sectores produtivos. O segundo contributo de Schumpeter prende-se com a própria diferença entre o seu modelo inicial e o proposto nos anos 40, abrindo caminho para dois debates de grande actualidade. Por um lado, coloca-se a questão de saber qual o tipo de estrutura de mercado mais apropriada (concorrencial ou oligopolística) para estimular a inovação. Por outro lado, o debate acerca de qual a dimensão óptima da empresa inovadora tem também aqui as suas raízes.

Até à segunda guerra mundial são poucos os trabalhos que aparecem demarcando-se da perspectiva ortodoxa dominante. Para além de Schumpeter, dois outros economistas merecem referência neste período: J. M. Keynes e S. Kuznets.

A *teoria keynesiana* representa uma muito maior aproximação à realidade relativamente aos modelos neoclássicos, que não admitiam, como se sabe, a possibilidade de existência simultânea de desemprego e equilíbrio na economia. Mas, e esse constitui um aspecto essencial quanto à importância e impacte prático que teve a teoria keynesiana após a segunda guerra mundial, passou-se a reconhecer o papel de instituições sociais e políticas na regulação do sistema económico (organizações de interesses no mercado do trabalho ou o governo na utilização discricionária dos instrumentos da política económica). O sucesso do keynesianismo no mundo desenvolvido, em contraste com um certo apagamento das teses schumpeterianas até à década de 80, deveu-se precisamente ao facto de Keynes ter introduzido na explicação do funcionamento do sistema económico instituições que, pelo menos aos olhos dos economistas neoclássicos, tinham uma natureza fundamentalmente extra-económica. Pelo contrário, Schumpeter não considerou nos seus modelos tal tipo de instituições (Freeman e Perez, 1988).

Há ainda um aspecto que interessa salientar no contributo de Keynes, tendo em consideração o enfoque da nossa abordagem. O economista de Cambridge proporcionou um retorno a uma perspectiva global de análise do sistema económico, tal como acontecia com os clássicos ingleses. Contudo, e ao contrário destes, a sua análise é centrada no curto prazo, isto é, não se preocupa com os factores dinâmicos que favorecem o crescimento e o desenvolvimento económico.

Foi no estudo deste problema, negligenciado por Keynes, que se destacou S. Kuznets. O trabalho pioneiro de Kuznets (1930) consistiu essencialmente numa análise de carácter empírico dos ritmos e das causas de crescimento na economia norte-americana e em algumas das economias europeias

mais avançadas à época. Não tendo o aparato teórico da análise keynesiana, a obra de Kuznets veio a constituir uma das principais fontes de inspiração para os modelos de crescimento e para as teorias do desenvolvimento que surgiram após a segunda guerra mundial e que têm vindo desde então a influenciar a concepção e execução de políticas nas economias menos desenvolvidas.

Contudo, o factor que teve um impacte determinante no aparecimento das preocupações crescentistas e desenvolvimentistas no seio da teoria económica foi a própria realidade posterior à segunda guerra mundial, com os problemas postos à reconstrução europeia e com os desafios que surgiram com o progressivo acesso à independência dos vastos territórios e populações que se encontravam sob o domínio das potências coloniais.

1.3 MODELOS DE CRESCIMENTO, TEORIAS DE DESENVOLVIMENTO E ABORDAGENS HETERODOXAS

Os primeiros modelos de crescimento que surgem aparecem filiados, em termos de inspiração teórica, nas correntes keynesiana e neoclássica. Os economistas R. Harrod e E. Domar, ao estudarem as condições de crescimento em equilíbrio das economias industrializadas, fazem-no sob a influência teórica de Keynes (de quem o primeiro foi discípulo em Cambridge). De acordo com a análise keynesiana, numa situação de subemprego da capacidade produtiva, uma variação positiva no investimento tem um efeito-rendimento, isto é, através do processo do multiplicador surge uma sucessão de ondas procura-rendimento que contribuem para expandir a actividade económica, aproximando-a do pleno emprego. O que separa Harrod e Domar de Keynes é o efeito-capacidade do investimento, isto é, uma variação positiva do investimento num dado momento tem como consequência o aumento da própria capacidade produtiva da economia no momento seguinte, passando a anterior meta do pleno emprego a fixar-se a um nível superior. Com este passo, as preocupações teóricas deslocam-se da análise conjuntural keynesiana para uma análise de prazo mais longo, onde, através da expansão de capacidade produtiva, se regista um fenómeno de «crescimento». Porém, entre outras limitações, o crescimento surge no modelo de Harrod-Domar como consequência exclusiva do aumento do *stock* de capital, não sendo considerados outros factores que impulsionem o sistema para diante.

A análise do crescimento de inspiração neoclássica, desenvolvida originalmente por R. Solow, posicionou-se numa perspectiva distinta da de Harrod-Domar. As dificuldades de manutenção da economia no difícil trilho do crescimento equilibrado são superadas pela introdução flexibilizadora dos preços, virando-se a investigação para a análise e medida das fontes de crescimento económico. O recurso a uma função de produção agregada, sob a formulação matemática proposta por Cobb-Douglas, permite medir os contributos relativos dos factores trabalho e capital para o crescimento do produto nacional. O cálculo da diferença entre a taxa de crescimento verificada e a soma dos contributos parciais dos factores de produção permite determinar um *residual* que Solow identificou como sendo o contributo do *progresso técnico* (Solow, 1957).

Trabalhos que apareceram na sequência do de Solow (p. ex., Denison, 1962) apuraram o método de determinação do residual, procurando discer-

nir os contributos quantitativos e qualitativos dos factores produtivos. A consideração de fontes suplementares de crescimento reduziu progressivamente o residual, se bem que não o tenha eliminado. Em algumas aplicações deste tipo de metodologia verificou-se inclusivamente o aparecimento de valores negativos para este residual (ver comparações dos resultados de diferentes estudos em Henin, 1979), o que levou alguns académicos a classificá-lo como «medida da nossa ignorância».

Contemporâneo deste tipo de abordagens é o trabalho de base empírica de Jacob Schmookler. Em conjunto com Schumpeter, a literatura sobre inovação costuma normalmente referir este economista norte-americano como responsável por um contributo seminal nesta área. Através do estudo das séries de investimento em bens de capital e de patentes registadas nos EUA, Schmookler (1966) determinou que se verificava um grau elevado de sincronia entre ambas as séries, se bem que as oscilações da segunda acompanhassem as tendências da primeira com um curto hiato temporal. A consequência desta descoberta é que a actividade inventiva seria predominantemente influenciada por componentes da procura. A relação causal aqui estabelecida não admite que seja a invenção a determinar o investimento (como em Schumpeter), mas aponta para que se passe exactamente o oposto.

A par da análise teórica proposta pelos «modelos de crescimento», com muitos outros contributos para além dos referidos, surgem as «teorias de desenvolvimento», de tónica mais normativa que positivista, onde se discutem as condições de «arranque» ou de quebra do «círculo vicioso da pobreza» e se desenham as estratégias proporcionadoras do «desenvolvimento». Neste âmbito conceptual é normalmente atribuída grande importância à tecnologia, considerada como uma variável estratégica no desenvolvimento económico.

No entanto, as posições sobre este problema são muito diversas, havendo desde aqueles que consideram positivamente a possibilidade de transferência de tecnologia (pela implantação de empresas estrangeiras ou por contratos de transferência) ou de desenvolvimento de «tecnologias apropriadas», até aos que têm uma visão francamente pessimista, como é o caso dos teóricos da «escola da dependência», que consideram ser o avanço tecnológico dos países desenvolvidos uma condição imprescindível à manutenção da sua supremacia nas relações internacionais, apenas lhes interessando a transferência nas fases de maturidade/declínio do produto.

Não sendo este o local indicado para aprofundar este debate na óptica das economias em vias de desenvolvimento, interessa-nos aqui sublinhar alguns conceitos propostos pelas teorias do desenvolvimento e que nos parecem ter relevância para compreender o problema dos efeitos e interacções da tecnologia em economias de diferentes níveis de desenvolvimento.

Ao propor um «crescimento desequilibrado», primeiro pela criação de uma infra-estrutura social (*social overhead capital*) e depois pela consequente expansão de um ou mais sectores produtivos (p. ex., investimentos na construção de caminhos-de-ferro poderiam induzir o aparecimento de uma indústria siderúrgica), Hirschman (1958) antevia a possibilidade de se criarem oportunidades de investimento e de se mobilizarem recursos financeiros através dos efeitos de arrastamento proporcionados pelas ligações a montante e a

jusante da(s) nova(s) indústria(s) industrializante(s). Do mesmo modo, o «crescimento polarizado» de Perroux (1955) transpõe, de algum modo, para o espaço uma perspectiva idêntica, onde um conjunto de actividades espacialmente concentradas, gozando de economias externas múltiplas e interactuantes, poderiam ter um efeito de arrastamento que se difundiria concentricamente ao espaço vizinho.

Estas perspectivas têm sido elaboradas pelos denominados *estruturalistas franceses*. A economia é encarada como uma estrutura complexa, onde as actividades não aparecem meramente justapostas à maneira walrasiana. Pelo contrário, elas surgem estruturadas num sistema de relações de interdependência e em reestruturação permanente. Para além do contributo já referido de Perroux, esta corrente é originalmente influenciada por H. Aujac e D. Masson, que propõem as noções de hierarquia e de dependência das indústrias no contexto dos quadros de relações intersectoriais (Rosário, 1987). O *sistema produtivo* é constituído por diversos subsistemas denominados «fileiras». Existem diferentes acepções do conceito de *fileira*, se bem que seja comumente aceite que a fileira constitui um conjunto coerente no qual as componentes se encontram em interacção dinâmica. A interpretação deste conceito que nos parece de maior interesse é aquela em que a fileira é entendida como um espaço com coerência produtiva e tecnológica, onde os diferentes segmentos da fileira se organizam desde as operações a montante até aos produtos finais (bens de consumo e de capital).

Originalmente, a abordagem em termos de sistemas produtivos atribuiu maior importância aos efeitos de arrastamento de algumas indústrias de base, como o cimento e o aço. Posteriormente veio a ser atribuído maior relevo à produção de bens de equipamento e, em particular, ao próprio sector produtor de máquinas para fabricar bens de equipamento. Esta perspectiva, em convergência nítida com as teses schumpeterianas, considera que é nesse sector que se concentra a tecnologia mais avançada, sendo o seu desenvolvimento imprescindível para, a partir dele, emanarem «normas» produtivas para outros sectores, isto é, para se difundirem pelo sistema produtivo conhecimentos e outros efeitos de mobilização que proporcionam um razoável dinamismo tecnológico e produtivo.

Este tipo de matriz teórica está subjacente à análise da especialização internacional proposta por G. Lafay (1982) (para uma aplicação desta perspectiva ao caso português veja-se Ribeiro, Fernandes e Rodrigues, 1983). Este tipo de abordagem avalia a adaptação da estrutura produtiva de uma economia à dinâmica da procura mundial, sendo esta dinâmica observada em termos das taxas de crescimento dos produtos das diferentes fileiras ao nível mundial. Esta análise, muito original, situa-se numa perspectiva diametralmente distinta da da teoria neoclássica do comércio internacional, pois, enquanto nesta são apenas as condições da oferta que determinam a organização do comércio, nos trabalhos de Lafay é dado um lugar de destaque à dinâmica da procura, devendo haver um esforço voluntarista, por parte das empresas e das instituições públicas, no sentido de adaptarem continuamente o sistema produtivo àquela dinâmica.

Os trabalhos de Lafay são influenciados, para além do estruturalismo francês, pelas análises de comércio internacional e de especialização que surgiram na sequência do paradoxo de Leontef, em particular pelas chamadas «teorias neotecnológicas» da medida da diferença dos potenciais (*gap*) tec-

nológicos (Posner, 1961) e do ciclo do produto (Vernon, 1966). A estas teorias, que contribuíram para abrir novos caminhos, será feita referência no ponto 3 da terceira secção deste artigo.

A exposição feita até este momento permitiu pôr em foco apenas algumas das tradições teóricas que têm equacionado o problema da transformação tecnológica.

Outras linhas de análise não tratadas aqui têm também abordado a variável tecnologia, nomeadamente ao nível da análise dos comportamentos organizacionais (psicologia social e estudos empresariais) onde se estabelecem relações entre o tipo de modelo organizacional e a tecnologia empregue, e também na literatura de organização industrial, onde se estabelecem relações entre estruturas de mercado e tecnologia.

Estas abordagens não são aqui focadas devido ao facto de a nossa preocupação se centrar, nesta primeira secção, fundamentalmente em torno de algumas das implicações macroeconómicas da transformação tecnológica (dinâmica produtiva, competitividade internacional) e do tratamento que lhes tem sido dado no âmbito da teoria económica.

A consideração pela teoria económica do processo de inovação tecnológica e da respectiva difusão apresenta problemas muito complexos. Pelo próprio facto de uma nova tecnologia nunca ter sido anteriormente experimentada, torna-se impossível considerar com exactidão, ou mesmo de forma razoavelmente aproximada, quais as suas possíveis interações e efeitos económicos. A inovação tecnológica e o processo através do qual ela se difunde é um fenómeno que contribui para aumentar a incerteza no ambiente que envolve os agentes económicos, introduzindo «ruídos» suplementares numa informação que se pretenderia perfeita. É assim compreensível o facto de a teoria económica ortodoxa ter evitado durante décadas a abordagem integrada da variável tecnologia. A tecnologia subjacente ao «como produzir?» tem sido sistematicamente tratada ao nível de uma «caixa negra» (Rosenberg, 1982) cujo conteúdo se desconhece, não havendo uma endogenização desta variável nos modelos representativos do funcionamento dos sistemas económicos.

Na próxima secção vamos ver as iniciativas teóricas que têm sido empreendidas no sentido de compreender melhor o papel desta variável na transformação estrutural do sistema económico.

2. ECONOMIA DA INOVAÇÃO E TEORIA ECONÓMICA

2.1 O PROCESSO DE INOVAÇÃO

A economia da inovação estuda os aspectos económicos das transformações tecnológicas, preocupando-se com as inovações nos processos de produção e nos produtos.

No estudo das transformações tecnológicas deve-se considerar um conjunto de fases e de acontecimentos relevantes entre os quais existe uma relação estreita: investigação e desenvolvimento experimental (I&D), invenção, inovação e difusão da inovação. A *I&D* engloba os trabalhos criativos, seguidos de forma sistemática com vista a ampliar o conjunto dos conheci-

mentos de natureza científica, bem como a utilização desses conhecimentos em novas aplicações. As *invenções* são normalmente resultado das actividades de I&D, podendo, no entanto, surgir desligadas de quaisquer actividades de carácter científico e sem relação com qualquer teoria previamente existente. De qualquer modo, e independentemente da sua origem «científica», ou «empírica», a invenção consiste numa «ideia», consequência do espírito criativo, que antevê a possibilidade de um novo processo ou de um novo produto. Por seu turno, a *inovação* — a primeira comercialização — corresponde ao «casamento» da invenção com o mercado. O hiato temporal entre a ideia e o referido «casamento» é altamente variável, nem sempre se antevendo as aplicações práticas das novas concepções. Por seu turno, o processo de *difusão da inovação* consiste no alastramento dessas inovações no seio da população de utilizadores potenciais. Trata-se de um processo complexo, podendo surgir aplicações comerciais esporádicas de conceitos fundamentais antes que a generalidade dos agentes económicos compreenda as vantagens da inovação ou, inclusive, tenha acesso a essa inovação. Os factores que inibem a difusão das inovações e condicionam o ritmo a que elas se expandem constituem uma das preocupações da economia da inovação.

Quais são as principais fontes das inovações? Como vimos no ponto 1.1, os economistas agrupados na corrente ortodoxa, preocupados fundamentalmente com os problemas dos equilíbrios nos mercados e trabalhando numa óptica de curto prazo, encaram a tecnologia como uma «caixa negra» onde os diferentes *inputs* são conjugados, sofrendo um processamento que os transforma em *outputs*. Nesta perspectiva, as tecnologias são como que depositadas pelos inventores numa prateleira à qual as empresas recorrem de acordo com as suas necessidades. De acordo com esta visão tradicional, a inovação é consequência exclusiva da procura dos produtores (*demand-pull innovation*). O trabalho empírico de Schmookler daria cobertura a tal perspectiva teórica.

A partir dos trabalhos do economista britânico C. Freeman (1982), operou-se uma transformação nesta visão limitativa do processo de inovação. Freeman determinou, a partir do estudo da indústria petroquímica e da relação entre as publicações em revistas científicas, o registo de patentes e o momento da aplicação produtiva das descobertas científicas, que a inovação dependia igualmente da criação de oportunidades científicas. Isto é, normalmente, a inovação só é possível se tiverem existido trabalhos de investigação prévios que tenham gerado os conhecimentos passíveis de formar novas concepções tecnológicas. No fundo, Freeman recuperou por via empírica o modelo que Schumpeter propusera nos seus últimos trabalhos. Esta visão, denominada *technology-push*, não é alternativa ao *demand-pull*, sendo-lhe, pelo contrário, complementar. É a interacção entre os factores de procura, derivados das necessidades sentidas nos mercados, e os factores relacionados com a oferta de conhecimentos (C&T) que permite gerar as inovações.

A ligação entre a ciência e a tecnologia tem-se tornado progressivamente mais íntima. A ciência tende a estar cada vez mais ligada e submetida a objectivos económicos (que nem sempre são os mais favoráveis ao seu próprio desenvolvimento). Por outro lado, a invenção que se baseia no engenho e na experiência prática, de base empírica, tende a ter relativamente menor importância, gerando sobretudo inovações incrementais correspondentes ao processamento de volumes diminutos de informação.

A inovação não deve, contudo, ser concebida como um mero confronto entre as «necessidades» provenientes do mercado e as «oportunidades» tecnológicas geradas pelo sistema de ciência e tecnologia.

A capacidade de inovar de uma economia depende do respectivo sistema de inovação (Freeman, 1987), dos factores ambientais que o condicionam e dos níveis de interacção entre as diversas componentes desse sistema. De acordo com Freeman (1987), pode-se descrever o sistema nacional de inovação como a rede de instituições nos sectores público e privado cujas actividades e interacções geram, importam, modificam e difundem novas tecnologias. A organização e a eficácia do sistema de inovação condicionam simultaneamente o montante total, o tipo e o valor económico das inovações geradas e ainda, este é um aspecto crucial, o ritmo a que essas inovações se difundem. No sistema de inovação entram em interacção o sistema produtivo (ligado aos mercados de factores primários, de *inputs* intermédios e de bens para consumo final), o sistema educacional (em particular o subsistema do ensino superior) e o sistema de ciência e tecnologia. O principal recurso comum a estes três sistemas é a informação científica e técnica. O principal factor ambiental (que condiciona ou estimula a inovação, consoante as circunstâncias) é a cultura prevalecente na sociedade e nas empresas, em particular no que concerne às atitudes relativas ao risco e à propensão para inovar.

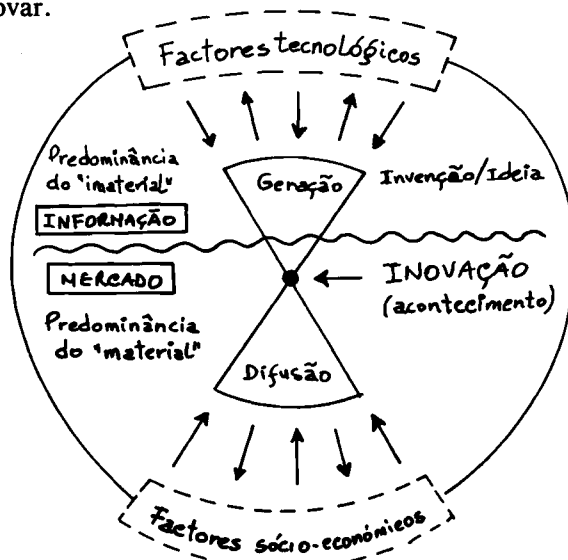


Fig. 1. — O processo de inovação

Podem-se distinguir duas etapas fundamentais no *processo de inovação*: uma primeira de carácter basicamente imaterial, a geração da inovação, que precede a inovação propriamente dita e onde o recurso informação é dominante, e uma segunda etapa que corresponde à corporização do imaterial no domínio do mercado, posterior à inovação, durante a qual se processa a sua difusão.

Aleatoriedade e interacção entre diferentes agentes inovadores e entre estes e factores ambientais diversos são características desta visão do pro-

cesso de inovação, muito distinta das visões tradicionais, que recorriam a um modelo linear (tipo *pipe-line*), onde um conjunto de actividades se organizavam sequencialmente (investigação fundamental, investigação aplicada, desenvolvimento experimental) para proporcionarem a inovação.

2.2 UMA TAXONOMIA DA INOVAÇÃO

A única base segura para poder fazer frente à complexidade envolvida no processo de mudança tecnológica é um padrão conceptual que permita proceder a generalizações. É possível utilizar uma taxonomia da inovação (Freeman e Perez, 1988) que deriva, em grande parte, dos trabalhos realizados no Science Policy Research Unit da Universidade de Sussex. Pode-se assim distinguir entre inovações incrementais, inovações radicais, mudanças de «sistema tecnológico» e mudanças de «paradigma tecneconómico»:

I) *Inovações incrementais*: verificam-se quando há pequenas mudanças nos produtos ou nos processos que permitem a melhoria da qualidade ou a diminuição de custos e aumento de produtividade. Estas inovações surgem muitas vezes em consequência não de um esforço deliberado de I&D, mas de um trabalho de assimilação da tecnologia, de compatibilização entre diferentes equipamentos, de esforços resultantes da aprendizagem ao longo do processo produtivo («*learning by doing*», Arrow, 1962). De algum modo, esta aprendizagem surge na utilização dos produtos e pelos melhoramentos que os seus utilizadores são capazes de introduzir («*learning by using*», Rosenberg, 1976). Inovações incrementais surgem também através do processo de interacção com os consumidores ou com os fornecedores de *inputs* («*learning by interacting*», Andersen e Lundvall, 1988). As mudanças que vão lentamente ocorrendo nos coeficientes técnicos das matrizes *input-output* são atribuíveis a inovações deste tipo.

II) *Inovações radicais*: processam-se de forma descontínua, sendo normalmente consequência de esforços formais de I&D em laboratórios de empresas, de instituições públicas ou de universidades. O carácter isolado de uma dada inovação radical não lhe permite ter impactes ao nível do conjunto da estrutura do sistema económico, podendo, no entanto, dar lugar a um mercado totalmente novo (o que aconteceu com o *nylon*, por exemplo).

III) *Mudanças de «sistema tecnológico»*: trata-se de mudanças profundas na tecnologia que afectam vários ramos da economia ou dão origem a sectores completamente novos. Nestes períodos ocorrem normalmente inovações radicais e incrementais, proporcionando o aparecimento combinado de novos produtos, processos e estruturas organizacionais, dando origem a novas «famílias» de produtos que se relacionam num dado «sistema tecnológico» (Perez, 1988, dá o exemplo das máquinas de lavar a roupa de tambor rotativo como uma «família de produtos» em evolução dentro do «sistema tecnológico» dos bens de consumo durável com motor eléctrico. Este sistema desenvolveu-se nas últimas décadas com o objectivo de substituir o trabalho manual empregue em tarefas domésticas).

IV) *Mudanças de «paradigma tecneconómico»*: este tipo de mudança técnica tem efeitos que influenciam de forma global o funcionamento do sistema económico. Uma «revolução tecnológica» — ou mudança de «paradigma» (Dosi, 1984), recorrendo a uma linguagem kuhniiana — verifica-se

em consonância com o desenvolvimento de um ou vários sistemas tecnológicos que vão provocar não só o aparecimento de novos produtos e processos, mas também alterações nos modos de organização económica e social e nos comportamentos dos agentes económicos. Dada a profundidade desta alteração, sugere-se em Freeman e Perez (1988) que se deve falar de mudanças de «paradigma tecneco-nómico».

Uma vez estabelecido o novo «paradigma», adquire significado o conceito de «trajectórias naturais» (Nelson e Winter, 1977). Os avanços tecnológicos de uma dada indústria verificam-se fundamentalmente de acordo com as direcções imprimidas pela investigação passada e pelas inovações que foram ocorrendo nessa indústria, e não — como o pressupõe a teoria económica convencional — em consequência exclusiva de uma elevada sensibilidade às condições da procura em cada momento. Dado um certo «estado da arte» tecnológico da indústria, os engenheiros e os técnicos têm uma noção acerca dos avanços tecnológicos passíveis de concretização e merecedores de afectação de recursos (Nelson e Winter, 1977, pp. 56-57), tendo em consideração a experiência histórica nessa indústria e a trajectória tecnológica entretanto percorrida.

Em Freeman e Perez (1988) demonstra-se como os paradigmas tecneco-nómicos se sucedem, com o novo paradigma a emergir no interior daquele que irá substituir, evidenciando as suas vantagens decisivas na fase descendente do ciclo de Kondratiev². Mais ainda — e esta é a tese sustentada no referido trabalho —, o novo paradigma apenas se estabelece como dominante «after a crisis of structural adjustment, involving deep social and institutional changes, as well as the replacement of the motive branches of the economy» (p. 47). No fundo, reconhece-se dever existir uma correspondência entre a nova tecnologia e o sistema social de gestão da economia — quer ao nível das organizações microeconómicas, quer ao nível macroeconómico —, sugerindo-se que as recessões profundas (ou fases baixas do ciclo económico) correspondem a períodos de ajustamento estrutural em que as relações sociais e as instituições de regulação se estão a adaptar às novas tecnologias emergentes.

O momento histórico actual corresponderia a um destes períodos de ajustamento, estando a verificar-se o desenvolvimento do «paradigma da informação e da comunicação». A informação constitui, portanto, o factor-chave no paradigma tecnológico que se encontra em expansão.

Cada paradigma é caracterizado pelo recurso a um factor-chave (um ou vários *inputs*) que preenche um conjunto de condições: a) custo relativo baixo e a diminuir rapidamente, alterando profundamente a estrutura de custos preexistentes; b) disponibilidade ilimitada de oferta durante largos períodos de tempo, permitindo aos investidores tomar decisões seguras quanto a novos projectos; c) elevado potencial de incorporação do novo factor-chave em diferentes produtos e processos através do sistema económico (Freeman e Perez, 1988).

Na fase actual, de acordo com esta perspectiva, encontramos-nos na passagem de um paradigma caracterizado pelo recurso intensivo ao petróleo a

² Cabe ainda referir o contributo de G. Mensch (1979) para relançar a discussão sobre o papel central da inovação tecnológica no faseamento e configuração das flutuações de longo prazo na economia.

baixo custo e a materiais intensivos em energia para um paradigma onde os desenvolvimentos da microelectrónica e as suas aplicações aos computadores e às telecomunicações permitem processar quantidades cada vez maiores de informação a custos decrescentes.

As consequências de um novo paradigma tecneco-nómico e do emprego de um novo factor-chave fazem-se sentir a muitos níveis diferentes: estrutura de qualificações; nova combinação de produtos disponíveis e novas estruturas de investimento e de consumo, com alteração no comportamento dos consumidores; alteração nas tendências de localização das empresas, quer ao nível nacional, quer internacional; exigência de investimentos em infra-estruturas; renovação dos papéis relativos das pequenas e grandes empresas, com modificação das tendências de concentração e de organização dos mercados; novos critérios de avaliação do desempenho das empresas e mudanças nos modelos organizativos.

À mudança de paradigma tecneco-nómico, tal como à inovação incremental ou à inovação radical, depara-se um conjunto de condicionalismos e de factores favorecedores da sua expansão. Estes aspectos vão ser analisados no ponto seguinte, em que se abordam algumas teorias sobre a difusão das inovações tecnológicas.

2.3 MODELOS DE DIFUSÃO DA INOVAÇÃO TECNOLÓGICA

Apesar de se reconhecer serem a geração da inovação e a difusão duas etapas interactuantes, é possível distingui-las analiticamente. Para a análise da difusão devem ser tomadas em consideração diversas variáveis, procurando que a modelização do processo de difusão formalize as relações que se estabelecem entre essas variáveis. Os aspectos a considerar são essencialmente os seguintes: características da inovação (produto ou processo, radical ou incremental, mutabilidade ou estabilidade); características da população de utilizadores potenciais; características dos produtores da inovação; comportamentos e processos de decisão subjacentes às unidades que constituem a procura e a oferta da inovação; fluxos de informação que se estabelecem entre essas unidades; características do ambiente em que se processa a difusão (concorrência intertecnologias, economias externas, propensão à mudança).

A análise da difusão é um campo de investigação em rápida expansão, tendo-se avançado nos últimos anos para uma modelização econométrica dos processos de difusão. De momento vão-se apenas esboçar as abordagens seminais neste campo e referir alguns trabalhos mais recentes que têm surgido com o objectivo de superar as principais limitações patentes nessas primeiras abordagens.

O modelo tradicionalmente empregue na análise da difusão de tecnologia é idêntico ao empregue nos estudos epidemiológicos. Nesses modelos assume-se que uma dada epidemia se expande numa primeira fase com taxas de difusão cada vez mais elevadas, até atingir um momento a partir do qual se dá uma inflexão no ritmo da difusão. Na segunda fase, as taxas de difusão diminuem, com a curva descritiva do processo de evolução a tender assintoticamente para níveis próximos do valor máximo de indivíduos afectados pela epidemia (população abrangida). Trata-se pois de um modelo logístico com configuração em S.

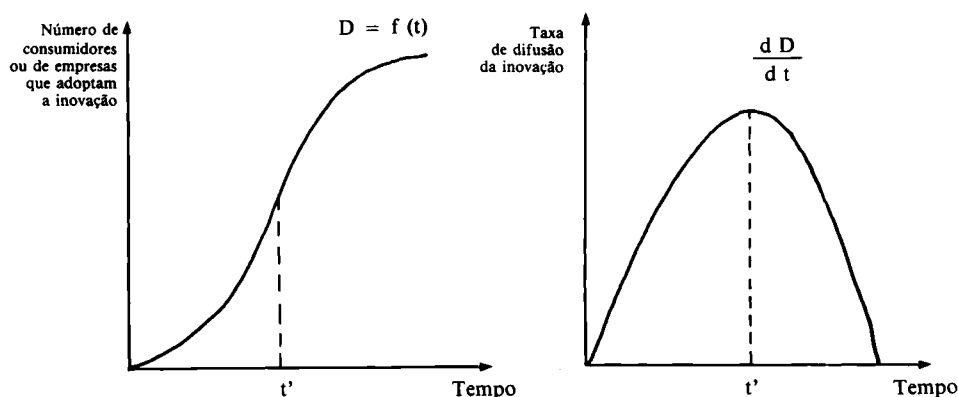


Fig. 2. — Modelo epidemiológico de difusão

Apesar de este modelo ter revelado qualidades descritivas muito elevadas de alguns processos de difusão, em particular de novos produtos de consumo duradouro (Coombs, Saviotti e Walsh, 1987), ele tem sido objecto de críticas muito severas, apontando-se a ausência de qualquer teoria que fundamente este tipo de modelo «mecanicista».

As primeiras abordagens críticas do modelo epidemiológico conduziram à utilização do chamado «modelo *probit*». O principal pressuposto deste modelo, muito empregue na análise da difusão de novos produtos entre consumidores, é de que um consumidor (ou uma empresa) passará a possuir o novo produto (ou a adoptar a inovação) se, no momento t , o seu rendimento (ou um determinado factor crítico) ultrapassar um dado limiar crítico. Normalmente, assume-se que, para as empresas, esse factor crítico é a dimensão (David, 1975), correlacionando-se dimensão com capacidade de adquirir e processar a informação necessária para avaliar a inovação e com a prontidão de assumir os riscos inerentes à adopção da nova tecnologia. Ao utilizar-se o modelo *probit* para descrever o processo de difusão, introduz-se explicitamente um elemento diferenciador entre os agentes da procura (neste caso, dimensão empresarial), superando assim um dos aspectos negativos apontados ao modelo epidemiológico.

Porém, o recurso à análise *probit* não responde a grande parte das críticas feitas ao modelo epidemiológico. Trabalhos realizados por Stoneman (1983) e por Metcalfe (1981 e 1988) têm procurado superar o carácter estático do modelo epidemiológico, bem como considerar a difusão enquanto fenómeno não induzido em exclusivo pela procura.

É de esperar que tanto a inovação como o ambiente onde ela se difunde estejam em mutação ao longo do tempo. A introdução de inovações incrementais numa inovação radical («trajectória natural da tecnologia»: Nelson e Winter, 1977) pode alterar o nível do factor crítico considerado necessário nos modelos *probit* para absorver a inovação. A própria evolução da empresa (aumento da dimensão, por exemplo) pode contribuir para modificar as condições de absorção. Por outro lado, outro aspecto que tem sido considerado

é a interacção entre os lados da oferta e da procura. A rendibilidade do inovador, as condições de mercado em que ele actua (concorrência e lucro de monopólio) e a sua capacidade produtiva são aspectos que também devem ser equacionados na análise da difusão.

Como é referido por autores que se têm ocupado da história económica da tecnologia (Rosenberg, 1976, e von Tunzelmann, 1978), um outro aspecto que exerce bastante influência nos processos de difusão é a concorrência inter-tecnologias.

As inovações incrementais em tecnologias amplamente difundidas podem, melhorando o seu desempenho, prolongar o seu período de vida, atrasando a introdução da nova tecnologia, ainda não suficientemente competitiva. Em geral, uma tecnologia dominante tem um conjunto de infra-estruturas, de qualificação e mesmo de tradições (normas de decisão, modos de organização) que actuam em prejuízo da difusão de inovações. Este facto pode ser favorável à nova tecnologia quando no passado não foram realizados investimentos elevados proporcionadores de economias externas favoráveis ao funcionamento da tecnologia madura (Soete, 1985). Os modelos propostos nos trabalhos de Metcalfe e Stoneman têm proporcionado um salto qualitativo na análise económica da transformação tecnológica, se bem que «they have not yet been subjected to the same degree of empirical testing of the older epidemic model. This is an important research priority for the future» (Coombs, Saviotti e Walsh, 1987, p. 133).

2.4 REFLEXÕES SUSCITADAS PELA ECONOMIA DA INOVAÇÃO NO ÂMBITO DA EPISTEMOLOGIA

Tendo revisto, ao longo desta segunda secção, a estrutura conceptual das teorias da inovação e da difusão, é possível agora alargarmos o âmbito da nossa análise para procurar discutir a influência deste campo de investigação nos pressupostos e conceitos da ortodoxia económica. Nesta reflexão tentar-se-á ver em que medida os problemas levantados pela análise da mudança tecnológica não colocam em causa a própria teoria económica dominante e o respectivo modelo epistemológico subjacente.

As ciências naturais têm influenciado o modo como, desde há mais de 300 anos, o pensamento económico apreende e representa a realidade. O «circuito económico» de F. Quesnay foi buscar a sua inspiração ao estudo e à representação da circulação sanguínea no corpo humano. A esta modelização não terá sido estranho o facto de Quesnay ser médico de profissão. No entanto, é à *física newtoniana* que a economia foi recolher a sua principal inspiração epistemológica.

Para Newton, o universo aparece como um enorme mecanismo, sendo o seu movimento regulado por leis naturais e eternas. O papel reservado à ciência, nesta concepção, é o da pesquisa e formalização matemática dessas leis imutáveis que ordenam o equilíbrio universal. O universo newtoniano é «reversível», pois as regularidades que o caracterizam permitem o retorno cíclico aos mesmos pontos do espaço, tal como acontece, por exemplo, na gravitação dos planetas em torno do Sol. Esta «reversibilidade» exclui a possibilidade de evolução, pois, para além de omitir a própria origem dos fenómenos (e respectivas causas), não admite que se verifiquem mudanças do tipo «universo em expansão».

O percurso através do qual a física foi evoluindo, na sequência do contributo original de Newton, foi interrompido pelas novas visões paradigmáticas que entretanto se foram desenvolvendo. Contudo, as correntes dominantes da economia teórica continuam ainda hoje substancialmente inspiradas por uma perspectiva do universo proposta no final do século XVII, sem que tal visão seja firmemente contestada no mundo académico.

A influência do «novo modo de pensar» proposto pela física no final do século XVII é perceptível pelo menos desde a escola clássica inglesa. A «mão invisível» de Smith apresenta analogias irrefutáveis com a concepção newtoniana. Se não se verificarem interferências nefastas que impeçam o funcionamento livre das «leis naturais» que regulam os mercados, será possível atingir-se o «bem comum» («equilíbrio»). O estado estacionário de Ricardo corresponde a uma fase final de equilíbrio termodinâmico, depois de o universo se ter «esvaziado» do seu potencial inicial de criatividade.

Nos economistas neoclássicos, o foco da análise desloca-se das preocupações dinâmicas e de longo prazo dos clássicos, centrando-se nos factores que condicionam os equilíbrios preços-quantidades nos mercados. Em vez de pesquisarem os factores dinâmicos que promovem a mudança qualitativa na estrutura económica, os economistas neoclássicos centram-se nas leis que regulam os mercados e que contribuem para que os preços e as quantidades gravitem em torno de um determinado ponto de equilíbrio. As «leis naturais» (da oferta e da procura) são passíveis de formalização através de equações matemáticas, susceptíveis de agregação em sistemas e em modelos representativos do funcionamento parcial ou global da economia. O esforço teórico dos economistas neoclássicos foi notável, procurando eliminar a «carga normativa» que envolvia a economia clássica, substituindo-a por uma análise positivista (de raiz newtoniana e cartesiana) dos mecanismos económicos. Esta progressão, que se poderá admitir como um «avanço», não se terá feito, contudo, sem custos para a disciplina económica.

No caminho para transformar a economia numa ciência exacta, a obra *Elementos de Economia Pura*, de Leon Walras, publicada em 1874, assumiu grande importância. Walras admitia que a teoria económica constituía uma ciência físico-matemática, tal como a mecânica ou a hidrodinâmica. De acordo com Juma (1987), «The history of conventional economic thought from Walras to the modern times can be largely described as an elaborate footnote on Newton; the discipline, with its equations and analytical tools, is a metaphor of Newton mechanics. [...] Walras complained that France produced mathematicians with no knowledge of economics and cultivated men of letters devoid of any notion of mathematics. This, in his view, led to the flourishing of bad mathematicians and bad pure economists. He said the 20th century would need to entrust the social sciences to men of general culture initiated into inductive and deductive thinking and familiar with reason and experience». O próprio Walras previa (citado em Juma, 1987) que «'Then mathematical economics will rank with mathematical science of astronomy and mechanics; and in that way justice will have been done to our work'».

As previsões de Walras concretizaram-se em boa medida durante o século que se seguiu à publicação dos seus *Elementos*. O recurso à matemática transformou a produção das correntes dominantes da economia, como é habitual afirmar-se, num corpo teórico de extrema sofisticação e elevada

«elegância lógica». A influência de Walras (a par de Marshall) foi muito importante para a evolução da teoria económica, sem que se tenham contestado o mecanicismo do seu modelo e os pressupostos de equilíbrio a ele subjacentes.

O problema da introdução da «variável tempo» em economia permanece como uma dificuldade real: de acordo com P. M. Allen (1988), «Two time scales are supposed. A very short one, for the approach to price equilibrium where all markets clear, and a larger one which describes the displacement over time of this equilibrium as a result of changing 'parameters'» (p. 97).

Em consequência, «Change is then always exogeneous to the model, being driven by imposed changes of the relevant parameters. In other words, this corresponds merely to a 'description' of change (and not an accurate one), mechanically impacting on a system of fixed structure, imposed changes on parameter values. Indeed, calibrating any such model becomes simply a task of finding changing values of parameters such that it reproduces the observed time variations of variables. And this amounts to a 'curve fitting' exercise with no real content. It explains only the economists obsession with simultaneous equations, regressions and static curves, and denies the importance of history, of time delay, of anticipation, and indeed of consciousness» (Allen, p. 97).

Sem dúvida que esta descrição da economia actual proposta por P. M. Allen tem algo de caricatural. No entanto, como numa boa caricatura, se alguns pormenores ficam de fora, os traços essenciais são registados com natural e desejável exagero. O caminho kuhniano «normal» das correntes dominantes da economia teria impedido a compreensão do verdadeiramente importante, isto é, dos factores associados à mutação qualitativa do próprio sistema económico.

Os modelos económicos, ao abstrair-se da diversidade inerente a qualquer população de agentes económicos, e considerando um agente médio representativo do conjunto da população, estão apenas a preocupar-se com um comportamento-norma, perspectivando as análises macroscópicas como uma agregação de n agentes microscópicos indiferenciados entre si. Ora será precisamente na diversidade de comportamentos microscópicos dos diferentes agentes económicos que se fundamenta a mudança. Com n agentes de características idênticas e assumindo todos o mesmo tipo de comportamento racional (maximizador ou minimizador, de acordo com as circunstâncias), o sistema não dispõe de capacidade para, por si só, evoluir para um novo estado. São os comportamentos aleatórios, de indivíduos marginais e criativos, não cartesianos, que geram as mutações no interior de um sistema. A dificuldade de introduzir esta diversidade microscópica em qualquer modelo é evidente. O preço de manter o agente médio, filho da abstracção positivista dos neoclássicos, será, contudo, muito superior. A mudança continuará a ocorrer apenas como consequência de variações exógenas no ambiente, não influenciáveis pelo sistema em análise.

Como é referido no artigo de P. M. Allen (1988), onde se submete a economia ao escrutínio da evolução recente das ciências naturais (nomeadamente da biologia e da física), o fenómeno da inovação tecnológica tem na sua base comportamentos de diferenciação perante as normas vigentes que fazem que o inovador seja um indivíduo distinto do agente cartesiano dos modelos ortodoxos. A inovação será uma das principais causas da introdução de «nova

informação» no sistema económico, contribuindo para que se registe uma evolução para situações qualitativamente distintas. A inovação tecnológica e respectiva difusão e as mudanças técnicas que lhes estão associadas são, no entanto, um dos aspectos essenciais que a economia ortodoxa tem subestimado. A diversidade de comportamentos e estratégias institucionais que sublinham a regulação do sistema económico são outro dos aspectos negligenciados. Estes aspectos deverão ser considerados em modelos onde se proceda à introdução da incerteza, da diversidade, da consciência e da aprendizagem para que se possa compreender a mutabilidade do sistema económico. De acordo com Allen, «Science now offers us a mathematical basis on which to understand how complex systems came into being, and how they may evolve in the future. The next decade will see a rapid growth in research aimed at exploring this new and exciting path» (p. 118).

Em suma, o esforço teórico que se tem vindo a desenvolver no campo do estudo da inovação tecnológica e da difusão propõe *uma nova abordagem da teoria económica, de carácter dinâmico e evolucionista, procurando integrar a mudança técnica e institucional*, de modo que aspectos tão essenciais deixem de ser tratados enquanto «resíduos» ou factores «exógenos». A substituição da metáfora newtoniana por qualquer outra mais explicativa da mutabilidade do sistema económico, como é o caso da metáfora evolucionista proveniente da biologia, não deve ocorrer por meio de qualquer automatismo. Pelo contrário, poderemos estar a presenciar a emergência de modelos com características distintas das dos modelos das ciências da natureza. Tal não obvia, como é evidente, a que a economia aprofunde o diálogo com as outras ciências e procure compreender os seus mecanismos de funcionamento e o próprio significado dos seus avanços.

3. DESENVOLVIMENTO INTERMÉDIO, DIFUSÃO INTERNACIONAL DA INOVAÇÃO E BARREIRAS À ENTRADA

3.1 ANÁLISE COMPARATIVA DE DIFERENTES SISTEMAS DE C&T

As características do processo de inovação dificultam a realização de qualquer medida directa do modo como internacionalmente se reparte a inovação. Para se proceder a essa medida directa seria necessário desenvolver critérios que proporcionassem uma valoração relativa de diferentes inovações. Em particular, seria necessário poderem-se avaliar as inovações incrementais — muitas vezes determinantes na difusão de uma dada tecnologia ou produto — que surgem em momentos temporais distintos e também em espaços económicos diferenciados. Os problemas que aqui se colocam são de algum modo idênticos aos da medida do desenvolvimento tecnológico (ver, a este respeito, Ramos dos Santos, 1983). É por esta razão que, também aqui, é necessária a utilização de indicadores indirectos que se sabem correlacionados com o esforço de inovação.

É possível o recurso a informação e a indicadores muito distintos para caracterizar o esforço inovador de uma economia. Neste momento vamos apenas utilizar alguns indicadores que permitam contrastar o esforço de inovação em Portugal com o realizado noutras economias de características bastante distintas.

Relativamente aos chamados «indicadores de *input*» vai-se apenas referir a despesa em investigação e desenvolvimento (DI&D) e a sua estrutura.

Despesa interna bruta em investigação e desenvolvimento (percentagem)

[QUADRO N.º 1]

	EUA	Japão	RFA	RU	França	Suécia	Portugal
DI&D(a)	110,7	39,5	19,8	13,5	14,5	2,9	0,3
DI&D/PIB	2,81	2,81	2,66	2,19	2,32	2,71	0,46

(a) Valores para 1985 (Portugal: 1986) em 10⁹\$US.

Fonte: Lederman (1987), com excepção dos dados para Portugal, que provêm da JNICT (1989).

As *despesas brutas em I&D* (DI&D) constituem o indicador vulgarmente utilizado para aferir os recursos empregues em actividades de C&T. Como é evidente, o montante total de recursos financeiros investidos em I&D difere substancialmente de país para país, de acordo com a sua dimensão e envergadura económica. Para ter uma noção das disparidades nesta matéria, a DI&D da RFA, por exemplo, tem um valor equivalente ao do PIB português. Por outro lado, a Suécia, com uma população idêntica à portuguesa, tem uma DI&D quase 15 vezes superior à do nosso país em termos absolutos e 7 vezes em termos relativos.

Financiamento e execução das despesas em I&D (em percentagem)

[QUADRO N.º 2]

	EUA		Japão		RFA		França		RU		Suécia		Portugal	
	F	E	F	E	F	E	F	E	F	E	F	E	F	E
Empresas	50	73	67	65	61	72	41	57	42	63	58	65	27	26
Estado	47	12	22	9	38	12	54	29	48	21	40	5	63	36
Ensino superior ..	3	12	11	22	1	15	5	14	10	13	2	30	7	30
IPs/F	—	3	—	4	—	—	—	—	—	3	—	—	8	8
Estrangeiro	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	3	—

Nota — O ano de referência da informação é 1985, excepto para Portugal, em que os valores apresentados dizem respeito a 1986.

Fonte: Lederman (1987), com excepção dos dados para Portugal, que provêm da JNICT (1989).

O maior contraste entre as *estruturas de financiamento e de execução da DI&D* nas economias mais desenvolvidas e em Portugal diz respeito aos papéis relativos do Estado e das empresas. Nos EUA, por exemplo, o Estado financia 47% da I&D, sendo, no entanto, responsável pela execução de uma parcela muito inferior, de apenas 12%. Verifica-se, em contrapartida, que a indústria executa 73% da DI&D total, com uma participação no financiamento desse total que não ultrapassa os 50%. Este panorama é extensivo à maior parte das economias desenvolvidas, onde o sector público transfere fundos para a indústria, subsidiando indirectamente a produção das empresas (pelo menos a prazo). Excepção a esta quase regra é o caso do Japão, onde a relação financiamento/execução é ligeiramente deficitária para as empresas.

De qualquer modo, e esse é o aspecto que interessa salientar, dos escasos recursos financeiros afectos à I&D em Portugal, pouco mais de um quarto provém do sector empresarial, sendo que a transferência de fundos do Estado para as empresas é, neste caso, bastante pequena. A Espanha, cuja *ratio* DI&D/PIB é pouco superior à portuguesa, apresenta uma estrutura mais equilibrada, com um maior peso das empresas no financiamento e execução da DI&D.

Execução da DI&D de acordo com o seu carácter (percentagem)

[QUADRO N.º 3]

	EUA	Japão	RFA	França	RU	Suécia	Portugal
Investigação fundamental ..	12	13	20	21	12	22	19
Investigação aplicada	21	25	80	34	25	17	39
Desenvolvimento	67	62		45	63	61	42

Nota — O ano de referência da informação é 1985, excepto para Portugal, em que os valores apresentados dizem respeito a 1986.

Fonte: Lederman (1987), com excepção dos dados para Portugal, que provém da JNICT (1989).

Os escasos recursos empregues em actividades de C&T em Portugal estão excessivamente concentrados em fases do processo de I&D bastante remotas relativamente ao mercado, pois apenas 42% da despesa diz respeito à fase de «desenvolvimento experimental», contra valores em geral muito superiores nas economias desenvolvidas, da ordem dos 60%. A DI&D em economias medianamente desenvolvidas, com características idênticas à da portuguesa, tende a concentrar-se na investigação fundamental e em actividades bastante afastadas das aplicações, visto este tipo de investigação apresentar custos relativos francamente inferiores. Para além disso — e este fenómeno também ocorre nos países industrializados de pequena dimensão —, as actividades de investigação fundamental tendem a orientar-se de acordo com as agendas de prioridades fixadas pela comunidade científica internacional. Deste modo, o trabalho dos investigadores dos países mais pequenos ou de menor desenvolvimento económico, quando com potencial aplicabilidade económica, tende a ser recuperado pelas empresas sedeadas nos países industrializados de maior dimensão. Um outro aspecto do desajustamento entre o tipo de I&D realizada neste tipo de países e as necessidades internas é o *brain-drain* que se verifica em direcção aos centros de excelência localizados nos países industrializados de maior dimensão. Em contraste com o que normalmente se pensa acerca da «fuga de cérebros», o fluxo de competências não provém em exclusivo dos países em vias de desenvolvimento, tendo muitas vezes a sua origem em países industrializados de pequena dimensão, onde a comunidade científica local não tem dimensão suficiente para atingir as massas críticas mínimas exigidas pela diversidade de áreas de investigação actualmente existente (Andersen e Lundvall, 1988).

O desajustamento, atrás referido, entre a produção científica e as necessidades internas de alguns países também ocorre parcialmente em Portugal, através do financiamento do sector público aos seus laboratórios e aos estabelecimentos de ensino superior. Boa parte do trabalho dos investigadores portugueses orienta-se pelos padrões de excelência fixados internacionalmente, com a ciência nacional a alimentar, por vezes, os circuitos da *big-*

science, alheando-se dos problemas, dos desafios e necessidades tecnológicas que se colocam à estrutura produtiva interna.

A partir da análise dos registos de *patentes*, é também possível verificar que o potencial de inovação se concentra num número reduzido de países de economia altamente desenvolvida.

Em *termos sectoriais*, as inovações radicais são realizadas num escasso número de sectores, em geral bastante débeis ou inexistentes nas economias de menor desenvolvimento. Nestas economias pontuam actividades cuja trajectória tecnológica é caracterizada pela aplicação das inovações radicais provenientes dos sectores de ponta. Esta trajectória, denominada «seguidora» (Pavitt, 1984, e Gonçalves e Caraça, 1986), corresponde a um domínio tecnológico dos produtores pelos seus fornecedores (fabricantes de máquinas-ferramentas, de *hardware* e *software* computacional, etc.). No máximo, os «seguidores» podem realizar pequenas inovações incrementais na forma de conjugação dos *inputs* (organização, articulação de equipamentos de proveniências distintas...) e nos produtos a fornecer aos sectores a jusante.

DI&D por sector industrial

[QUADRO] N.º 4

	EUA	Japão	RFA	França	RU	Suécia	Portugal
Equipamento eléctrico	22	27	24	25	31	24	22
Máquinas, computadores .	14	12	14	8	15	11	
Química	11	16	22	16	21	12	24
Automóvel	9	14	15	11	6		
Aerospacial	22	—	5	17	17	23	—
Instrumentos	7	3	2	1	2	2	1
Outras indústrias	15	28	18	22	8	28	53

Nota — O ano de referência da informação é 1985, excepto para Portugal, em que os valores apresentados dizem respeito a 1986.

Fonte: Lederman (1987), com excepção dos dados para Portugal, que provêm da JNICT (1989).

A despesa em DI&D industrial nas economias mais desenvolvidas concentra-se em sectores de maior complexidade tecnológica, enquanto, em Portugal, os sectores tradicionais têm um peso dominante na DI&D.

Um outro aspecto sobre o qual a literatura sobre inovação se tem debruçado prolongadamente são as *relações entre dimensão empresarial e capacidade de inovação*. A conclusão geral a que se tem chegado é que a dimensão da empresa não constitui uma variável fundamental no respeitante ao potencial inovador (Rothwell e Zegveld, 1982). Esta conclusão parece-nos, no entanto, ser apenas válida no contexto de uma economia altamente desenvolvida, onde existem canais formalizados de transferência de informação (associações profissionais, publicações científicas, conferências), grande flexibilidade no mercado de trabalho (com cientistas a transformarem-se em empresários, com empresários a venderem a sua *venture* bem sucedida para criarem de seguida uma outra com base numa nova ideia tecnológica, etc.) e uma relação dinâmica entre pequenas e grandes empresas (desde o financiamento inicial até à aquisição em fase mais avançada).

Numa economia como a portuguesa, em que a grande empresa é excepção e onde a quase totalidade do emprego não público é absorvido por PME,

o ambiente que envolve as empresas, em termos de ciência e tecnologia, não é suficientemente rico para estimular o potencial inovador ao nível desejável.

Mesmo nos países mais desenvolvidos, parte substancial da DI&D industrial é executada por um número restrito de grandes empresas. Se é certo poder existir um «diferencial de rendabilidade» razoável em termos de DI&D executada/valor potencial das inovações em benefício das pequenas empresas, a DI&D realizada por estas empresas tem um peso relativo pouco importante. Na Holanda, por exemplo, quatro empresas (Philips, Shell, Unilever, Akzo) realizam 78 % da DI&D total e, na Suíça, o grupo das quatro empresas com maior DI&D (Ciba-Geigy, BBC, La Roche, Sandoz) representam 69 % do total (OCDE, 1984). Nos Estados Unidos, a maior parte de I&D é executada por grandes empresas com estrutura e capacidade financeira para terem laboratórios devidamente equipados. Nesse país, cerca de 80% da DI&D empresarial é executada pelas 600 maiores empresas, sendo o remanescente executado pelo restante universo empresarial, onde pontuam cerca de 60 000 empresas com volumes de vendas anuais superiores a 1 milhão de dólares (Bernon e Bodelle, 1987). A General Motors, a Ford Motors e a International Business Machines despendem, cada uma, valores anuais próximos dos 2000 milhões de dólares em I&D (dez vezes mais do que a totalidade da DI&D em Portugal em 1984) (OCDE, 1984).

O conjunto de aspectos e indicadores até este momento referidos —tipologias de despesa em I&D, patentes registadas e estruturas sectorial e empresarial de DI&D— constituem apenas algumas facetas do enorme *gap* tecnológico que separa uma economia medianamente desenvolvida, como a portuguesa, das economias mais desenvolvidas. Outros aspectos poderiam ser abordados, mas pensamos que a informação por eles veiculada apontaria na mesma direcção: as inovações tecnológicas proporcionadoras de vantagens competitivas determinantes concentram-se num conjunto muito restrito de economias mais desenvolvidas e, em geral, de grande dimensão. As excepções a esta regra surgem por via de algumas economias desenvolvidas de pequena dimensão, onde, a par da eventual existência de um grupo restrito de empresas multinacionais de elevado potencial de inovação, o seu «saber tecnológico» se concentra normalmente apenas em alguns segmentos de mercado muito específicos.

No entanto, e independentemente da sua dimensão, os próprios países mais desenvolvidos dispõem de uma capacidade tecnológica limitada. Boa parte das políticas de C&T empreendidas nesses países, tanto ao nível macro como microeconómico, destinam uma quantidade substancial de recursos à pesquisa de informação sobre a evolução e tendências dos «estados da arte» tecnológicos ao nível mundial e ao estabelecimento de mecanismos de absorção das novas tecnologias. A promoção do aumento da produtividade e do crescimento económico faz-se, em grande parte, através da difusão internacional das inovações.

3.2 DIFUSÃO INTERNACIONAL DA INOVAÇÃO, SALTOS TECNOLÓGICOS E CAPACIDADE DE ABSORÇÃO

Tem sido argumentado na literatura sobre difusão internacional da inovação (Soete, 1985, e Perez, 1988) que os períodos de mudança de paradigma tecnológico constituem momentos favoráveis para que se processe um salto

qualitativo em algumas economias de menor desenvolvimento, reduzindo ou anulando o hiato tecnológico que as separa das economias que detêm a liderança no paradigma em declínio. Esta visão, que contraria as perspectivas mais pessimistas acerca da transferência de tecnologia entre as economias mais desenvolvidas e as menos desenvolvidas, aponta para a própria experiência histórica como uma prova da possibilidade de tal «salto tecnológico». A difusão internacional de tecnologia teria sido o principal factor subjacente ao crescimento das economias actualmente industrializadas, bem como às próprias alterações de liderança tecnológica que ocorreram desde a primeira revolução industrial.

O momento actual, de transição para um novo paradigma tecnológico, seria pois muito favorável ao processamento de um salto deste tipo em algumas economias, nomeadamente nos chamados «novos países em industrialização». Para se avaliarem correctamente as possibilidades de concretização de um tal salto tecnológico devem-se considerar quer os aspectos que contrariam a difusão internacional de tecnologia, quer os aspectos que a facilitam e estimulam.

Em primeiro lugar, e do ponto de vista dos aspectos que se opõem à difusão da tecnologia, convém recordar que *tecnologia não é sinónimo de informação livremente disponível* para utilização dos agentes económicos. A difusão de tecnologia, tanto ao nível de um espaço económico integrado como ao nível de espaços mais vastos, não se processa sem barreiras e restrições de todo o tipo.

Do ponto de vista metodológico dos modelos de difusão mais recentes, anteriormente abordados, e relacionando-os com a difusão internacional de tecnologia, há que considerar quer os comportamentos que surgem do lado da oferta (as economias/empresas que pretendem conservar a liderança), quer a capacidade de absorção da procura (as economias/empresas que pretendem reduzir o hiato tecnológico). O facto de o problema da difusão poder ser equacionado em termos de um *mercado internacional de tecnologia* (com as respectivas oferta e procura) poderia sugerir que, dado um certo preço, se procederia à transferência da tecnologia do seu produtor (ou detentor) para aqueles que a pretendem adquirir. Na realidade, as transferências não se processam com tal facilidade, pois o mercado das tecnologias é um mercado de características muito específicas.

Do ponto de vista da *oferta*, um primeiro problema que se coloca à difusão das inovações tem a ver com uma certa *rigidez locacional* das tecnologias. O desenvolvimento de uma dada tecnologia advém de um processo longo e de carácter cumulativo que proporciona um «saber tecnológico» específico, próprio do local onde se desenvolveu. A aprendizagem que se efectua ao longo de tal processo, na produção e na interacção entre produtores e fornecedores ou clientes, é única, não sendo transferível, independentemente do preço proposto pela troca. Assim, e para além da existência de vontade do detentor da tecnologia em a transferir e da capacidade de absorção daqueles que a ela desejam ter acesso, as características do «bem tecnológico» constituem uma restrição à sua livre transferência.

A difusão através da transferência formal esbarra ainda com outras dificuldades, para além das associadas com a rigidez à deslocação da tecnologia. Um conjunto de restrições severas surgem em consequência das vantagens associadas ao *monopólio tecnológico*. Ao nível internacional, e do ponto

de vista do «innovating, technologically leading country [...] the major issue will be [...] how to prevent the competing away of its international technology monopoly position» (Soete, 1985). A tentativa de preservação desta posição monopolística exerce-se fundamentalmente por duas vias: elevada afectação de recursos a actividades de I&D (cf. análise em 3.1) e através da promoção de acções destinadas a limitar a difusão internacional de novas tecnologias, tanto ao nível da empresa como ao nível dos próprios governos nacionais. Acções deste tipo têm surgido em diferentes momentos históricos, como aconteceu, por exemplo, no início do século XIX com a proibição decretada no Reino Unido de exportação de maquinaria, ou, mais recentemente, com as medidas tomadas por alguns governos ocidentais tendentes a limitar as trocas comerciais de produtos de «tecnologia sensível» susceptíveis de utilização militar pela União Soviética.

Quando as empresas detentoras de «tecnologia» se disponibilizam a transferir os seus conhecimentos, os *contratos de transferência* ocorrem, em geral, em áreas que não afectam substancialmente a sua liderança, quer por sobre eles pesarem custos que comprimem as eventuais vantagens comparativas, quer por a tecnologia a transferir se encontrar normalmente numa fase avançada do seu ciclo de vida.

Por outro lado, o *investimento directo estrangeiro*, considerado normalmente como vector de transferência de tecnologia, tem demonstrado ter (e a este respeito existem estudos aprofundados sobre o caso irlandês e sobre o caso espanhol) efeitos pouco significativos em termos de difusão de tecnologia (Walsh, 1988). Estes efeitos limitados devem-se à desarticulação do investimento directo estrangeiro relativamente ao sistema produtivo interno e ao facto de as actividades de I&D a ele associadas serem, em geral, de pouca monta e destinadas a adequar aos mercados locais produtos concebidos no exterior.

Passando para o lado oposto do «mercado de tecnologia», colocando-nos na *óptica da procura*, a incapacidade de absorção da transferência é tanto maior quanto maior o *gap* tecnológico existente. Os inúmeros falhanços conhecidos no processamento de transferências através de contratos do tipo «chave na mão» são testemunho dessas dificuldades.

Até ao momento analisaram-se alguns dos principais aspectos que constituem obstáculos a uma razoável fluidez na difusão internacional de tecnologia. Porém, existem também um conjunto de circunstâncias que favorecem tal fluidez.

A própria *história* demonstra que medidas tendentes a bloquear artificialmente a difusão da tecnologia entre diferentes regiões e países, como as decretadas no Reino Unido, no início do século XIX, para impedir a exportação de maquinaria, são pouco eficazes no longo prazo.

Empresas «imitadoras» surgem noutros países ao longo das várias fases do ciclo tecneconómico. Apesar de, normalmente, as novas tecnologias aparecerem nas economias que detêm a liderança tecnológica, elas encontram aí barreiras à difusão que são inexistentes nas economias onde foram despoitando as empresas imitadoras. Como se viu em 2.2, a propósito dos modelos de difusão, o facto de se ter investido em infra-estruturas, qualificações e modelos organizativos adaptados às características de um dado paradigma tecneconómico torna mais difícil a readaptação estrutural às tecno-

logias emergentes. Tem-se verificado ser mais fácil a difusão das novas tecnologias quando os comportamentos económicos, as práticas sociais e as atitudes culturais não se encontram vinculados com o paradigma em declínio. O dinamismo tecnológico que se desenvolve nas regiões ou países onde aparecem os imitadores conduz ao aumento da capacidade inovadora, que se consubstancia em grande número de inovações incrementais, contribuindo assim para deslocar ainda mais a vantagem competitiva para a economia onde a tecnologia se está a difundir com maior rapidez.

Por outro lado, e apesar de todas as limitações apontadas aos mecanismos de *transferência formal de tecnologia*, é óbvio que estes têm historicamente constituído um meio de enorme importância na difusão internacional da tecnologia. Mesmo entre os principais países desenvolvidos, a transferência formal de tecnologia constitui, de acordo com estudos realizados a este propósito, a principal fonte de mutação estrutural da economia. O potencial endógeno de inovação é limitado e para tal é necessário recorrer, como veremos de seguida, às fontes formais e informais que favorecem a difusão da tecnologia.

Apesar de todas as «imperfeições monopolísticas» que são diagnosticadas do lado da oferta, tem sido apontado (Soete, 1985) que actualmente a *concorrência* entre as empresas que dominam o estado da arte tecnológico, em particular na microelectrónica, as leva a cederem tecnologia a preços aceitáveis, para ser utilizada quer noutros países desenvolvidos, quer nos novos países em industrialização.

Um outro aspecto que contribui para uma aceleração na difusão internacional de tecnologia são as próprias deficiências dos *sistemas jurídicos que regulam as patentes*. Tem sido apontado que estes sistemas proporcionam pouca defesa às empresas inovadoras.

Torna-se assim possível concluir que, tal como existe uma grande diversidade de aspectos que se opõem à difusão internacional de tecnologia, também existe um conjunto de factores e de aspectos críticos que favorecem tal difusão. Esses aspectos estão associados com a capacidade de absorção, de imitação, de assimilação e de inovação por parte das economias receptivas.

Vamos, de seguida, *enunciar alguns desses factores e aspectos*, que, por analogia, podem ser identificados com o *limiar crítico* do modelo de difusão que recorre à chamada análise *probit* (cf. exposição feita anteriormente, em 2.3). A concretização simultânea de tais factores e aspectos — em conjunto com uma capacidade empresarial de avaliar técnica e economicamente o potencial das novas tecnologias e, posteriormente, de gerir a sua utilização — é, em nosso entender, crucial para que economias medianamente desenvolvidas, como a portuguesa, possam dar um salto tecnológico que as aproxime das economias mais desenvolvidas.

O *primeiro factor* a considerar diz respeito aos *canais de absorção e de comunicação* das informações de carácter científico e tecnológico. Nenhuma economia se pode abstrair da informação gerada no exterior, visto o seu potencial endógeno de inovação ser, como já se referiu, limitado em relação ao potencial mundial. Quanto menor a dimensão da economia e quanto menor o seu nível de desenvolvimento tecnológico, maior deve ser a atenção dada aos mecanismos que lhe permitem absorver a informação científica e técnica proveniente do exterior. Apesar de a tecnologia não constituir um bem público, como se tem referido, existe um conjunto de conhecimen-

tos com potencial produtivo e elevado valor económico que circulam livremente. Em conjunto com a importação de tecnologia, através de contratos formais de transferência, a absorção deste tipo de informação constitui um segundo mecanismo fundamental na difusão internacional das inovações. Inúmeros são os canais de circulação dessa informação: organizações de cientistas e de profissionais; conferências; publicações sobre C&T; contactos interinstitucionais (empresas, universidades). Ao nível interno são considerados particularmente importantes os contactos entre produtores e utilizadores. Nas pequenas economias da Escandinávia, por exemplo, houve um desenvolvimento de sectores tecnologicamente avançados a jusante dos respectivos complexos agro-industrial (Dinamarca) e florestal-industrial (Suécia, Finlândia), a partir da ligação entre produtores (de equipamentos, instrumentos,...) e utilizadores (no sector primário) (Andersen e Lundvall, 1988).

Um *segundo factor* determinante da taxa de difusão das inovações é o *nível e a diversidade de qualificações* disponíveis no mercado de trabalho. O processamento da informação depende da qualidade dos processadores. Por outro lado, a repartição de qualificações (empresas, universidades, sector público) não é um aspecto negligenciável.

Em *terceiro lugar*, deve-se considerar o *ambiente jurídico* em que as empresas estão inseridas. O regime de patentes, variável de país para país, constitui simultaneamente um incentivo ao inventor (protegendo o seu monopólio durante um certo período) e uma barreira à difusão (limitando o acesso à nova tecnologia). A protecção ou o combate legal à «cópia» de inovações (de concorrentes internos ou externos) condiciona necessariamente o ritmo de difusão.

Um *quarto aspecto* está relacionado com a disponibilidade de *fundos para financiar inovações*, em geral associadas a níveis de risco superiores aos normalmente aceites nos mercados de capitais (Bullock, 1983). Não havendo fornecedores de capital de risco (sejam eles o sector público, as empresas, as instituições financeiras ou os particulares), não há possibilidade de a inovação se gerar e difundir.

A *interacção entre os diferentes agentes do sistema de inovação* é um *quinto aspecto* a considerar. Este aspecto está relacionado com os canais de informação disponíveis. Se não existirem redes de inovação orientadas de acordo com o desenvolvimento tecnológico interno, nas quais participem as empresas, as instituições públicas e privadas de I&D, os estabelecimentos de ensino superior e os imprescindíveis fornecedores de meios financeiros, o potencial de absorção e de inovação da economia encontra-se francamente limitado (Mira Godinho, 1986). O estabelecimento destas redes proporciona sinergias doutro modo inexistentes, permitindo (entre outros aspectos) que se estabeleçam as «massas críticas» mínimas necessárias em alguns sectores.

Do ponto de vista do ambiente macroeconómico, e considerando uma economia de desenvolvimento intermédio como a economia portuguesa, os factores e aspectos referidos assumem grande importância no aumento da permeabilidade à difusão internacional da inovação, podendo contribuir para que se processe o salto tecnológico que se considera possível num período de mudança de paradigma tecneconómico. Conforme se verá no ponto seguinte, o facto de nos encontrarmos numa fase de formação de novas «famílias» e «sistemas tecnológicos», com grande número de tecnologias numa fase inicial do seu ciclo de vida, oferece perspectivas muito favoráveis à concretização de tal salto.

3.3 CICLO DE VIDA E BARREIRAS À ENTRADA

As teorias neotecnológicas do comércio internacional proporcionaram uma visão dinâmica da alteração dos padrões de especialização de cada economia. De acordo com Vernon (1966), qualquer produto é caracterizado por um processo de evolução (*ciclo de vida*), ao longo da qual percorre várias etapas, desde as fases iniciais de crescimento do respectivo mercado, na sequência da inovação tecnológica que proporciona a sua aparição, até às fases finais da maturidade e standardização, em que a sua difusão atinge o limite máximo.

Nas fases iniciais, onde a inovação assume grande importância, os produtores necessitam de recorrer a trabalho qualificado, sendo os custos em capital fixo relativamente baixos; nas fases finais, em que se verifica uma banalização de tecnologia e em que o campo para inovação já não é relevante, os produtores combinam investimentos elevados em capital fixo com trabalho pouco qualificado. O ciclo de vida do produto proporciona, deste modo, uma visão espacial da dinâmica geográfica das diferentes indústrias: nas fases iniciais, associadas à inovação, os países desenvolvidos, ricos em trabalho altamente qualificado, oferecem vantagens locais; nas fases finais, as indústrias tenderiam a deslocar-se para os países em desenvolvimento, onde o trabalho pouco qualificado e de baixo salário é abundante.

Em artigo recente, Perez e Soete (1988), inspirando-se nas análises do ciclo de vida, relacionam o processo de eliminação do hiato tecnológico que separa as economias mais e menos desenvolvidas com as barreiras que impedem a entrada de novos concorrentes («imitadores») em diferentes momentos do processo evolutivo de uma dada tecnologia (produto ou processo). Embora reconhecendo o interesse da abordagem neotecnológica (e em particular o contributo de Vernon), estes autores não a aceitam totalmente: «[...] in so far as mature products are precisely those that have exhausted their technological dynamism, this choice implies a clear risk of getting 'fixed' in a low wage, low growth, development pattern. A real catching-up process can only be achieved through acquiring the capacity for participating in the generation and improvement of technologies as opposed to the simple 'use' of them» (p. 459).

Perez e Soete analisam quais as principais *barreiras à entrada* com que se defrontam os «imitadores» que pretendem passar a dominar uma dada tecnologia. Para proceder a tal análise, os autores do artigo referido consideram necessário fazer-se uma distinção entre a difusão de um bem de consumo e a de um bem de equipamento. Se, relativamente ao primeiro bem, o principal factor que influencia a sua difusão é a capacidade de o potencial consumidor pagar o preço pelo qual ele é posto no mercado, relativamente ao segundo, o preço não constitui, como já se viu, o único factor que pode contrariar a sua difusão. Por um lado, deve ser considerada a vontade da empresa inovadora em vender ou não a sua tecnologia, pois esta pode-lhe proporcionar uma renda de que não está interessada em prescindir. Por outro lado, e na óptica do agente da procura, deve-se também considerar se existem os conhecimentos e a capacidade técnica suficientes para operar a nova tecnologia.

Desta forma, no caso de uma dada tecnologia/bem de equipamento existem um conjunto de factores inter-relacionados que fazem variar os «custos

de entrada» de acordo com as características do imitador e do ambiente em que este se insere.

São assim identificados, numa perspectiva estática, quatro tipos de custos (ou «barreiras») a serem suportados pelo «candidato à entrada»: custos de *investimento fixo* (o «preço» atrás referido); os custos relacionados com a *aquisição dos conhecimentos científicos e técnicos*, que lhe vão permitir ultrapassar o *gap* que o distancia da empresa inovadora; os custos associados à *experiência necessária para dominar a nova tecnologia*, em particular em termos de capacidade de gestão, de organização e de *marketing* na inovação; e um quarto custo, derivado das eventuais *desvantagens locacionais* presentes no ambiente onde se insere o imitador.

Encarando estes custos numa *perspectiva estática*, a tecnologia não evolui, sendo apresentada na sua forma final e única. Para além dos custos de desenvolvimento ou de compra da tecnologia, as barreiras à entrada são influenciadas pelas características específicas da empresa imitadora e das externalidades do ambiente onde se encontra localizada.

Numa *perspectiva dinâmica* procura-se avaliar a variação das várias componentes de custos ao longo do tempo, isto é, como é que as diferentes barreiras à entrada variam ao longo do ciclo de vida da tecnologia, desde a sua introdução até à maturidade, quando esta atinge uma certa estabilidade na sequência das inovações incrementais que permitiram o seu desenvolvimento. Nesta perspectiva, reconhece-se que os custos de compra e/ou desenvolvimento variam de acordo com a idade da tecnologia e o seu grau de difusão.

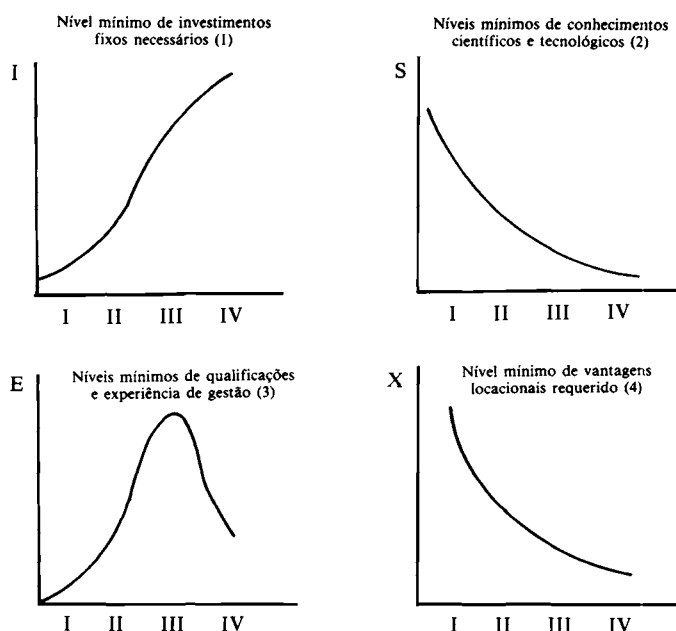


Fig. 3 — Variação das componentes do custo de entrada ao longo das várias fases do ciclo de vida da tecnologia

De acordo com Perez e Soete (1988), os custos em investimento fixo (1) e a «experiência» necessária (3) (para pôr a funcionar a tecnologia, desde as fases a montante da produção até à colocação bem sucedida do produto no mercado) são baixos nas fases iniciais do ciclo de vida da tecnologia. Em contrapartida, os custos associados à aquisição dos conhecimentos científicos e técnicos para dominar a tecnologia (2), quer esta tenha sido obtida por compra, quer desenvolvida internamente à empresa, e os custos inerentes à tentativa de minorar as desvantagens locacionais (4), particularmente elevadas em economias ou regiões de menor desenvolvimento, constituem barreiras bastante altas para permitirem a entrada no início do ciclo de vida da tecnologia.

De qualquer forma, nas fases intermédias (II e III) do ciclo de vida, os custos totais de entrada seriam superiores aos do período inicial (I). Apenas na última fase (IV), que corresponde, de algum modo, à banalização da tecnologia do produto em Vernon, existe novamente uma tendência para algumas das barreiras serem baixas (2 e 4) ou tenderem a diminuir (3). Nesta fase, a tecnologia poderia deslocar-se para as economias em industrialização, onde um investimento elevado (I, IV) se combinaria com o trabalho pouco qualificado na utilização da tecnologia moderna procedente das economias mais desenvolvidas.

Assim, a entrada seria menos problemática nas fases inicial e final do ciclo de vida. Na fase final (IV), algum investimento externo poderia contribuir para superar os requisitos em capital (1) e a carência de uma gestão qualificada (3) capaz de orientar uma organização do processo produtivo algo complexa. Na fase inicial (I), os problemas que se colocam são essencialmente o *gap* científico e tecnológico (2) (que separa as empresas e/ou as economias) e a ausência de economias externas (4) que proporcionem um arranque menos difícil à empresa imitadora.

Se se admitir, na óptica de uma economia de menor desenvolvimento, que o governo e as autoridades locais contribuem de algum modo para anular as desvantagens locacionais, o grande problema centra-se então nos aspectos de carácter estritamente científico e tecnológico. De acordo com os autores do artigo que temos vindo a referir, «much of the knowledge required to enter a technology system in its early phase is in fact public knowledge available at universities. Many of the skills required must be invented in practice. It is only as the system evolves that it generates the new knowledge and skills which become increasingly of a private nature and are not willingly sold to the competitors anywhere. With time, [...], as the system approaches maturity, [...] both the knowledge and the skills tend to become public or are willingly sold at a price. This implies that, given the availability of well-qualified university personnel, a window of opportunity opens for relatively autonomous entry into new products in a new technology system in its early phases» (p. 476).

Esta visão é assim convergente com a apresentada em 3.2, quando se discutiu a possibilidade de algumas economias darem um «salto tecnológico» em período de mutação do regime tecnológico dominante. É óbvio que as condições de entrada, e em particular os custos associados com a diminuição do hiato tecnológico, são muito restritivas, sendo provavelmente muito pequeno o número de economias capazes de empreender o esforço necessário para que se processe o referido «salto tecnológico».

Pensamos que algumas das condições necessárias para se efectuar o salto tecnológico se encontram reunidas na economia portuguesa, aproximando-se do «nível limiar» referido no modelo *probit* de difusão da inovação. A competência científica reunida nas instituições de investigação, e em particular em algumas universidades, permite crer que em algumas áreas específicas existem conhecimentos ao nível do estado da arte em instituições idênticas às das economias mais desenvolvidas. Por outro lado, a própria integração europeia e algumas das suas consequências, com a criação de um mercado potencial de mais de 300 milhões de consumidores, constitui um factor que contribui para minorar as «desvantagens locacionais» que têm caracterizado o espaço económico português. Contudo, e como se viu anteriormente, existem também bastantes factores que contrariam a possibilidade de tal salto.

A análise em termos de «barreiras à entrada» e de «ciclo de vida» oferece uma base de reflexão muito interessante a ser aprofundada. A compreensão do funcionamento dos mercados/sectores, o estudo da permeabilidade que eles oferecem à penetração e difusão de novas tecnologias e a análise da estrutura desses mercados e do poder das firmas dominantes neles existentes são alguns dos aspectos a serem investigados num quadro mais amplo. Os contributos dos estudos de «organização industrial», em particular da fase mais recente, em que se têm analisado os problemas levantados pelo poder de mercado à luz das políticas de desregulamentação, em conjunto com os contributos de análises mais «institucionalistas», onde as preocupações se centram no papel estruturante das empresas transnacionais na economia global, deverão ser revistos em conjunto, procurando compreender as formas de estruturação e de condicionamento das trajectórias tecnológicas e das inovações que alimentam essas trajectórias.

Algumas das perspectivas aqui enunciadas serão retomadas pelos autores no prosseguimento do projecto de investigação no quadro do qual foi elaborado o presente artigo. Em particular, ir-se-á analisar o sistema industrial português em termos do seu potencial de geração, absorção e difusão da inovação tecnológica, tomando em consideração as oportunidades e os constrangimentos surgidos com o processo de integração europeia e a crescente internacionalização da economia europeia.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALLEN, P. M. (1988), «Evolution, innovation and economics», in Dosi e outros (eds.)
ANDERSEN, E. S., e LUNDVALL, B.-A. (1988), «Small National Systems of Innovation Facing Technological Revolutions: An Analytical Framework», in Freeman. C., e Lundvall, B.-A. (eds.) (1988).
ARROW, K. (1962), «The Economic Implications of Learning by Doing», in *Review of Economic Studies*, Junho.
BULLOCK, M. (1983), *Academic Enterprise; Industrial Innovation and the Development of High Technology Financing in the United States*, Londres, Brand Brother and Co.
BERNON, M., e BODELLE, J. (1987), *La Science en Amérique*, Paris, Ed. Robert Laffont.
CARAÇA, J. M. G. (1989), «Ciência, cultura e desenvolvimento», in *Vértice*, n.º 10, Janeiro de 1989.
CLARK, N., e JUMA, C. (1988), «Evolutionary theories in economic thought», in Dosi e outros (eds.).
COOMBS, R., SAVIOTTI, P., e WALSH, V. (1987), *Economics and Technological Change*, Totowa, N. Jersey, Rowman & Littlefield.

- DAVID, P. (1975), *Technical Choice, Innovation and Economic Growth*, Londres, Cambridge University Press.
- DENISON, E. (1962), «United States Economic Growth», in *Journal of Business*, vol. 35, pp. 109-121.
- DOSI, G. (1984), «Technological Paradigms and Technological Trajectories», in Freeman, C. (ed).
- DOSI, G., FREEMAN, C., NELSON, R., SILVERBERG, G., e SOETE, L. (eds.) (1988), *Technical Change and Economic Theory*, Londres, Pinter.
- FREEMAN, C. (1982), *The Economics of Industrial Innovation*, Londres, Frances Pinter.
- FREEMAN, C. (ed.) (1984), *Long Waves in the World Economy*, Londres, Pinter.
- FREEMAN, C. (1987), *Technology Policy and Economic Performance*, Londres, Pinter.
- FREEMAN, C., e LUNDVALL, B.-A. (eds.) (1988), *Small Countries Facing the Technological Revolution*, Londres, Pinter.
- FREEMAN, C., e PEREZ, C. (1988), «Structural crises of adjustment: business cycles and investment behaviour», in Dosi e outros (eds.).
- GONÇALVES, F., e CARAÇA, J.M.G. (1986), «A mutação tecnológica e o potencial inovador da indústria transformadora», in *Análise Social*, vol. XXII, n.º 94, pp. 929-939.
- HENIN, P. Y. (1979), *Macrodynamique, Fluctuations et Croissance*, Paris, Economica.
- HIRSCHMAN, A. O. (1958), *The Strategy of Economic Development*, Cambridge, Mass.
- JNICT (1986), *Serviço de Inventário e Análise de Recursos, Inquérito ao Potencial Científico e Tecnológico Nacional (Atualização a 84.12.31)*, Lisboa.
- JNICT (1989), *Serviço de Estatísticas e Fomento de Recursos, Inquérito ao Potencial Científico e Tecnológico Nacional (Atualização a 86.12.31)*, Lisboa.
- JUMA, C. (1987), *Non-equilibrium economics: alternative paradigms and technology policy*, comunicação ao World Academy of Art and Science Symposium, 11 de Maio, Lisboa.
- KUZNETS, S. (1930), *Secular Movements in Production and Prices*, Boston, Houghton Mifflin.
- LAFAY, G. (1982), «Stratégies de Specialization ou Division Internationale du Travail», in J. Reiffers (ed.). *Economie et Finance Internationales*, Paris, Dunod.
- LEDERMAN, L. (1987), «Science and Technology Policies and Priorities: A Comparison Analysis», in *Science*, vol. 237, Setembro, pp. 1125-1133.
- MENSCH, G. (1979), *Stalemate in Technology—Innovations Overcome the Depression*, Cambridge, Mass., Ballinger.
- MIRA GODINHO, M. (1986), *University-Industry Relations in Portugal*, dissertação de mestrado apresentada no Imperial College, Universidade de Londres.
- METCALFE, J. S. (1981), «Impulse and diffusion in the study of technological change», in *Futures*, vol. 13.
- METCALFE, J. S. (1988), «The diffusion of innovation», in Dosi e outros (eds.).
- NELSON, R., e WINTER, S. (1977), «In search of useful theory of innovation», in *Research Policy*, vol. 6, pp. 36-76.
- OCDE (1984), *Indicateurs de la Science et de la Technologie*, Paris.
- PAVITT, K. (1984), «Sectoral patterns of technical change: towards a taxonomy and a theory», in *Research Policy*, vol. 13, pp. 343-373.
- PEREZ, C. (1988), «New technologies and development», in Freeman, C., e Lundvall, B.-A. (eds.).
- PEREZ, C., e SOETE, L. (1988), «Catching-up in technology», in Dosi e outros (eds.).
- PERROUX, F. (1955), «Note sur la notion de pôle de croissance», in *Economie Appliquée*.
- POSNER, M. (1961), «International Trade and Technological change», in *Oxford Economic Papers*, vol. 13, pp. 323-341.
- RAMOS DOS SANTOS, A. (1983), *Recursos Humanos e Tecnologia nos Países em Desenvolvimento*, dissertação de doutoramento apresentada no Instituto Superior de Economia, da Universidade Técnica de Lisboa.
- ROSÁRIO, J. L. (1987), *Les Transformations de la Filière Textile Internationale*, dissertação de doutoramento apresentada na Universidade de Paris X-Nanterre.
- ROSENBERG, N. (1976), *Perspectives on Technology*, Londres, Cambridge University Press.
- ROSENBERG, N. (1982), *Inside the Black Box: Technology and Economics*, Londres, Cambridge University Press.
- ROTHWELL, R., e ZEGVELD, W. (1982), *Innovation and the Small and Medium Sized Firm*, Londres, Pinter.
- SAMUELSON, P., e NORDHAUS, W. (1988), *Economia*, 12.ª ed., Lisboa, McGraw-Hill.
- SCHMOOKLER, J. (1966), *Invention and Economic Growth*, Cambridge, Mass., Harvard University Press.
- SCHUMPETER, J. A. (1912), *Theorie der Wirtschaftlichen Entwicklung*, Leipzig, Dunker and Humblot (tradução inglesa da Harvard University Press, 1934).

- SCHUMPETER, J. A. (1939), *Business Cycles: a Theoretical, Historical and Statistical Analysis of the Capitalist Process*, 2 vols., Nova Iorque, McGraw-Hill.
- SCHUMPETER, J. A. (1943), *Capitalism, Socialism and Democracy*, Nova Iorque, Harper.
- SOETE, L. (1985), «International diffusion of technology industrial development and technological leapfrogging», in *World Development*, vol. 13, n.º 3, pp. 409-422.
- SOLOW, R. (1957), «Technical change and the aggregate production function», in *Review of Economics and Statistics*, vol. 39, pp. 312-320.
- STONEMAN, P. (1983), *The Economic Analysis of Technological Change*, Oxford, Oxford University Press.
- VERNON, R. (1966), «International investment and international trade in the product cycle», in *Quarterly Journal of Economics*, vol. 80, n.º 2.
- VON TUNZELMANN, N. (1978), *Steam Power and British Industrialization to 1860*, Oxford, Clarendon Press.
- WALSH, V. (1988), «Technology and the Competitiveness of Small Countries: A Review», in Freeman, C., e Lundvall, B.-A. (eds.).