



Produção de conhecimento e busca de aplicações: a experiência da universidade com a indústria química

Knowledge production and the quest for applicability: the experience of universities and the chemical industry

Georg M.L. Weinberg

Engenheiro químico da Think Tank Engenharia Química
Estrada da Vargem Grande, 3003
25725-621 – Petrópolis – RJ – Brasil
georgweinberg@gmail.com

Marcelino José Jorge

Economista da Seção de Monitoramento de Custos
Instituto de Pesquisa Clínica Evandro Chagas/Fundação Oswaldo Cruz
Av. Brasil, 4365
21040-900 – Rio de Janeiro – RJ – Brasil
marcelino.jorge@ipecc.fiocruz.br

Marina Figueiras Jorge

Assistente de Pesquisa da Diretoria de Estudos Macroeconômicos
Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada
Av. Presidente Antônio Carlos, 51/sl. 1723
20020-010 – Rio de Janeiro – RJ – Brasil
marina_filgueiras@yahoo.com.br

Recebido para publicação em março de 2008.

Aprovado para publicação em julho de 2009.

WEINBERG, Georg M.L.; JORGE, Marcelino José; JORGE, Marina Figueiras. Produção de conhecimento e busca de aplicações: a experiência da universidade com a indústria química. *História, Ciências, Saúde – Manguinhos*, Rio de Janeiro, v.16, n.3, jul.-set. 2009, p.747-761.

Resumo

Aborda a natureza e as implicações da interação universidade-indústria. A ideia de que a inovação nem sempre é resultado de processo originado na pesquisa básica trouxe novas possibilidades conceituais sobre tal interação. Segundo Stokes, discriminado o espaço conhecimento-utilidade em quadrantes, aquele que concentra alto conteúdo científico e alto grau de utilidade seria o 'quadrante de Pasteur'. As evidências sobre a química alemã e a engenharia química norte-americana mostram o papel fundamental dos professores universitários no desenvolvimento das empresas químicas. O estabelecimento de centros de P&D nas empresas no século XX, combinado à tendência de redução do conteúdo básico dessas atividades em favor do conteúdo aplicado, não invalida essas evidências.

Palavras-chave: relação universidade-indústria; indústria química; quadrante de Pasteur; pesquisa orientada por missão; inovação.

Abstract

The article addresses the nature and implications of interactions between universities and industry. The idea that innovation does not necessarily spring from a process grounded in basic research has endowed this interaction with new conceptual possibilities. Dividing the 'understanding-use' space into quadrants, Stokes applies the term Pasteur's quadrant to the one displaying a high concern both with scientific understanding and with utility. The experience of German chemistry and US chemical engineering demonstrate how university professors have played a vital role in the development of chemical companies. The twentieth-century creation of corporate R&D centers, combined with the trend for reducing basic research in favor of applied research, does not invalidate these results.

Keywords: university-industry relations; chemical industry; Pasteur's quadrant; mission-oriented research; innovation.

A história do uso da natureza pelo ser humano revela inúmeros exemplos da bem-sucedida interação entre universidade e indústria, na qual a primeira desempenha um importante papel na obtenção de avanços tecnológicos significativos. Em uma abordagem mais específica, os historiadores relatam, ainda, múltiplos exemplos de avanços tecnológicos que resultaram dos esforços da pesquisa básica ‘orientada por missão’ e não necessariamente da pesquisa básica desinteressada ‘pura’.

Até o pós-Segunda Guerra, acreditou-se amplamente que os novos processos e produtos fossem resultado de uma progressão linear de atividades, começando com a pesquisa básica, seguindo com a pesquisa aplicada e terminando com o desenvolvimento tecnológico. Muitos autores se dedicaram a esse tema e ficou cada vez mais claro, graças ao surgimento de instrumentos analíticos mais precisos, que o paradigma linear não era representativo de todos os desenvolvimentos tecnológicos e que sua aceitação poderia ter um efeito indesejado quanto à eficiência da aplicação de recursos na inovação tecnológica. Tornou-se claro, primeiro, que o processo é não-linear, uma vez que inclui realimentação da pesquisa básica a partir do campo tecnológico (ou mesmo a partir do mercado), e, segundo, que a nova tecnologia pode apresentar ou sugerir novos questionamentos, a serem solucionados por meio de investigação científica. Também foi postulado que a pesquisa básica não é necessariamente uma busca desinteressada por conhecimento; ela pode ser orientada por objetivos práticos explícitos, sem perder a sua natureza científica.

Para examinar esse tema, são apresentados aqui os paradigmas linear e moderno sobre a origem da inovação, e casos da ciência química e da indústria química são usados como referências para analisá-los nas seções a seguir. Depois, algumas considerações históricas são apresentadas para ilustrar a relação entre ciência e inovação e tornar mais simples a avaliação dos objetivos de cada uma. Finalmente, apresentam-se as conclusões e uma síntese da relevância dos elos estabelecidos entre a pesquisa universitária e a indústria química no Brasil.

O texto incorpora modificações e substanciais adendos à versão original, intitulada “Knowledge and utility: historical notes on the relationship between university and chemical industry” (Weinberg, 2005), sendo resultado de longo e esclarecedor exercício interdisciplinar dos autores, testemunho vivo das potencialidades da interação entre ciência e tecnologia.

Modelo linear

De acordo com Vannevar Bush (1945), o modelo linear concebe o processo de desenvolvimento de novas formas de utilização prática do conhecimento como necessariamente tendo origem na investigação de natureza básica. Nesse sentido, Bush criou o termo ‘pesquisa básica’ e o descreveu da seguinte maneira: “A pesquisa básica é realizada sem uma prévia definição da sua finalidade prática. Ela resulta em conhecimento geral e em compreensão da natureza e das suas leis”¹ (p.15). No mesmo texto, discorre o autor sobre a relação entre pesquisa básica e desenvolvimento industrial:

É possível que o cientista que realiza a pesquisa básica não esteja nem um pouco interessado em aplicações práticas do seu trabalho; no entanto, o progresso posterior do desenvolvimento industrial estaria eventualmente estagnado se a pesquisa científica básica fosse extensivamente

negligenciada ... Hoje em dia, é mais verdade do que nunca que a pesquisa básica é que marca o passo do progresso tecnológico (p.16).

A lógica subjacente a essas noções pode ser representada de forma dinâmica como a seqüência linear de atividades, ilustrada no Quadro 1.

Quadro 1 – Modelo linear de inovação

Pesquisa básica → Pesquisa aplicada → Desenvolvimento → Produto ou processo

Como diretor do Office of Scientific Research and Development², Vannevar Bush preparou o documento intitulado “Science: the endless frontier em 1945”, com enorme repercussão. Serviu, entre outras coisas, para formalizar o paradigma linear, que predominaria por longo tempo. Algumas críticas feitas a esse modelo sobre o conjunto de fatores e relações explicativas da inovação foram mais recentemente sintetizadas por Rosenberg (1994), que considerou amplamente reconhecida a superação do modelo linear de inovação, e também por Kline (1985), que afirmou ser o modelo linear simplificado demais e inadequado.

Modelo moderno

O modelo linear é criticado por inúmeras razões. Uma delas é a inaceitabilidade da seqüência linear no que tange à inovação tecnológica, simplesmente pelo fato de o conceito de inovação estar ligado ao de sucesso comercial. Este, por sua vez, implica quase necessariamente em um retorno de informações por parte do mercado consumidor do produto ou processo. Outras formas de reciclagem são possíveis no processo de desenvolver uma inovação, o que torna o modelo linear mais uma exceção fortuita do que uma regra geral.

É ainda possível, e frequentemente acontece, que a inovação se converta, por si mesma, em objeto de investigação científica. Nesse caso, a criação humana torna-se parte do escopo da ciência. Um exemplo é a máquina a vapor, cujo estudo científico gerou a termodinâmica. É possível também que a necessidade de aplicações práticas determine a demanda por conhecimento de natureza científica básica. A mais interessante, nesse caso, talvez tenha sido a criação de uma disciplina inteiramente nova, a engenharia química, no intuito de atender à necessidade de uma base teórica para projetar e construir plantas industriais de grande porte com processos contínuos.

Por fim, chegamos ao argumento do ‘quadrante de Pasteur’, assim denominado por Donald Stokes (1997) em livro de mesmo título. Nessa obra, Stokes concluiu que a linearidade do modelo é resultado da separação entre a utilidade e o conhecimento como motivações da investigação científica. Se esses atributos são analisados juntos, como variáveis mutuamente independentes, é possível imaginar um plano utilidade-conhecimento, composto por quatro quadrantes, de acordo com o Quadro 2.

Quadro 2 – Modelo de quadrantes para a pesquisa científica

| Quadrante | Faz considerações quanto ao uso? | | Busca compreensão de fundamentos? | | Categoria de pesquisa |
|-----------|----------------------------------|-----|-----------------------------------|-----|----------------------------------|
| | sim | não | sim | não | |
| Bohr | | x | x | | pesquisa básica pura |
| Pasteur | x | | x | | pesquisa básica inspirada no uso |
| Edison | x | | | x | pesquisa aplicada pura |
| – | | x | | x | – |

Fonte: Stokes (1997); formato modificado.

Stokes escolheu Pasteur para nominar o quadrante porque o cientista e pesquisador dedicou-se predominantemente a questões relativas ao conhecimento aplicado. Apesar de, no início da sua carreira, Louis Pasteur ter concentrado seus esforços na investigação do que veio a ser chamado isomeria ótica – um problema puramente de compreensão de fundamentos –, logo voltou-se para o estudo dos microorganismos, que ele suspeitava serem a causa de uma série de fenômenos. Ao mesmo tempo em que ele descobriu a existência de microorganismos anaeróbicos, provou o absurdo da teoria da geração espontânea da vida e desenvolveu uma teoria da doença, com base naqueles microorganismos escolhidos. Também descobriu como prevenir a deterioração do vinagre, da cerveja, do vinho e do leite e dedicou-se, além disso, a muitas outras questões eminentemente práticas. Assim, segundo Stokes (1997), quanto mais o trabalho de Pasteur se voltava para os fundamentos, mais aplicados se tornavam os problemas e as linhas de investigação que ele perseguiu. Stokes cita, ainda, muitos outros pesquisadores que operaram no quadrante de Pasteur, como por exemplo Lord Kelvin e Irving Langmuir.

O modelo baseado em quadrantes implica um conceito dinâmico sobre as modalidades da pesquisa. Tomado esse conjunto alternativo de fatores e relações explicativas da inovação como ponto de partida, a compreensão sobre os fenômenos pode levar à pesquisa básica pura ou à pesquisa básica inspirada no uso. No primeiro caso, o resultado é melhorar a compreensão dos fenômenos; no segundo, pode-se tanto gerar uma melhor compreensão dos fenômenos quanto o desenvolvimento de uma tecnologia melhor (Stokes, 1997, p.73).

Quando se parte não da compreensão existente, mas sim da tecnologia existente, pode-se seguir o caminho da pesquisa básica orientada para uso ou o da pesquisa e desenvolvimento unicamente aplicada. No primeiro caso, o resultado pode ser tanto a melhora da compreensão como a melhora da tecnologia, ao passo que, no segundo, o único resultado possível é a melhora da tecnologia.

Uma das virtudes desse modelo, como se vê, é admitir a possibilidade de produção da pesquisa básica tendo como ponto de partida uma tecnologia existente, para cujo aperfeiçoamento a pesquisa básica é necessária – neste caso, claramente caracterizada como pesquisa orientada para o uso, mas não menos básica.

Essa concepção a partir do modelo dos quadrantes, em suma, leva a uma visão mais abrangente das relações entre a pesquisa básica e a inovação tecnológica, permitindo um tratamento mais apropriado das políticas governamentais relacionadas ao suporte à ciência e tecnologia.

Relações de precedência na química

As relações de precedência – ou a direção de causalidade – entre aquisição de novo conhecimento científico e desenvolvimento de nova tecnologia são muito complexas quando o que se busca é o estabelecimento de regras gerais. Na realidade, existem casos na história que mostram a relevância do modelo linear, mas a história também é rica de casos em que existe realimentação entre tecnologia e ciência. Esse fato é particularmente verdadeiro no caso da química, uma ciência ainda com forte componente experimental. Ou, dito talvez de melhor forma, será particularmente verdade enquanto a química permanecer sendo uma ciência experimental por excelência.³ Podem ser mencionados pelo menos dois aspectos que ilustram o argumento sobre as relações de precedência: a crescente importância dos instrumentos de medida e a necessidade da ciência como suporte *ex-post* à tecnologia.

A reação química, de fato, deve ser observada e medida no exato momento em que acontece, através do uso de instrumentos mais refinados do que os sentidos humanos. Dessa maneira, são necessários instrumentos que funcionem como extensão dos sentidos. No início o instrumento-chave era a balança. Outros instrumentos se seguiram e hoje nada pode ser feito sem eles. Novos meios de observação e medida, tais como o infravermelho, o ultravioleta e a ressonância magnética nuclear tornam possíveis muitos avanços teóricos e ilustram bem a ideia exposta.

Com o desenvolvimento de novas tecnologias, por outro lado, é cada vez mais frequente a necessidade de novos dados e teorias científicas para dar sustentação à continuidade do desenvolvimento tecnológico. Tal afirmação é verdadeira tanto no caso de processos químicos novos, como no caso de novos produtos, sendo o refino do petróleo um excelente exemplo. Outros exemplos podem ser vistos em Rosenberg (1982).

Ciência e tecnologia química na Alemanha e nos Estados Unidos

Com base nessa fundamentação teórica, o exame de evidências sobre desenvolvimento de novo conhecimento científico e novas tecnologias permite verificar, entre os fatos históricos, a pertinência das formas de análise sobre as fronteiras entre ciência e tecnologia até aqui apresentadas. No que segue a propósito, a ênfase é dada nas experiências da Alemanha e dos Estados Unidos, onde o avanço da química e da indústria química foi muito mais rápido do que nos demais países.

A universidade alemã

No passado, as universidades europeias, de maneira geral, não enfatizavam o ensino destinado à resolução de questões práticas. Na Inglaterra, por exemplo, o ensino das ciências naturais praticamente não existia no início do século XIX. Até 1990, as escolas britânicas ensinavam muito pouco ou nada de ciências às crianças com menos de 11 anos (Brock, 1992, p.410). A mesma orientação foi seguida na França e em muitos outros países europeus. Foi o exemplo de Justus von Liebig, na Alemanha, que induziu a Inglaterra a estabelecer o ensino de química no nível universitário.

O primeiro departamento de química independente na Alemanha foi criado em 1609 na Universidade de Marburg, na Prússia (Aftalion, 1991). A partir das guerras napoleônicas,

uma abordagem diferente no ensino de ciências passou a prevalecer: privilegiava-se a educação para estimular o pensamento e a pesquisa independentes (Rosenberg, 1998).

Wilhelm von Humboldt fundou a Universidade de Berlim em 1809, dando forte ênfase ao treinamento profissional. Outras universidades com a mesma ênfase foram fundadas em Breslau (1811), Bonn (1818) e Munich (1836) (Rosenberg, 1998). Entre os autores que escreveram sobre o impacto do ensino da química na Alemanha, é unânime a ideia de que o destaque da indústria química alemã foi resultado de seus esforços no treinamento de cientistas (Aftalion, 1991) e da relação simbiótica entre universidades e indústrias de corantes, que eram fortemente baseadas na ciência (*science-based*) e utilizavam alcatrão de carvão como matéria-prima (Rosenberg, 1998).

A importância da universidade alemã na química foi acentuada pelo instituto fundado por Justus von Liebig na Universidade de Giessen, no final dos anos 1820. Ali se ensinava química analítica quantitativa e qualitativa, assim como síntese orgânica. Além do ensino, a Universidade de Giessen também desenvolvia pesquisa. Muitos cientistas foram formados em Giessen, como Wilhelm von Hofmann, Karl Fresenius, Emil Erlenmeyer, Friedrich Kekulé, Charles Wurtz e Henri Regnault (Aftalion, 1991). O estilo de pesquisa adotado em Giessen foi aplicado em muitas outras universidades e espalhou-se pelo mundo por meio da migração de cientistas alemães em busca de trabalho, uma vez que, no início, o mercado naquele país não era suficientemente desenvolvido para absorver todos. Um exemplo foi August Hofmann, que foi para a Inglaterra, onde seu discípulo William Perkin descobriu o primeiro corante sintético. A escola de Liebig foi responsável pela formação de muitas gerações de químicos de alto nível, orientando-os à aplicação industrial do seu conhecimento.

Cabe mencionar, porém, que a preocupação com a aplicação imediata não fazia parte do currículo das universidades. Com o intuito de possibilitar o ensino da engenharia, foram criadas as Technische Hochschulen. Essas instituições possuíam um *status* inferior, como demonstrado pelo fato de que, até 1899, não estavam credenciadas para conceder o título de doutor (Rosenberg, 1998).

A ciência e a indústria química na Alemanha

O século XIX testemunhou um fenômeno raro para aquele tempo: o aparecimento de um novo campo da ciência, a química orgânica, e a sua quase imediata exploração pela indústria. A indústria transformava o desenvolvimento científico em inovações de alto valor comercial, com uma velocidade e um grau de integração entre universidade e indústria inauditos à época. Até então os principais processos industriais em uso haviam sido desenvolvidos pelo empresário-inventor ou pelo inventor individual (Freeman, Soete, 1997, p.88).

Com o advento da química orgânica muitas empresas se estabeleceram em ritmo acelerado, principalmente na Alemanha, alcançando rapidamente significativas escalas produtivas. Do ponto de vista do crescimento do portfólio de produtos, a maior força dessas empresas foi seu contato íntimo com universidades e institutos alemães de pesquisa. De início a indústria produzia corantes sintéticos acompanhando a Perkin, mas ultrapassou a iniciativa britânica rapidamente, tendo dominado o mercado mundial por muitos anos.

Entre a segunda metade do século XIX e a Segunda Guerra Mundial, então, a Alemanha manteve, sem concorrência, a liderança no desenvolvimento da indústria química. A química orgânica abriu novos mercados, que geraram um crescimento explosivo da indústria, dando origem a uma força econômica poderosa. O corante sintético, motor inicial da indústria, foi logo seguido pelos fármacos e pela fotoquímica.

Esse forte crescimento aconteceu sobretudo na Alemanha – e não em outros países, como a Inglaterra, que também contava com grande disponibilidade de matéria-prima, o alcatrão de carvão – precipuamente devido à proximidade entre a indústria e os pesquisadores universitários, os quais tinham sido formados de acordo com uma ideologia favorável a essa aproximação. É preciso mencionar, ainda, que as empresas instituíram seus próprios laboratórios de pesquisa e desenvolvimento desde cedo, sendo esta outra inovação alemã. Por exemplo, a BASF, a Bayer e a Hoechst estabeleceram centros de P&D intimamente conectados a professores de universidades e outros cientistas, e contaram fortemente com estudantes de Liebig. A predominância germânica foi, portanto, baseada na ciência praticada no contexto do quadrante de Pasteur (alta utilidade, alto grau de conhecimento).

As plantas construídas no século XIX eram réplicas em grande escala dos laboratórios; nelas, muitos produtos eram feitos em equipamentos compartilhados. É importante saber que essas plantas não foram projetadas para a operação contínua. Dado que a distância entre conhecimento científico e aplicação industrial era, à época, bastante pequena, os professores da universidade inauguraram a tradição de consultoria às indústrias.

Um fato importante é que, com o surgimento da química orgânica, descobriram-se muitas substâncias que só viriam a ter importância industrial muitos anos mais tarde (Stobaugh, 1988), enquanto outros produtos como corantes e fármacos tiveram rápido lançamento no mercado. Em alguns casos a trajetória científica já havia sido trilhada, enquanto em outros ainda se passariam muitas décadas até que cientistas norte-americanos e europeus desenvolvessem o novo campo da ciência química: a química macromolecular.

Considere-se agora, em particular, a experiência da Universidade de Karlsruhe, onde o químico Fritz Haber trabalhou por 17 anos, até 1911. Em 1910 o departamento de Haber contava com cerca de 65 professores universitários, entre docentes, assistentes não-remunerados e estudantes de doutorado, sem contar aqueles que apenas completaram os cursos práticos ou assistiram seminários (Stoltzenberg, 2004). A biografia de Haber contém uma quantidade impressionante de pesquisas e inovações (Stoltzenberg, 2004), mas o que a torna relevante nesta análise é o fato de o seu trabalho ter conduzido a uma nova forma de fazer pesquisa. Seu interesse no campo das reações em fase gasosa levou-o a estudar a produção da amônia, por meio da reação entre nitrogênio e hidrogênio: $N_{2(g)} + 3 H_{2(g)} \leftrightarrow 2 NH_{3(g)}$. Essa reação era de interesse especial por ser a amônia matéria-prima da produção do ácido nítrico, que, por sua vez, é essencial para a produção de explosivos, sendo também um insumo básico para produção de fertilizantes a base de nitrogênio.

Não havia dúvida quanto à relevância potencial dessa pesquisa, dado que o processo usado naquele tempo, tendo a cianamida cálcica como matéria-prima, era economicamente ineficiente. Os estudos iniciais de natureza científica tratavam do equilíbrio de reações e mostraram que o processo de baixa pressão era impraticável, pois o rendimento de amônia era muito baixo. Walther Nernst, grande cientista e professor, opinou, a propósito, que

pressões mais elevadas deveriam ser investigadas; experimentos a altas pressões com o uso de catalisadores baseados em ósmio e urânio seriam mais promissores.

Como Haber realizava a pesquisa através de contrato firmado com a empresa BASF, esta mobilizou os recursos exigidos para o desenvolvimento da pesquisa em duas frentes: o aperfeiçoamento do catalisador e a construção de um equipamento grande e mecanicamente resistente para a produção contínua em grande escala. A equipe da BASF era liderada pelo químico Carl Bosch, especialista em fundição. Segundo Aftalion (1991), a síntese da amônia pela empresa reforçou os elos da química com a física e a engenharia, uma vez que exigia conhecimentos sobre projetos de processo, reações de equilíbrio, altas pressões, catálise, resistência de materiais e projeto de equipamentos de grande escala. Haber, em 1918, pela síntese da amônia, e Bosch, em 1931, pelo desenvolvimento dos processos químicos de alta pressão, ganharam o Prêmio Nobel de Química.

A pesquisa de Haber era, de fato, inscrita predominantemente no conceito do quadrante de Pasteur, assim como a de muitos dos seus colegas de Karlsruhe. O caminho aberto por Haber e por seu laboratório em Karlsruhe tornou-se muito fértil no que concerne às consequências para a indústria química (a síntese do metanol em grande escala foi apenas mais um exemplo). Um caso notável é o trabalho de Friedrich Bergius, iniciado em Karlsruhe e finalizado no Instituto de Tecnologia de Hannover, primeiro sobre síntese sob alta pressão e depois sobre conversão carvão-óleo, com o propósito de gerar combustíveis líquidos. Esse trabalho, de alta utilidade e alto grau de conhecimento, rendeu a Bergius, junto com Bosch, o Prêmio Nobel em 1931.

Haber também ganhou notoriedade pelo desenvolvimento das técnicas de guerra química e comandou pessoalmente operações no *front*, durante a 1ª Guerra Mundial. Por essa razão ele foi colocado na lista dos criminosos de guerra da Alemanha após a derrota em 1918.

Em suma, na primeira geração de químicos orgânicos da Alemanha, Justus von Liebig teve destaque por suas aulas e seus laboratórios de pesquisa em Giessen. As duas gerações seguintes produziram os grandes químicos a quem se deve o estabelecimento das indústrias de corantes sintéticos, farmacêutica e fotoquímica. A geração de Haber abriu caminho para as indústrias de grande escala baseadas em processos contínuos operados sob condições extremas.

A geração seguinte produziu a figura extraordinária de Hermann Staudinger, responsável pela base científica que permitiu o estudo e o desenvolvimento das moléculas poliméricas que dominaram a economia da indústria química internacional, durante a segunda metade do século XX. A ciência dos polímeros era o elo que faltava para provocar um *boom* no desenvolvimento científico e tecnológico. O interessante é que Staudinger nunca pareceu motivado pelas aplicações práticas de suas descobertas, o que o situa, mais do que muitos de seus predecessores alemães, no contexto do quadrante de Bohr. Durante toda a sua carreira, ele produziu mais de quinhentos *papers* e apenas oito patentes, das quais três estiveram relacionadas à preparação de monômeros (Furukawa, 1998).

Enquanto Staudinger desenvolvia a ciência dos polímeros na Europa, outros pesquisadores notáveis ampliavam as fronteiras do conhecimento científico e da indústria nos Estados Unidos.

A universidade e a engenharia química nos Estados Unidos

A química não avançou nos Estados Unidos na mesma época em que o predomínio alemão se firmava. Os cientistas americanos que desejavam desenvolver suas habilidades iam estudar na Alemanha, muitos deles nos laboratórios e salas de aula de Liebig, Hofmann, Haber e outros. O modelo alemão das universidades dedicadas à pesquisa foi espelhado nos Estados Unidos (mas não na Inglaterra), inicialmente na Universidade de Johns Hopkins e, em seguida, em outras, sobretudo nas universidades públicas, como consequência da Lei Morrill, de 1862 (Rosenberg, 1998).

É interessante conhecer a opinião que Fritz Haber tinha sobre a universidade norte-americana em 1902:

Estamos acostumados a ver as universidades como lugares que encorajam o pensamento teórico O marco de referência da universidade na América é mais amplo. Corresponde, literalmente, à palavra universidade no sentido de que inclui ramificações em todos os assuntos que podem ser pensados em uma universidade. Isto é, ela inclui os assuntos técnicos e também aquelas instituições que são mais parecidas com nossas escolas técnicas e são chamadas de institutos de tecnologia ou de escolas de ciências aplicadas. (Stoltzenberg, 2004, p.52-53).

Haber considerava que as universidades “sobrecarregavam o estudante com abundante conhecimento factual cuidadosamente absorvido ... mas com uma maturidade científica apenas muito limitada” (Stoltzenberg, 2004, p.53). Sentiu também que eram poucas “aquelas universidades em que um trabalho de pós-graduação plausível era realizado” (p.53).

A universidade americana fora mesmo concebida com o objetivo de explorar as potencialidades do país, tais como a agricultura e as riquezas geológicas, e focou-se em questões de engenharia. Também no caso da indústria química, os Estados Unidos tinham necessidades diferentes das alemãs. Enquanto, na Alemanha, as plantas pareciam mais com laboratórios ampliados, o modelo perseguido nos Estados Unidos foi o de plantas contínuas de grande escala, inicialmente nas refinarias de petróleo – um campo em que os Estados Unidos foram pioneiros no mundo – e depois nas plantas petroquímicas. Na Alemanha as plantas de produção de amônia eram construídas por químicos e por engenheiros mecânicos; nos Estados Unidos, as refinarias eram projetadas por engenheiros químicos, categoria profissional que nasceu naquele país (Spitz, 1988). A nova disciplina criou um respeitável corpo de conhecimento, desenvolvido predominantemente nas universidades, em que o Massachusetts Institute of Technology (MIT) teve papel pioneiro.

Não pode ser desconsiderada, ainda, a importante contribuição do grupo de engenheiros químicos da DuPont, liderado por Allan Colburn. A DuPont tinha dez engenheiros químicos no seu Departamento Químico em 1926, sendo que mais da metade deles foram graduados no MIT (Hounshell, Smith Jr., 1988).

A ciência e a indústria química nos Estados Unidos

Se o papel da universidade foi – e ainda é – relevante para o desenvolvimento da ciência orientada por missão, não podemos deixar de mencionar que as firmas industriais estabeleceram seus próprios centros de pesquisa nos Estados Unidos, bem como na Alemanha. General Chemical (1899), Dow (1901), DuPont (1902), Standard Oil of Indiana

(1906), Goodyear (1909), Eastman Kodak (1912) e American Cyanamid (1912) são exemplos desses laboratórios nos Estados Unidos.⁴ Eles começaram com a pesquisa aplicada, mas desde 1927 a DuPont iniciara um movimento incipiente na indústria americana para fazer pesquisa científica básica (Furukawa, 1998).

A primeira interação importante entre ciência e indústria, nos Estados Unidos, ocorreu provavelmente ao mesmo tempo em que Staudinger criava a sua *oeuvre* na Europa. Costumava-se indicar William Carothers como símbolo da contribuição americana. Enquanto Staudinger estudava polímeros obtidos por poliadiação, Carothers estudava a rota da policondensação e foi diretamente responsável pela invenção do *nylon* e da borracha sintética conhecida como neoprene. O mais interessante é que Carothers, figura importante e rara na história da ciência e tecnologia dos polímeros, não trabalhou na universidade. Carothers estudou em Missouri e em Illinois e tornou-se instrutor em Harvard em 1926. Finalmente, a DuPont, ao decidir gastar uma quantia significativa em pesquisa científica básica, ofereceu-lhe uma posição. Depois de muito hesitar, Carothers abandonou a universidade para trabalhar no centro de pesquisa daquela indústria. Ele foi convencido a colaborar com a DuPont mediante a garantia de que teria liberdade para escolher seu campo de trabalho. Essa condição não foi satisfeita inteiramente, mas o trabalho lhe proporcionava uma alta margem de liberdade. Carothers, no entanto, nunca permaneceu inteiramente confiante de que estava trabalhando com a perspectiva correta, uma vez que o seu empregador era uma empresa industrial e que, portanto, desejava retornos materiais dos seus investimentos (Furukawa, 1998).

Logo que se tornou conhecido o potencial comercial dos polímeros que o grupo de pesquisa de Carothers estava desenvolvendo, sua pesquisa básica ganhou conotações de pesquisa orientada por missão e, depois, de pesquisa aplicada. De acordo com Freeman e Soete (1997), a borracha sintética e a maioria dos principais materiais e fibras sintéticas lançadas depois da 1ª Guerra Mundial foram introduzidas por grandes firmas químicas, já estabelecidas e com amplas instalações de pesquisa e desenvolvimento experimental.⁵ *Mutatis mutandis*, esse padrão repetiu-se a partir de então.

Os Estados Unidos foram o primeiro país a desenvolver a indústria petroquímica de grande escala. O crescimento dessa indústria foi resultado dos esforços americanos de guerra (Spitz, 1988), sendo que seu principal destinava-se a aumentar dramaticamente a produção de borracha sintética, dado o bloqueio às fontes de borracha natural. Um *boom* de novos processos e produtos aconteceu após a guerra, quando houve demanda por suprimento contínuo e de grande escala de matérias-primas e produtos.

A era de hoje, perto do seu fim, vê a indústria mover-se na direção da reestruturação via fusões e aquisições.⁶ Existe uma tendência universal de redução dos gastos com P&D em empresas químicas e de reorientação de seus esforços para o desenvolvimento de novas aplicações de produtos. No entanto, a pesquisa universitária não perdeu sua importância no processo de inovação, a exemplo do intenso trabalho sobre catalisadores que está sendo realizado atualmente em centros avançados.

Considerações finais

A história da indústria química mostra que a pesquisa universitária cumpriu papel fundamental, não apenas no desenvolvimento da química orgânica e da físico-química, mas também na emergência dos dois grandes ciclos econômicos da indústria química: o do carvão e o petroquímico. Com relação ao primeiro ciclo, que aconteceu no século XIX, a universidade desempenhou seu papel em três frentes: desenvolvendo novas ramificações da ciência química; preparando recursos humanos para trabalhar nas novas indústrias; e dando suporte às indústrias ao oferecer serviços de consultoria para pesquisa e desenvolvimento de novos produtos e processos. No ciclo petroquímico, essas atribuições foram parcialmente substituídas pela emergência dos grandes departamentos de P&D na indústria (enquanto que, no século XIX, esses departamentos existiam apenas na Alemanha). Uma grande realização da universidade foi ofertar a 'disciplina' de engenharia química, essencial para atender ao aumento da demanda por parte da indústria em crescimento.

Graças à constante presença de professores universitários no quadrante de Pasteur, tanto na Alemanha quanto nos Estados Unidos sempre existiu intenso contato e troca entre a indústria e a universidade.

No que diz respeito ao desenvolvimento de tecnologia, a pesquisa universitária teve a mais alta importância durante todo o período analisado neste artigo. A conclusão, portanto, é que a pesquisa desenvolvida na universidade pode preservar sua natureza como pesquisa básica, mesmo que seja orientada por missão.

Diante das incertezas sobre duração, custo e sucesso dos projetos de produção de conhecimento, os fatos narrados decorrem, em primeiro lugar, de que o segredo – e a apropriação dos benefícios da pesquisa no circuito mercantil – é, em princípio, garantido de maneira mais efetiva quando o conhecimento não é codificado sob a forma de acervo público, mas retido como conhecimento tácito, que pode ser comercializado pela empresa. Já a pesquisa universitária, ao contrário, está ocupada com adições ao estoque de conhecimento público e sua organização deve estar devotada ao rápido aumento desse estoque, alinhando incentivos que aceleram as descobertas e a revelação do resultado da pesquisa. A disputa da prioridade pela descoberta é que constitui a base para construir a reputação legítima entre os pares.

A reputação individual do pesquisador no seu grupo de referência é decorrente, de fato, de sua contribuição ao conhecimento, e é o critério de avaliação por excelência na estrutura de recompensas que governa esse grupo, motivando aumentos de salário, obtenção de bolsas de pesquisa e prêmios científicos e estima dos pares. Baseado na competição pela prioridade da descoberta, esse sistema de recompensas revela-se compatível. Além disso, há o incentivo do pesquisador para acelerar as descobertas, uma vez que a própria decisão individual de abdicar da posse exclusiva do novo conhecimento serve ao propósito de acelerar a revelação do seu resultado.

O benefício social da revelação da descoberta entre os pares, por sua vez, decorre da agregação, ao novo conhecimento, do valor correspondente às novas aplicações passíveis de identificação por aquele melhor habilitado a avaliá-las, à certificação pelos pares, que atesta a sua confiabilidade para o uso, e ao ímpeto que desencadeia na busca de novas

prioridades por aqueles que o avaliam. Mas, por excluir outros pesquisadores da remuneração pelo resultado, esse incentivo eleva os riscos individuais e restringe a participação em atividades de pesquisa. Esse risco sugere ser desejável um sistema alternativo que acrescente, à parte variável da remuneração do pesquisador, uma parte fixa adequadamente associada a uma atividade produtiva complementar à de pesquisa na estrutura de recompensas da universidade, que é a atividade de ensino realizada na instituição.

Para uma sociedade que valoriza o conhecimento, portanto, uma vez garantida a autonomia na aplicação da regra de prioridade pelos pares e na definição da agenda de pesquisas, a pesquisa universitária satisfaz bastante bem os princípios de eficiência global na organização da pesquisa, ao preencher, a um só tempo, as funções de: produzir cientistas; checar o seu trabalho; e reduzir as incertezas dos resultados da pesquisa, avaliando em quanto tempo é possível atingir uma solução, indicando qual especialidade científica utilizar e definindo qual método associar ao talento escolhido.

O resultado da integração da atividade de ensino à pesquisa universitária inclui, ademais, treinamento e avaliação de uma quantidade de pesquisadores superior à que pode ser absorvida por ela própria ou pela produção comercial, trazendo contínuos benefícios à pesquisa na indústria, sob a forma de descobertas inesperadas de uso prático imediato, conhecimento básico gratuito e informação a baixo custo sobre qualificação dos jovens cientistas que são pretendidos pelos centros de P&D das empresas. Justificam-se, portanto, a preservação dos ganhos decorrentes da conduta aberta da pesquisa em ciência, assim como medidas de política apropriadas, que sejam adotadas de forma coordenada por instituições de ensino, agências governamentais e empresas.

Considerados os arranjos institucionais típicos da pesquisa na universidade e na indústria, esses fatos ilustram, em segundo lugar, que as normas contraditórias com que as duas atividades são organizadas estabelecem uma tensão que, se as impede de se misturar facilmente, não as torna mutuamente exclusivas para promover a atividade de inovação, resultando em um sistema cujas relações podem fortalecer e enriquecer uma à outra. Essa é a razão pela qual uma alocação razoavelmente eficiente de recursos na produção do conhecimento exige firmá-las em suas funções e manter o equilíbrio sinérgico entre elas, sob pena de que o rompimento desse equilíbrio resulte na perda de efetividade da estratégia de inovação (Dasgupta, David, 1994).

Quanto à interação entre universidade e indústria para a solução de problemas de interesse desta última, na maioria das tecnologias cujo desenvolvimento foi estudado em detalhes o progresso técnico ocorreu por um processo longo e complexo, em que havia, de fato, um numeroso e diverso grupo de participantes tentando desenvolver variantes ou aperfeiçoamentos da tecnologia prevalecente a cada momento. Ou seja, havia um grupo de participantes dedicando-se à solução da classe de problemas envolvidos em um contexto de aplicações, de tal forma que os vencedores se beneficiaram, com frequência, de amplo sucesso no mercado, ao mesmo tempo que constituíam uma base a partir da qual o avanço tecnológico posterior, muitas vezes promovido por outros, pôde progredir (Nelson, Romer, 1996).

A conclusão desses estudos é que não há risco a correr com atribuição de maior ênfase à exploração de oportunidades econômicas e comerciais, mas resulta ineficiente reduzir a parcela da pesquisa focada em conceitos fundamentais e encurtar o horizonte de tempo

em que é medido seu retorno (Dasgupta, David, 1994). Ou, ainda, que a mudança de ênfase na pesquisa universitária pode significar ineficiência se promovida com a transferência dessa pesquisa para o setor privado, uma vez que as universidades oferecem um ambiente 'extremamente efetivo' para explorar conceitos básicos e perseguir retornos mediatos (Nelson, Romer, 1996). Em suma, "a análise econômica básica sugere que sejam usados diferentes arranjos institucionais para dar suporte ao trabalho de um Bohr e de um Edison, mas o exemplo de Pasteur indica que é desejável assegurar elos fortes entre os dois" (p.10).

Evidências recentes da importância dos resultados de projetos orientados por busca de inovação baseada em ciência contribuíram, a propósito, para motivar o surgimento de uma nova corrente de opinião sobre organização da pesquisa. Conhecida como a visão pós-moderna, sustenta que, na linha de fronteira da pesquisa, a atividade de solução de problemas é organizada em função de uma aplicação particular e não com vistas à solução da classe de problemas envolvidos em um contexto de aplicações; os times de pesquisa são multidisciplinares; e os detalhes da solução dos problemas não são tornados públicos de imediato (Gibbons et al., 1999).

Considerando essa transformação irreversível – uma vez que esse 'modo' de produção de conhecimento alternativo asseguraria um ambiente de trabalho estimulante para o pesquisador individual, ao prover acesso a problemas desafiadores e colaboração íntima com especialistas de um amplo espectro de origens, além de oferecer flexibilidade, tempo curto de resposta e visibilidade –, o paradigma pós-moderno sustenta, então, que os objetivos institucionais da pesquisa, as regras do desenvolvimento profissional e os determinantes sociais e técnicos da competência individual do pesquisador terão que ser modificados, ao mesmo tempo que a universidade deverá ser 'ventilada' e 'descentralizada' (Gibbons et al., 1994).

Os fatos narrados, no entanto, sugerem "que todos nós deveríamos estar bastante preocupados ao supor que podemos prever o que iria ocorrer se nossas sociedades viessem a continuar despendendo grandes somas de dinheiro sob um modo muito diferente de organização da pesquisa científica" (David, 1995, p.17). A relevância desse tema não pode, então, passar despercebida, porque a atividade de pesquisa orientada por missão ganhou grande destaque entre os esquemas de incentivo hoje considerados necessários para 'ventilar' a pesquisa universitária. De fato, "se a evolução em direção a um sistema de pesquisa pós-moderno é desejável, as atuais mudanças nos sistemas de pesquisa deveriam ser avaliadas quanto a se elas conduzem à transição" (Rip, Van der Meulen, 1996, p.349), uma vez que, ante as características dos processos de produção, difusão e uso do conhecimento observadas na experiência de integração da universidade com a indústria química, a prioridade é aperfeiçoar a organização da pesquisa universitária, o conjunto de objetivos, as normas de comportamento e o sistema de recompensa que regem essa atividade, de modo a encorajar uma maior integração das atividades de pesquisa universitária e empresarial.

Diante do rápido aumento das oportunidades tecnológicas, não seria benéfico um refluxo no treinamento avançado em ciência, e se a pesquisa universitária e o aprendizado de pós-graduação devem ser mais orientados para as necessidades da indústria, são os mecanismos de interação entre cientistas e engenheiros da indústria e da universidade os que terão de ser ampliados e reforçados.

Em países onde falta tecnologia, como o Brasil, a distância entre ciência e tecnologia pode ser reduzida, de fato, se a universidade, além de prover bom ensino, dedicar parte dos seus esforços para o desenvolvimento da pesquisa básica orientada por missão.

NOTAS

¹ Nesta e nas demais citações de textos em outros idiomas, a tradução é livre.

² Criado nos EUA para coordenar a pesquisa de armamentos e prestar assessoria em P&D científica.

³ Essa questão é discutida em Bensaude-Vincent e Stengers, 1996.

⁴ A Alemanha chegou primeiro: a empresa Bayer construiu, na Alemanha, uma planta experimental de corantes já em 1887 e um laboratório central de pesquisa em 1891; a biblioteca da Bayer assinava cerca de quinhentos periódicos em 1910 (Brock, 1992).

⁵ Frequentemente, é claro, descobertas e inovações químicas fundamentais foram feitas em laboratórios universitários. Em particular, o trabalho de Staudinger em Freiburg sobre moléculas de cadeia longa proporcionou a base teórica para muitos dos avanços industriais dos anos 1930.

⁶ A esse respeito, ver Spitz, 2003.

REFERÊNCIAS

- AFTALION, Fred.
A history of the international chemical industry. Philadelphia: University of Pennsylvania Press. 1991.
- BENSAUDE-VINCENT, Bernadette; STENGERS, Isabelle.
A history of chemistry. Cambridge: Harvard University Press. 1996.
- BROCK, William.
The Norton history of chemistry. New York: W.W. Norton & Company. 1992.
- BUSH, Vannevar.
Science, the endless frontier. Washington: United States Government Printing Office. 1945.
- DASGUPTA, Partha; DAVID, Paul Anthony.
Toward a new economics of science. *Research Policy*, Amsterdam, n.23, p.487-521. 1994.
- DAVID, Paul Anthony.
Science reorganized?: post-modern visions of research and the curse of success. Trabalho apresentado no 12. International Symposium on Measuring the Impact of R&D, 13-15 set. 1995. Ottawa. 1995.
- FREEMAN, Chris; SOETE, Luc.
The economics of industrial innovation. Cambridge: The MIT Press. 1997.
- FURUKAWA, Yasu.
Inventing polymer science: Staudinger, Carothers, and the emergence of macromolecular chemistry. Philadelphia: University of Pennsylvania Press. 1998.
- GIBBONS, Michael et al.
New production of knowledge: dynamics of science and research in contemporary societies. London: SAGE Publications. 1999.
- HOUNSHELL, David; SMITH JR., John Kenly.
Science and corporate strategy: DuPont R&D, 1902-1980. New York: Cambridge University Press. 1988.
- KLINE, Stephen. Innovation is not a linear process. *Research Management*, Arlington, v.28, n.36, p.36-45. 1985.
- NELSON, Richard; ROMER, Paul Michael.
Science, economic growth, and public policy. *Challenge*, Providence, p.9-21. 1996.
- RIP, Arie; VAN DER MEULEN, Barend.
The post-modern research system. *Science and Public Policy*, Guildford, v.23, n.6, p.343-352. 1996.
- ROSENBERG, Nathan.
Technological change in chemicals: the role of university-industry relations. In: Arora, Ashish; Landau, Ralph; Rosenberg, Nathan (Ed.). *Chemicals and long-term economic growth: Insights from the chemical industry*. New York: John Wiley & Sons. p.193-230. 1998.
- ROSENBERG, Nathan.
Critical issues in science policy research. In: Rosenberg, Nathan. *Exploring the black box: technology, economics and history*. New York: Cambridge University Press. p.139-158. 1994.
- ROSENBERG, Nathan.
How exogenous is science? In: Rosenberg,

Nathan. *Inside the black box: technology and economics*. New York: Cambridge University Press. p.141-159. 1982.

SPITZ, Peter.

The chemical industry at the millennium: maturity, restructuring and globalization. Philadelphia: Chemical Heritage Press. 2003.

SPITZ, Peter.

Petrochemicals: the rise of an industry. New York: John Wiley & Sons. 1988.

STOBAUGH, Robert.

Innovation and competition: the global management of petrochemical products. Boston: Harvard Business School Press. 1988.

STOKES, Donald. *Pasteur's quadrant*.

Washington DC: Brookings Institution Press. 1997.

STOLTZENBERG, Dietrich.

Fritz Haber: chemist, Nobel laureate, German, jew – a biography. Philadelphia: Chemical Heritage Press. 2004.

WEINBERG, Georg M.L.

Knowledge and utility: historical notes on the relationship between university and chemical industry. Trabalho apresentado no 2. Mercosur Congress on Chemical Engineering e 4. Mercosur Congress on Process Systems Engineering, 14-18 ago. 2005, Rio de Janeiro. Disponível em: http://dpi.eq.ufrj.br/Anais_A/CENPROMER2005/listar_trabalhosfc58.html?pagina=2&chave=Codigo&bloco= &idioma=en. Acesso em: 3 fev. 2008. 2005.

