

schumpeteriana na indústria eletrônica. Na era antiga, ou seja, trinta anos antes da elaboração deste livro, a indústria se organizava em uma hierarquia bem-definida de *mainframes*, minicomputadores (na verdade, aparelhos ainda um tanto desajeitados) e terminais, com parte da informática especializada deixada para o mundo esotérico dos supercomputadores (uma troca de experiências sobre previsão do tempo e jogos de guerra), no qual o extraordinário talento de Seymour Cray reinou por certo tempo, apesar de sua falta de visão tecnológica.

A microeletrônica mudou tudo isso, causando uma “revolução dentro da revolução”. O advento do microprocessador em 1971, com a capacidade de incluir um computador em um *chip*, pôs o mundo da eletrônica e, sem dúvida, o próprio mundo, de pernas para o ar. Em 1975, Ed Roberts, um engenheiro que criou uma pequena empresa fabricante calculadoras, a MITS, em Albuquerque, Novo México, construiu uma “caixa de computação” com o inacreditável nome de Altair, inspirado em um personagem da série de TV, Jornada nas Estrelas, que era admirado pela filha do inventor. A máquina era um objeto primitivo, mas foi construída como um computador de pequena escala com um microprocessador. O Altair foi a base para o *design* do Apple I e, posteriormente, do Apple II. Este último foi o primeiro microcomputador de sucesso comercial, idealizado pelos jovens Steve Wozniak e Steve Jobs (após abandonarem os estudos regulares), na garagem da casa de seus pais, em Menlo Park, Vale do Silício. Uma saga verdadeiramente extraordinária que acabou se tornando uma lenda sobre o começo da Era da Informação. Lançada em 1976, com três sócios e um capital de US\$ 91 mil, a Apple Computers alcançou em 1982 a marca de US\$ 583 milhões em vendas, anunciando a era da difusão do computador. A reação da IBM foi rápida: em 1981 ela introduziu sua versão do microcomputador com um nome brilhante: Computador Pessoal (PC) que, na verdade, se tornou o nome genérico dos microcomputadores. Todavia por não ter sido criado com base na tecnologia de propriedade da IBM, mas na tecnologia desenvolvida para a IBM por terceiros, ele ficou vulnerável à clonagem, que logo foi praticada em escala maciça, em especial, na Ásia. No entanto, embora acabasse determinando o fim do domínio da IBM no negócio de PCs, o fato também difundiu o uso dos clones da IBM ao redor do mundo, disseminando um padrão comum, apesar da superioridade das máquinas da Apple. O Macintosh da Apple, lançado em 1984, foi o primeiro passo rumo aos computadores de fácil utilização, com a introdução da tecnologia baseada em ícones e interfaces com o usuário, desenvolvida originalmente pelo Centro de Pesquisas Palo Alto da Xerox .

Uma condição fundamental para a difusão dos microcomputadores foi preenchida com o desenvolvimento de um novo *software* adaptado a suas operações.⁴⁸ O *software* para PCs surgiu em meados dos anos 70 a partir do entusias-

mo gerado pelo Altair: dois jovens desistentes de Harvard, Bill Gates e Paul Allen, adaptaram o BASIC para operar a máquina Altair em 1976. Ao perceber o potencial, eles prosseguiram e fundaram a Microsoft (primeiro em Albuquerque e, dois anos depois, mudaram para Seattle onde moravam os pais de Bill Gates), o atual gigante em *software*, que transformou seu predomínio em *software* de sistemas operacionais no predomínio em *software* para o mercado de microcomputadores como um todo, que estava em crescimento exponencial.

Nos últimos 15 anos, o aumento da capacidade dos *chips* resultou em um aumento impressionante da capacidade dos microcomputadores, diminuindo assim as funções dos computadores maiores. No início dos anos 90, computadores de um só *chip* tinham a capacidade de processamento de um computador IBM de cinco anos antes. Sistemas baseados em microprocessadores em rede, compostos de computadores pessoais menores (clientes), servidos por máquinas mais dedicadas e com maior capacidade (servidores), poderão vir a suplantam computadores mais especializados em processamento da informação, como os *mainframes* tradicionais e os supercomputadores. Na verdade, aos avanços na microeletrônica e em *software* temos de somar grandes saltos na evolução da capacidade de formação de redes. Desde meados da década de 80, os microcomputadores não podem ser concebidos isoladamente: eles atuam em rede, com mobilidade cada vez maior, com base em computadores portáteis. Essa versatilidade extraordinária e a possibilidade de aumentar a memória e os recursos de processamento, ao compartilhar a capacidade computacional de uma rede eletrônica, mudaram decisivamente a era dos computadores nos anos 90, ao transformar o processamento e armazenamento de dados centralizados em um sistema compartilhado e interativo de computadores em rede. Não foi apenas todo o sistema de tecnologia que mudou, mas também suas interações sociais e organizacionais. Assim, o custo médio do processamento da informação caiu de aproximadamente US\$ 75 por cada milhão de operações, em 1960, para menos de um centésimo de centavo de dólar em 1990.

É claro que essa capacidade de desenvolvimento de redes só se tornou possível graças aos importantes avanços tanto das telecomunicações quanto das tecnologias de integração de computadores em rede, ocorridos durante os anos 70. Mas, ao mesmo tempo, tais mudanças somente foram possíveis após o surgimento de novos dispositivos microeletrônicos e o aumento da capacidade de computação, em uma impressionante ilustração das relações sinérgicas da Revolução da Tecnologia da Informação.

As telecomunicações também foram revolucionadas pela combinação das tecnologias de "nós" (roteadores e comutadores eletrônicos) e novas conexões (tecnologias de transmissão). O primeiro comutador eletrônico produzido indus-

trialmente, o ESS-1, foi introduzido pela Bell Laboratories, em 1969. Em meados dos anos 70, os avanços da tecnologia em circuitos integrados possibilitaram a criação do comutador digital, aumentando a velocidade, potência e flexibilidade com economia de espaço, energia e trabalho, em comparação com os dispositivos analógicos. Embora, no início, a American Telephone and Telegraph (ATT), matriz da Bell Laboratories, estivesse relutante contra sua introdução devido à necessidade de amortização do investimento já feito em equipamentos analógicos, quando, em 1977, a Northern Telecom do Canadá obteve uma fatia do mercado norte-americano por meio de sua liderança em comutadores digitais, as empresas da Bell entraram na concorrência e desencadearam um movimento semelhante ao redor do mundo.

Avanços importantes em optoeletrônica (transmissão por fibra ótica e laser) e a tecnologia de transmissão por pacotes digitais promoveram um aumento surpreendente da capacidade das linhas de transmissão. As IBNs (Redes de Banda Larga Integradas) vislumbradas na década de 90 poderiam ultrapassar substancialmente as propostas revolucionárias dos anos 70 de uma ISDN (Rede Digital de Serviços Integrados): enquanto a capacidade transportadora da ISDN através de fios de cobre ficava em torno de 144 mil *bits*, nos anos 90, a da IBN, por fibras óticas, embora a preço mais alto, ficaria em torno de um quatrilhão de *bits*, se e quando pudesse ser operacionalizada. Para medir a velocidade da mudança, vamos recordar que, em 1956, os primeiros cabos telefônicos transatlânticos podiam transportar 50 circuitos de voz compactada; em 1995, os cabos de fibra ótica podiam transportar 85 mil desses circuitos. Essa capacidade de transmissão com base em optoeletrônica, combinada com arquiteturas avançadas de comutação e roteamento, como ATM (Modo de Transmissão Assíncrono) e TCP/IP (Protocolo de Controle de Transmissão/Protocolo de Interconexão), é a base da chamada Infovia da década de 90, cujas características serão analisadas no capítulo 5.

Formas diferentes de utilização do espectro de radiodifusão (transmissão tradicional, transmissão direta via satélite, microondas, telefonia celular digital), assim como cabos coaxiais e fibras óticas, oferecem uma diversidade e versatilidade de tecnologias de transmissão, que estão sendo adaptadas a uma série de usos e possibilitam a comunicação ubíqua entre usuários de unidades móveis. Assim, a telefonia celular difundiu-se com grande força por todo o mundo nos anos 90, literalmente invadindo a Ásia com *paggers* não sofisticados e a América Latina com telefones celulares, usados como símbolos de *status*, confiando na promessa (da Motorola, por exemplo) de um futuro dispositivo de comunicação pessoal com cobertura universal, antes do ano 2000. Cada grande avanço em um campo tecnológico específico amplifica os efeitos das tecnologias da informação conexas. Assim, a telefonia móvel, contando com a capacidade dos compu-

tadores para o envio das mensagens, fornece, ao mesmo tempo, a base para a computação ubíqua e para a comunicação eletrônica interativa e ininterrupta em tempo real.

O divisor tecnológico dos anos 70

Esse sistema tecnológico, em que estamos totalmente imersos nos anos 90, surgiu nos anos 70. Devido à importância de contextos históricos específicos das trajetórias tecnológicas e do modo particular de interação entre a tecnologia e a sociedade, convém recordarmos algumas datas associadas a descobertas básicas nas tecnologias da informação. Todas têm algo de essencial em comum: embora baseadas principalmente nos conhecimentos já existentes e desenvolvidas como uma extensão das tecnologias mais importantes, essas tecnologias representaram um salto qualitativo na difusão maciça da tecnologia em aplicações comerciais e civis, devido a sua acessibilidade e custo cada vez menor, com qualidade cada vez maior. Assim, o microprocessador, o principal dispositivo de difusão da microeletrônica, foi inventado em 1971 e começou a ser difundido em meados dos anos 70. O microcomputador foi inventado em 1975, e o primeiro produto comercial de sucesso, o Apple II, foi introduzido em abril de 1977, por volta da mesma época em que a Microsoft começava a produzir sistemas operacionais para microcomputadores. A Xerox Alto, matriz de muitas tecnologias de *software* para os PCs dos anos 90, foi desenvolvida nos laboratórios PARC em Palo Alto, em 1973. O primeiro comutador eletrônico industrial apareceu em 1969, e o comutador digital foi desenvolvido em meados dos anos 70 e distribuído no comércio em 1977. A fibra ótica foi produzida em escala industrial pela primeira vez pela Corning Glass, no início da década de 70. Além disso, em meados da mesma década, a Sony começou a produzir videocassetes comercialmente, com base em descobertas da década de 60 nos EUA e na Inglaterra, que nunca alcançaram produção em massa. E, finalmente, mas não menos importante, foi em 1969 que a ARPA (Agência de Projetos de Pesquisa Avançada do Departamento de Defesa norte-americano) instalou uma nova e revolucionária rede eletrônica de comunicação que se desenvolveu durante os anos 70 e veio a se tornar a Internet. Ela foi extremamente favorecida pela invenção, por Cerf e Kahn em 1974, do TCP/IP, o protocolo de interconexão em rede que introduziu a tecnologia de “abertura”, permitindo a conexão de diferentes tipos de rede.⁴⁹ Acho que podemos dizer, sem exagero, que a Revolução da Tecnologia da Informação propriamente dita nasceu na década de 70, principalmente se nela incluímos o surgimento e a difusão paralela da engenharia genética mais ou menos nas mesmas datas e locais, fato que merece, no mínimo, algumas linhas.

Tecnologias da vida

Embora a biotecnologia possa remontar a tabuletas de anotações babilônicas de 6000 a.C. sobre fermentação, e a revolução em microbiologia tenha ocorrido em 1953 com a descoberta científica da estrutura básica da vida, a hélice dupla de DNA, por Francis Crick e James Watson na Universidade de Cambridge, foi somente no início da década de 70 que a combinação genética e a recombinação do DNA, base tecnológica da engenharia genética, possibilitaram a aplicação de conhecimentos cumulativos. Stanley Cohen, da Universidade de Stanford, e Herbert Boyer da Universidade da Califórnia, em São Francisco, são considerados os descobridores do método de clonagem genética em 1973, apesar de seu trabalho ter sido baseado na pesquisa de Paul Berg, de Stanford, ganhador do Prêmio Nobel. Em 1975, pesquisadores de Harvard isolaram o primeiro gene de mamíferos, a partir da hemoglobina de coelho, e, em 1977, o primeiro gene humano foi clonado.

Daí para frente, houve uma corrida para a abertura de empresas comerciais, no geral subsidiárias de grandes universidades e centros hospitalares de pesquisa, concentrando-se no norte da Califórnia, Nova Inglaterra e Maryland. Jornalistas, investidores e ativistas sociais sofreram diferentes impactos ante as bizarras possibilidades abertas pela capacidade potencial de manipulação da vida, inclusive da vida humana. A Genentech no sul de São Francisco, a Cetus em Berkeley e a Biogen em Cambridge, Massachusetts, organizadas com a participação central de vencedores do Prêmio Nobel, foram algumas das primeiras empresas a usar as novas tecnologias genéticas para aplicações na medicina. Logo depois veio a agroindústria; e os microorganismos, alguns dos quais alterados geneticamente, foram recebendo uma série de funções, que incluíram limpar a poluição muitas vezes causada pelas mesmas empresas e órgãos que vendiam os superorganismos. Porém dificuldades científicas, problemas técnicos e obstáculos legais, oriundos de justificadas preocupações éticas e de segurança, retardaram a louvada revolução biotecnológica durante a década de 80. Um considerável valor em investimentos de capital de risco foi perdido, e algumas das empresas mais inovadoras, inclusive a Genentech, foram absorvidas por gigantes farmacêuticos (Hofman-La Roche, Merck) que, melhor que qualquer um, entenderam que não poderiam repetir a onerosa arrogância demonstrada pelas empresas estabelecidas de informática em relação às iniciativas inovadoras: adquirir empresas pequenas e inovadoras, juntamente com os préstimos de seus cientistas, tornou-se a principal política de segurança para multinacionais farmacêuticas e químicas, tanto para absorver os benefícios comerciais da re-

volução biológica como para controlar seu desenvolvimento. Seguiu-se uma desaceleração do ritmo, pelo menos, na difusão das aplicações.

Porém, no final da década de 80 e durante os anos 90, um grande impulso científico e uma nova geração de cientistas ousados e empreendedores revitalizaram a biotecnologia com um enfoque decisivo em engenharia genética, a tecnologia verdadeiramente revolucionária nesse campo. A clonagem genética entrou em um novo estágio quando, em 1988, Harvard patenteou um rato produzido pela engenharia genética, tirando, assim, os direitos autorais de vida das mãos de Deus e da Natureza. Nos sete anos seguintes, mais sete ratos também foram patenteados como formas de vida recém-criadas e identificados como propriedade de seus engenheiros. Em agosto de 1989, pesquisadores da Universidade de Michigan e Toronto descobriram o gene responsável pela fibrose cística, abrindo o caminho para a terapia genética.

Com as expectativas geradas por essa descoberta, o governo dos EUA decidiu patrocinar e custear, em 1990, um programa de 15 anos de cooperação no valor de US\$ 3 bilhões, coordenado por James Watson, reunindo alguns dos mais avançados grupos de pesquisa em microbiologia para mapear o genoma humano, isto é, para identificar e catalogar entre 60 mil e 80 mil genes que compõem o alfabeto da espécie humana.⁵⁰ Mediante esse e outros esforços, um fluxo contínuo de genes humanos relacionados a várias doenças estão sendo identificados, de modo que cerca de 7% dos genes humanos foram determinados em meados da década de 90 com o entendimento correto de suas funções. Com certeza, isso cria a possibilidade de ação nesses genes e nos outros que serão identificados no futuro, tornando a espécie humana capaz não apenas de controlar algumas doenças, mas de identificar predisposições biológicas e nelas intervir, portanto alterando potencialmente o destino genético. Lyon e Gerner concluem sua pesquisa bem-equilibrada sobre os desenvolvimentos da engenharia genética humana com uma previsão e uma advertência:

Em algumas gerações, poderíamos banir certas doenças mentais, diabetes, hipertensão ou quase qualquer outra enfermidade. Não devemos nos esquecer de que a qualidade das decisões tomadas dirá se as escolhas a serem feitas serão sábias e justas... O modo um tanto inglório pelo qual os cientistas e a elite dominante estão tratando os primeiros frutos da terapia genética é ominoso. Nós, humanos, atingimos um tal ponto de desenvolvimento intelectual que, relativamente logo, conseguiremos compreender a composição, função e dinâmica do genoma na maior parte de sua complexidade intimidante. Emocionalmente, porém, ainda somos primatas, com toda a bagagem comportamental pertinente. Talvez a melhor forma de terapia ge-

nética para nossa espécie fosse superar nossa herança inferior e aprender a aplicar os novos conhecimentos sábia e benignamente.⁵¹

Todavia, enquanto cientistas, juristas e estudiosos de ética debatem as seqüências humanistas da engenharia genética, alguns pesquisadores transformados em empresários estão se apressando e estabelecendo mecanismos para o controle legal e financeiro do genoma humano. A tentativa mais ousada nesse sentido foi o projeto iniciado em 1990, em Rockville, Maryland, por dois cientistas, J. Craig Venter e William Haseltine, respectivamente, do Instituto Nacional da Saúde e de Harvard, na época. Usando a potência de supercomputadores, apenas em cinco anos eles determinaram a seqüência de porções de aproximadamente 85% de todos os genes humanos, criando uma base de dados genéticos gigantesca.⁵² O problema é que ambos não sabem — e não saberão por um longo tempo — qual a função de cada porção genética ou onde ela está localizada: a base de dados engloba centenas de milhares de fragmentos genéticos com funções desconhecidas. Então, de que adianta tudo isso? Por um lado, as pesquisas enfocadas em genes específicos podem beneficiar-se (e, de fato, beneficiam-se) da utilização dos dados contidos nessas seqüências. Mas, o que é mais importante e a principal razão do projeto, Craig e Haseltine estão tratando de patentear todos os seus dados de forma que, literalmente, algum dia eles poderão deter os direitos legais de uma grande quantidade de conhecimentos para a manipulação do genoma humano. A ameaça representada por esse avanço foi séria o suficiente para que — ao mesmo tempo em que atraiu dezenas de milhões de dólares de investidores — a Merck, importante empresa farmacêutica, concedesse, em 1994, fundos substanciais à Universidade de Washington para prosseguir com a mesma seqüência cega e publicar os dados. O objetivo foi impossibilitar qualquer controle privado sobre parcelas de conhecimentos que possam bloquear o desenvolvimento de produtos baseados em um futuro entendimento sistemático do genoma humano.

Para o sociólogo, essas batalhas comerciais não representam apenas mais um exemplo da ambição humana. Elas sinalizam um ritmo acelerado na difusão e no aprofundamento da revolução genética. Devido a sua especificidade científica e social, a difusão da engenharia genética progrediu de forma mais lenta que a eletrônica entre as décadas de 70 e 90. Mas, nos anos 90, mercados mais abertos e maiores recursos educacionais e de pesquisas em todo o mundo estão acelerando a revolução biotecnológica. Todas as indicações apontam para uma explosão de aplicações na virada do milênio, que desencadeará um debate fundamental na fronteira, atualmente obscura, entre a natureza e a sociedade.

O contexto social e a dinâmica da transformação tecnológica

Por que as descobertas das novas tecnologias da informação concentraram-se em um só lugar nos anos 70 e, sobretudo, nos Estados Unidos? E quais são as conseqüências dessa concentração em determinado tempo e lugar para o desenvolvimento futuro das novas tecnologias e sua interação com as sociedades? Seria tentador relacionar a formação desse paradigma tecnológico diretamente às características de seu contexto social, em particular, se lembrarmos que, em meados da década de 70, os EUA e o mundo capitalista foram sacudidos por uma grande crise econômica, exemplificada (mas não causada) pela crise do petróleo, em 1973-74. Essa motivou uma reestruturação drástica do sistema capitalista em escala global e, sem dúvida, induziu um novo modelo de acumulação em descontinuidade histórica com o capitalismo pós-Segunda Guerra Mundial, conforme propus no prólogo desta obra. O novo paradigma tecnológico foi uma resposta do sistema capitalista para superar suas contradições internas? Ou, alternativamente, terá sido uma forma de assegurar a superioridade militar sobre os rivais soviéticos, em resposta a seu desafio tecnológico na corrida espacial e nuclear? Nenhuma das explicações parece ser convincente. Embora haja coincidência histórica entre a concentração de novas tecnologias e a crise econômica da década de 70, sua sincronia foi muito próxima, e o “ajuste tecnológico” teria sido demasiadamente rápido e mecânico quando comparado ao que aprendemos com as lições da Revolução Industrial e de outros processos históricos de transformação tecnológica: os caminhos seguidos pela indústria, economia e tecnologia são, apesar de relacionados, lentos e de interação descompassada. Quanto ao argumento militar, o choque causado pelo Sputnik (entre 1957-60) foi respondido em espécie pela explosão tecnológica dos anos 60, não dos 70; e o novo e importante impulso da tecnologia militar norte-americana foi dado em 1983 com o programa “Guerra nas Estrelas”, que, na verdade, utilizava e expandia as tecnologias da prodigiosa década anterior. De fato, parece que a emergência de um novo sistema tecnológico na década de 70 deve ser atribuída à dinâmica autônoma da descoberta e difusão tecnológica, inclusive aos efeitos sinérgicos entre todas as várias principais tecnologias. Assim, o microprocessador possibilitou o microcomputador; os avanços em telecomunicações, mencionados anteriormente, possibilitaram que os microcomputadores funcionassem em rede, aumentando assim seu poder e flexibilidade. As aplicações dessas tecnologias na indústria eletrônica ampliaram o potencial das novas tecnologias de fabricação e *design* na produção de semicondutores. Novos softwares foram estimulados pelo crescente mercado de microcomputadores que, por sua vez, explodiu com

base nas novas aplicações e tecnologias de fácil utilização, nascidas das mentes dos inventores de *software*. E assim por diante.

O forte impulso tecnológico dos anos 60 promovido pelo setor militar preparou a tecnologia norte-americana para o grande avanço. Mas a invenção do microprocessador por Ted Hoff, enquanto tentava atender ao pedido de uma empresa japonesa fabricante de calculadoras de mão em 1971, resultou dos conhecimentos e habilidades acumulados na Intel, em uma estreita interação com o meio de inovação criado desde 1950, no Vale do Silício. Em outras palavras, a primeira Revolução em Tecnologia da Informação concentrou-se nos Estados Unidos e, até certo ponto, na Califórnia nos anos 70, baseando-se nos progressos alcançados nas duas décadas anteriores e sob a influência de vários fatores institucionais, econômicos e culturais. Mas não se originou de qualquer necessidade preestabelecida. Foi mais o resultado de indução tecnológica que de determinação social. Todavia, uma vez que começou a existir como sistema com base na concentração descrita, o desenvolvimento dessa revolução, suas aplicações e, em última análise, seu conteúdo foram decisivamente delineados pelo contexto histórico em que se expandiu. Na verdade, na década de 80, o capitalismo (especificamente: as principais empresas e governos dos países do G-7) passou por um processo substancial de reestruturação organizacional e econômica no qual a nova tecnologia da informação exerceu um papel fundamental e foi decisivamente moldada pelo papel que desempenhou. Por exemplo: o movimento empresarial que conduziu à desregulamentação e liberalização da década de 80 foi decisivo na reorganização e crescimento das telecomunicações, sobretudo depois do desmembramento da ATT, em 1984. Por sua vez, a disponibilidade de novas redes de telecomunicação e de sistemas de informação preparou o terreno para a integração global dos mercados financeiros e a articulação segmentada da produção e do comércio mundial, como analisarei no próximo capítulo.

Assim, até certo ponto, a disponibilidade de novas tecnologias constituídas como um sistema na década de 70 foi uma base fundamental para o processo de reestruturação socioeconômica dos anos 80. E a utilização dessas tecnologias na década de 80 condicionou, em grande parte, seus usos e trajetórias na década de 90. O surgimento da sociedade em rede, que tentarei analisar nos capítulos seguintes deste volume, não pode ser entendido sem a interação entre estas duas tendências relativamente autônomas: o desenvolvimento de novas tecnologias da informação e a tentativa da antiga sociedade de reaparelhar-se com o uso do poder da tecnologia para servir a tecnologia do poder. Contudo, o resultado histórico dessa estratégia parcialmente consciente é muito indeterminado, visto que a interação da tecnologia e da sociedade depende de relações fortuitas entre um número excessivo de variáveis parcialmente independentes. Sem necessidade de render-se ao relativismo histórico, pode-se dizer que a Revolução da

Tecnologia da Informação dependeu cultural, histórica e espacialmente de um conjunto de circunstâncias muito específicas cujas características determinaram sua futura evolução.

Modelos, atores e locais da Revolução da Tecnologia da Informação

Se a primeira Revolução Industrial foi britânica, a primeira Revolução da Tecnologia da Informação foi norte-americana, com tendência californiana. Nos dois casos, cientistas e industriais de outros países tiveram um papel muito importante tanto na descoberta como na difusão das novas tecnologias. A França e a Alemanha foram fontes importantes de talentos e aplicações da Revolução Industrial. As descobertas científicas originadas na Inglaterra, França, Alemanha e Itália constituíram a base das novas tecnologias de eletrônica e biologia. A capacidade das empresas japonesas foi decisiva para a melhoria do processo de fabricação com base em eletrônica e para a penetração das tecnologias da informação na vida quotidiana mundial mediante uma série de produtos inovadores como videocassetes, fax, *videogames* e *bips*.⁵³ Na verdade, na década de 80, as empresas japonesas atingiram o domínio da produção de semicondutores no mercado internacional, embora, em meados da década de 90, as empresas norte-americanas já tivessem reassumido a liderança competitiva. O setor como um todo evoluiu rumo a interpenetração, alianças estratégicas e formação de redes entre empresas de diferentes países, como vou analisar no capítulo três. Isso tornou a distinção por nacionalidade um pouco menos importante. As empresas, instituições e inovadores norte-americanos não só participaram do início da revolução da década de 70 como também continuaram a representar um papel de liderança na sua expansão, posição que provavelmente se sustentará ao entrarmos no século XXI. Mas, sem dúvida, testemunharemos uma presença cada vez maior de empresas japonesas, chinesas, indianas e coreanas, assim como contribuições significativas da Europa em biotecnologia e telecomunicações.

Para entender as raízes sociais da Revolução da Tecnologia da Informação nos Estados Unidos, além dos mitos que a cercam, farei um breve relato do processo de formação de sua fonte tecnológica mais notável: o Vale do Silício. Como já mencionei, foi no Vale do Silício que o circuito integrado, o microprocessador e o microcomputador, entre outras tecnologias importantes, foram desenvolvidos, e é lá que o coração das inovações eletrônicas bate há quarenta anos, mantido por aproximadamente 250 mil trabalhadores do setor de tecnologia da informação.⁵⁴ Além disso, toda a área da Baía de São Francisco (inclusive

outros centros de inovação como Berkeley, Emeryville, condado Marin e a própria São Francisco) também participou do início da engenharia genética e é, na década de 90, um dos principais centros mundiais de *software* avançado, engenharia genética e projetos de processamento de dados em multimídia.

O Vale do Silício (condado de Santa Clara, 48 km ao sul de São Francisco, entre Stanford e San Jose) foi transformado em meio de inovação pela convergência de vários fatores, atuando no mesmo local: novos conhecimentos tecnológicos; um grande grupo de engenheiros e cientistas talentosos das principais universidades da área; fundos generosos vindos de um mercado garantido e do Departamento de Defesa; e, nos primeiros estágios, liderança institucional da Universidade de Stanford. Na verdade, a localização improvável da indústria eletrônica em uma charmosa área semi-rural, ao norte da Califórnia, pode ser atribuída à instalação do Parque Industrial de Stanford pelo visionário diretor da Faculdade de Engenharia da Universidade de Stanford, Frederick Terman, em 1951. Ele, pessoalmente, patrocinara dois de seus pós-graduandos, William Hewlett e David Packard, para a criação de uma empresa de eletrônicos em 1938. A Segunda Guerra trouxe prosperidade à Hewlett-Packard e a outras empresas iniciantes no ramo da eletrônica. Portanto, elas foram os primeiros inquilinos de uma nova e privilegiada localidade onde somente as empresas que a Stanford julgasse inovadoras poderiam desfrutar do benefício de um aluguel irreal. Como o Parque logo ficou lotado, novas empresas de eletrônica começaram a se estabelecer ao longo da rodovia 101, na direção de San Jose.

A iniciativa decisiva foi a contratação de William Shockley, o inventor do transistor, pela Universidade de Stanford, em 1956. Foi um desenvolvimento fortuito, embora mostre a inabilidade histórica das empresas do setor de eletrônica em se apossarem da revolucionária tecnologia da microeletrônica. Shockley havia solicitado o patrocínio de grandes empresas da costa leste, como a RCA e a Raytheon, para desenvolver a produção industrial de sua descoberta. Como não conseguiu, aceitou a oferta da Stanford, principalmente porque sua mãe morava em Palo Alto, e decidiu criar a própria empresa ali, a Shockley Transistors, com o apoio da Beckman Instruments. Ele recrutou oito engenheiros jovens e brilhantes, em particular da Bell Laboratories, atraídos pela possibilidade de trabalhar com Shockley. Um deles, embora não fosse exatamente da Bell, era Bob Noyce. Em pouco tempo, esses profissionais ficaram desapontados. Enquanto aprendiam os fundamentos da microeletrônica de ponta com Shockley, os engenheiros também ficavam desgostosos com seu autoritarismo e teimosia que levaram a empresa a um beco sem saída. O que mais queriam, contra a decisão de Shockley, era trabalhar com silício, a rota mais promissora para a maior integração de transistores. Assim, depois de apenas um ano, eles deixaram Shockley (cuja empresa fracassou) e criaram (com a ajuda da Fairchild

Cameras) a Fairchild Semiconductors, onde o processo plano e o circuito integrado foram inventados, nos dois anos seguintes. Assim que descobriram o potencial tecnológico e comercial de seus conhecimentos, cada um desses brilhantes engenheiros deixou a Fairchild para montar a própria empresa. E seus recrutas fizeram o mesmo após um certo tempo. Dessa forma, metade das 85 maiores empresas norte-americanas de semicondutores, inclusive as grandes fabricantes atuais como a Intel, Advanced Micro Devices, National Semiconductors, Signetics e assim por diante, é oriunda dessa cisão parcial da Fairchild.

Foi essa transferência de tecnologia de Shockley para a Fairchild e, depois, para uma rede de empresas criadas a partir dela que constituiu a fonte inicial de inovação, servindo de base para o Vale do Silício e a revolução da microeletrônica. De fato, em meados da década de 50, os principais centros da eletrônica ainda não eram Stanford e Berkeley e sim o MIT, e isso refletiu na localização original da indústria eletrônica na Nova Inglaterra. Porém, assim que os conhecimentos se instalaram no Vale do Silício, o dinamismo de sua estrutura industrial e a contínua criação de novas empresas transformaram esse lugar no centro mundial da microeletrônica, no início da década de 70. Anna Saxenian comparou o desenvolvimento dos complexos de eletrônica em duas áreas (Route 128 de Boston e Vale do Silício) e concluiu que o papel decisivo foi desempenhado pela organização social e industrial de empresas, promovendo ou impedindo a inovação.⁵⁵ Assim, enquanto empresas grandes e bem-estabelecidas do leste eram rígidas (e arrogantes) demais para reequipar-se constantemente com base em novas fronteiras tecnológicas, o Vale do Silício continuou produzindo muitas novas empresas e praticando troca de experiência e difusão de conhecimentos por intermédio da rotatividade de profissionais e de cisões parciais. Conversas noturnas em bares e restaurantes, como o Walker's Wagon Wheel Bar e o Grill in the Mountain View, fizeram mais pela difusão da inovação tecnológica do que a maioria dos seminários de Stanford.

Processo semelhante ocorreu no desenvolvimento dos microcomputadores, que introduziram uma linha divisória histórica no uso da tecnologia da informação.⁵⁶ Em meados dos anos 70, o Vale do Silício havia atraído dezenas de milhares de mentes jovens e brilhantes de todas as partes do mundo, marchando para a agitação da nova meca tecnológica em busca do talismã da invenção e da fortuna. Reuniam-se em clubes para a troca de idéias e informações sobre os avanços mais recentes. Um desses pontos de encontro era o Home Brew Computer Club, cujos jovens visionários (inclusive Bill Gates, Steve Jobs e Steve Wozniak) seguiriam adiante para criar aproximadamente 22 empresas nos anos seguintes, inclusive a Microsoft, Apple, Comenco e North Star. Foi no clube, lendo um artigo da *Popular Electronics* sobre a máquina Altair, de Ed Roberts, que Wozniak se inspirou para projetar o microcomputador Apple I, na sua gara-

gem em Menlo Park, no verão de 1976. Steve Jobs percebeu o potencial e, juntos, eles fundaram a Apple, com um empréstimo no valor de US\$ 91 mil de um executivo da Intel, Mike Markkula, que entrou como sócio. Aproximadamente na mesma época, Bill Gates fundou a Microsoft para fornecer sistemas operacionais a microcomputadores, embora tenha estabelecido sua empresa em Seattle, em 1978, para beneficiar-se dos contatos sociais de sua família.

Uma história muito parecida poderia ser contada a respeito do desenvolvimento da engenharia genética, com cientistas destacados das universidades de Stanford, São Francisco e Berkeley migrando para empresas localizadas, a princípio, na área da Baía de São Francisco. Também passariam por processos frequentes de cisão parcial, mantendo vínculos com cada *alma mater*.⁵⁷ Aconteceram processos muito semelhantes em Boston/Cambridge ao redor de Harvard-MIT, no Triângulo da Pesquisa em torno das universidades de Duke e da Carolina do Norte e, ainda mais importante, em Maryland em torno dos principais hospitais, dos institutos nacionais de pesquisa sobre saúde e da Universidade John Hopkins.

A lição fundamental dessas histórias interessantes tem dois aspectos: o desenvolvimento da Revolução da Tecnologia da Informação contribuiu para a formação dos meios de inovação onde as descobertas e as aplicações interagem e eram testadas em um repetido processo de tentativa e erro: aprendia-se fazendo. Esses ambientes exigiam (e na década de 90 ainda exigem, apesar da atuação *on-line*) concentração espacial de centros de pesquisa, instituições de educação superior, empresas de tecnologia avançada, uma rede auxiliar de fornecedores, provendo bens e serviços e redes de empresas com capital de risco para financiar novos empreendimentos. Uma vez que um meio esteja consolidado, como o Vale do Silício na década de 70, ele tende a gerar sua própria dinâmica e a atrair conhecimentos, investimentos e talentos de todas as partes do mundo. Na verdade, nos anos 90, o Vale do Silício está testemunhando a proliferação de empresas japonesas, taiwanesas, coreanas, indianas e européias para as quais uma presença ativa no Vale do Silício é a conexão mais produtiva às fontes de novas tecnologias e informações comerciais valiosas. Além disso, devido ao seu posicionamento nas redes de inovação tecnológica, a área da Baía de São Francisco tem sido capaz de aderir a cada novo desenvolvimento. Por exemplo, o surgimento da multimídia em meados da década de 90 criou conexões comerciais e tecnológicas entre as capacidades de projetos para computadores das empresas do Vale do Silício e os estúdios de produção de imagens em Hollywood, logo apelidados de indústria “Siliwood”. E em um canto obscuro de São Francisco, artistas, projetistas gráficos e “desenvolvedores” de *software* reuniam-se na chamada “Sarjeta da Multimídia” que ameaça inundar nossos lares com imagens criadas em suas mentes exaltadas.

Será que esse padrão social, cultural e espacial de inovação pode ser entendido para o mundo inteiro? Para responder essa pergunta, em 1988, meu colega Peter Hall e eu fizemos uma viagem de vários anos ao redor do mundo para visitar e analisar alguns dos principais centros tecnológicos/científicos do planeta, da Califórnia ao Japão, da Nova Inglaterra à Velha Inglaterra, de Paris-Sud a Hsinchu-Tailândia, de Sofia-Antipolis a Akademgorodok, de Szelenograd a Daeduck, de Munique a Seul. Nossas conclusões⁵⁸ confirmam o papel decisivo desempenhado pelos meios de inovação no desenvolvimento da Revolução da Tecnologia da Informação: concentração de conhecimentos científicos/tecnológicos, instituições, empresas e mão-de-obra qualificada são as forjas da inovação da Era da Informação. Porém, esses meios não precisam reproduzir o padrão cultural, espacial, institucional e industrial do Vale do Silício ou de outros centros norte-americanos de inovação tecnológica, como o Sul da Califórnia, Boston, Seattle ou Austin.

Nossa descoberta mais surpreendente é que as maiores áreas metropolitanas antigas do mundo industrializado são os principais centros de inovação e produção de tecnologia da informação, fora dos EUA. Na Europa, Paris-Sud constitui a maior concentração de produção de alta tecnologia e pesquisa, e o corredor M4 de Londres ainda é a localidade mais preeminente em eletrônica da Grã-Bretanha, em continuidade histórica com as fábricas de materiais bélicos a serviço da Coroa desde o século XIX. É claro que a conquista da superioridade de Munique sobre Berlim deveu-se à derrota alemã na Segunda Guerra Mundial, com a Siemens mudando-se deliberadamente de Berlim para a Bavária, antecipando a ocupação norte-americana daquela área. Tóquio-Yokohama continua a ser o centro do setor japonês de tecnologia da informação, apesar da descentralização de filiais operadas no programa Technopolis. Moscou-Szelenograd e São Petersburgo foram e são os centros de conhecimentos e da produção tecnológica soviética e russa, após o fracasso do sonho siberiano de Khrushchev. Hsinchu é, na verdade, um satélite de Taipei; Daeduck nunca teve um papel significativo se comparado a Seul-Inchon, apesar de localizar-se na província onde nasceu o ditador Park; e Pequim e Xangai são e serão o centro do desenvolvimento tecnológico chinês. Pode-se dizer a mesma coisa da Cidade do México, no México, de São Paulo-Campinas, no Brasil, e de Buenos Aires, na Argentina. Nesse sentido, o enfraquecimento tecnológico de antigas metrópoles norte-americanas (Nova York-Nova Jersey, apesar de seu papel proeminente até a década de 60; Chicago; Detroit; Filadélfia) é exceção em termos internacionais, vinculado à excepcionalidade norte-americana resultante de seu espírito desbravador e interminável escapismo das contradições de cidades construídas e sociedades constituídas. Por outro lado, seria intrigante explorar a relação entre essa excepcionalidade e a inquestionável superioridade norte-americana em uma

revolução tecnológica caracterizada pela necessidade de rompimento de parâmetros mentais para estimular a criatividade.

Porém, o caráter metropolitano da maioria dos locais da Revolução da Tecnologia da Informação em todo o mundo parece indicar que o ingrediente crucial em seu desenvolvimento não é a novidade do cenário cultural e institucional, mas sua capacidade de gerar sinergia com base em conhecimentos e informação, diretamente relacionados à produção industrial e aplicações comerciais. A força cultural e empresarial da metrópole (antiga ou nova — afinal de contas, a área da Baía de São Francisco é uma metrópole de aproximadamente seis milhões de habitantes) faz dela o ambiente privilegiado dessa nova revolução tecnológica, desmistificando o conceito de inovação sem localidade geográfica na era da informação.

De forma similar, o modelo de empreendimentos da Revolução da Tecnologia da Informação parece estar ofuscado pela ideologia. Os modelos de inovação tecnológica japonês, europeu e chinês não são apenas muito diferentes da experiência norte-americana como também essa importante experiência é frequentemente mal entendida. Geralmente se reconhece que o papel do Estado é decisivo no Japão, onde grandes empresas foram orientadas e apoiadas pelo MITI (Ministério do Comércio Internacional e Indústria) durante muito tempo, chegando a se estender por boa parte da década de 80, mediante uma série de audaciosos programas tecnológicos, em que alguns fracassaram (por exemplo, o Computador de Quinta Geração). Porém a maior parte desses programas ajudaram o Japão a transformar-se em uma superpotência tecnológica em apenas cerca de vinte anos, conforme foi documentado por Michael Borrus.⁵⁹ Na experiência japonesa pode-se notar o papel muito modesto das universidades e nenhuma empresa iniciante e inovadora. O planejamento estratégico do MITI e a interface constante entre as *keiretsu* e o governo são elementos primordiais na explicação da façanha do Japão, que dominou a Europa e alcançou os EUA em vários segmentos das indústrias de tecnologia da informação. Uma história semelhante pode ser contada sobre a Coreia do Sul e Taiwan, apesar de, neste último caso, as multinacionais terem desempenhado um papel fundamental. As sólidas bases tecnológicas da China e da Índia estão diretamente relacionadas a seus complexos industriais militares, com patrocínio e orientação do Estado.

Também foi assim com a maioria das indústrias eletrônicas britânicas e francesas, centralizadas em telecomunicações e na indústria bélica até a década de 80.⁶⁰ No último quartel do século XX, a União Européia continuou com uma série de programas tecnológicos para acompanhar a concorrência internacional, apoiando sistematicamente os “campeões nacionais”, mesmo com prejuízos ou resultados ínfimos. Na verdade, a única maneira de as empresas de tecnologia da informação européias sobreviverem no campo tecnológico foi o uso de seus

trocínio do governo.⁶⁶ Portanto, foi o Estado, e não o empreendedor de inovações em garagens, que iniciou a Revolução da Tecnologia da Informação tanto nos Estados Unidos como em todo o mundo.⁶⁷

Porém, sem esses empresários inovadores, como os que deram início ao Vale do Silício ou aos clones de PCs em Taiwan, a Revolução da Tecnologia da Informação teria adquirido características muito diferentes e é improvável que tivesse evoluído para a forma de dispositivos tecnológicos flexíveis e descentralizados que se estão difundindo por todas as esferas da atividade humana. Sem dúvida, desde o início dos anos 70, a inovação tecnológica tem sido essencialmente conduzida pelo mercado:⁶⁸ e os inovadores, enquanto ainda muitas vezes empregados por grandes empresas, em particular no Japão e na Europa, continuam a montar seus negócios nos Estados Unidos e, cada vez mais, em todo o mundo. Com isso, há um aumento da velocidade da inovação tecnológica e uma difusão mais rápida dessa inovação à medida que mentes talentosas, impulsionadas por paixão e ambição, vão fazendo pesquisas constantes no setor em busca de nichos de mercado em produtos e processos. Na realidade, é mediante essa interface entre os programas de macropesquisa e grandes mercados desenvolvidos pelos governos, por um lado, e a inovação descentralizada estimulada por uma cultura de criatividade tecnológica e por modelos de sucessos pessoais rápidos, por outro, que as novas tecnologias da informação prosperam. No processo, essas tecnologias agruparam-se em torno de redes de empresas, organizações e instituições para formar um novo paradigma sociotécnico.

O paradigma da tecnologia da informação

Nas palavras de Christopher Freeman :

Um paradigma econômico e tecnológico é um agrupamento de inovações técnicas, organizacionais e administrativas inter-relacionadas cujas vantagens devem ser descobertas não apenas em uma nova gama de produtos e sistemas, mas também e sobretudo na dinâmica da estrutura dos custos relativos de todos os possíveis insumos para a produção. *Em cada novo paradigma, um insumo específico ou conjunto de insumos pode ser descrito como o "fator-chave" desse paradigma caracterizado pela queda dos custos relativos e pela disponibilidade universal.* A mudança contemporânea de paradigma pode ser vista como uma transferência de uma tecnologia baseada principalmente em insumos baratos de energia para uma *outra que se baseia predominantemente em insumos baratos de informação derivados do avanço da tecnologia em microeletrônica e telecomunicações.*⁶⁹