

Manuel Castells

A SOCIEDADE EM REDE
Volume I

Tradução: Roneide Venancio Majer
com a colaboração de Klaus Brandini Gerhardt



PAZ E TERRA

A Revolução da Tecnologia da Informação



Que revolução?

O “gradualismo”, escreveu o paleontólogo Stephen J. Gould, “o conceito de que toda mudança deve ser suave, lenta e firme, nunca foi lido nas rochas. Representava uma tendência cultural comum, em parte uma resposta do liberalismo do século XIX a um mundo em revolução. Porém, ele continua a colorir a nossa leitura supostamente objetiva da história da vida... A história da vida, como a vejo, é uma série de situações estáveis, pontuadas em intervalos raros por eventos importantes que ocorrem com grande rapidez e ajudam a estabelecer a próxima era estável”.¹ Meu ponto de partida, e não estou sozinho nesta conjectura,² é que no final do século XX estamos vivendo um desses raros intervalos na história. Um intervalo cuja característica é a transformação de nossa “cultura material”³ pelos mecanismos de um novo paradigma tecnológico que se organiza em torno da tecnologia da informação.

Como tecnologia, entendo, em linha direta com Harvey Brooks e Daniel Bell, “o uso de conhecimentos científicos para especificar as vias de se fazerem as coisas de uma maneira *reproduzível*”.⁴ Entre as tecnologias da informação, incluo, como todos, o *conjunto convergente* de tecnologias em microeletrônica, computação (*software* e *hardware*), telecomunicações/radiodifusão, e optoeletrônica.⁵ Além disso, diferentemente de alguns analistas, também incluo nos domínios da tecnologia da informação a engenharia genética e seu crescente conjunto de desenvolvimentos e aplicações.⁶ Em primeiro lugar, isso se deve ao fato de a engenharia genética concentrar-se na decodificação, manipulação e consequente reprogramação dos códigos de informação da matéria viva. E também ao fato de, nos anos 90, a biologia, a eletrônica e a informática parecerem estar convergindo e interagindo em suas aplicações e materiais e, mais fundamentalmente, na abordagem conceitual, tópico merecedor de maior atenção ainda neste capítulo.⁷ Ao redor deste núcleo de tecnologias da informação, definido em um sentido mais amplo, uma constelação de grandes avanços tecnológicos vem ocor-

rendo, nas duas últimas décadas do século XX, no que se refere a materiais avançados, fontes de energia, aplicações na medicina, técnicas de produção (já existentes ou potenciais, tais como a nanotecnologia) e tecnologia de transportes, entre outros.⁸ Além disso, o processo atual de transformação tecnológica expande-se exponencialmente em razão de sua capacidade de criar uma interface entre campos tecnológicos mediante uma linguagem digital comum na qual a informação é gerada, armazenada, recuperada, processada e transmitida. Vivemos em um mundo que, segundo Nicholas Negroponte, se tornou digital.⁹

O exagero profético e a manipulação ideológica que caracteriza a maior parte dos discursos sobre a revolução da tecnologia da informação não deveria levar-nos a cometer o erro de subestimar sua importância verdadeiramente fundamental. Esse é, como este livro tentará mostrar, no mínimo, um evento histórico da mesma importância da Revolução Industrial do século XVIII, induzindo um padrão de descontinuidade nas bases materiais da economia, sociedade e cultura. O registro histórico das revoluções tecnológicas, conforme foi compilado por Melvin Kranzberg e Carroll Pursell,¹⁰ mostra que todas são caracterizadas por sua *penetrabilidade*, ou seja, por sua penetração em todos os domínios da atividade humana, não como fonte exógena de impacto, mas como o tecido em que essa atividade é exercida. Em outras palavras, são voltadas para o processo, além de induzir novos produtos. Por outro lado, diferentemente de qualquer outra revolução, o *cerne* da transformação que estamos vivendo na revolução atual refere-se às *tecnologias da informação, processamento e comunicação*.¹¹ A tecnologia da informação é para esta revolução o que as novas fontes de energia foram para as Revoluções Industriais sucessivas, do motor a vapor à eletricidade, aos combustíveis fósseis e até mesmo à energia nuclear, visto que a geração e distribuição de energia foi o elemento principal na base da sociedade industrial. Porém, essa afirmação sobre o papel preeminente da tecnologia da informação muitas vezes é confundida com a caracterização da revolução atual como sendo essencialmente dependente de novos conhecimentos e informação. Isso é verdade no caso do atual processo de transformação tecnológica, mas foi assim também com as revoluções tecnológicas anteriores, conforme mostram os principais historiadores de tecnologia, como Melvin Kranzberg e Joel Mokyr.¹² A primeira Revolução Industrial, apesar de não se basear em ciência, apoiava-se em um amplo uso de informações, aplicando e desenvolvendo os conhecimentos preexistentes. E a segunda Revolução Industrial, depois de 1850, foi caracterizada pelo papel decisivo da ciência ao promover a inovação. De fato, laboratórios de P&D apareceram pela primeira vez na indústria química alemã nas últimas décadas do século XIX.¹³

O que caracteriza a atual revolução tecnológica não é a centralidade de conhecimentos e informação, mas a aplicação desses conhecimentos e dessa infor-

mação para a geração de conhecimentos e de dispositivos de processamento/comunicação da informação, em um ciclo de realimentação cumulativo entre a inovação e seu uso.¹⁴ Uma ilustração pode esclarecer esta análise. Os usos das novas tecnologias de telecomunicações nas duas últimas décadas passaram por três estágios distintos: a automação de tarefas, as experiências de usos e a reconstrução das aplicações.¹⁵ Nos dois primeiros estágios, o progresso da inovação tecnológica baseou-se em aprender *usando*, de acordo com a terminologia de Resenberg.¹⁶ No terceiro estágio, os usuários aprenderam a tecnologia *fazendo*, o que acabou resultando na reconfiguração das redes e na descoberta de novas aplicações. O ciclo de realimentação entre a introdução de uma nova tecnologia, seus usos e seus desenvolvimentos em novos domínios torna-se muito mais rápido no novo paradigma tecnológico. Conseqüentemente, a difusão da tecnologia amplifica seu poder de forma infinita, à medida que os usuários apropriam-se dela e a redefinem. As novas tecnologias da informação não são simplesmente ferramentas a serem aplicadas, mas processos a serem desenvolvidos. Usuários e criadores podem tornar-se a mesma coisa. Dessa forma, os usuários podem assumir o controle da tecnologia como no caso da Internet (ver capítulo 5). Segue-se uma relação muito próxima entre os processos sociais de criação e manipulação de símbolos (a cultura da sociedade) e a capacidade de produzir e distribuir bens e serviços (as forças produtivas). Pela primeira vez na história, a mente humana é uma força direta de produção, não apenas um elemento decisivo no sistema produtivo.

Assim, computadores, sistemas de comunicação, decodificação e programação genética são todos amplificadores e extensões da mente humana. O que pensamos e como pensamos é expresso em bens, serviços, produção material e intelectual, sejam alimentos, motradia, sistemas de transporte e comunicação, misséis, saúde, educação ou imagens. A integração crescente entre mentes e máquinas, inclusive a máquina de DNA, está anulando o que Bruce Mazlish chama de a "quarta descontinuidade"¹⁷ (aquela entre seres humanos e máquinas), alterando fundamentalmente o modo pelo qual nascemos, vivemos, aprendemos, trabalhamos, produzimos, consumimos, sonhamos, lutamos ou morremos. Com certeza, os contextos culturais/institucionais e a ação social intencional interagem de forma decisiva com o novo sistema tecnológico, mas esse sistema tem sua própria lógica embutida, caracterizada pela capacidade de transformar todas as informações em um sistema comum de informação, processando-as em velocidade e capacidade cada vez maiores e com custo cada vez mais reduzido em uma rede de recuperação e distribuição potencialmente ubíqua.

Há um aspecto adicional que caracteriza a revolução da tecnologia da informação quando comparada a seus antecessores históricos. Mokyr¹⁸ demonstrou que as revoluções tecnológicas ocorreram apenas em algumas sociedades e foram difundidas em uma área geográfica relativamente limitada, muitas vezes



ocupando espaço e tempo isolados em comparação a outras regiões do planeta. Assim, embora os europeus tomassem emprestadas algumas descobertas feitas na China, por muitos séculos a China e o Japão adotaram pouca tecnologia europeia, restrita principalmente a aplicações militares. O contato entre civilizações de níveis tecnológicos diferentes frequentemente provocava a destruição da menos desenvolvida ou daquelas que quase não aplicavam seus conhecimentos à tecnologia bélica, como no caso das civilizações americanas, aniquiladas pelos conquistadores espanhóis, às vezes mediante guerras biológicas eventuais.¹⁹ De sua origem na Europa Ocidental, a Revolução Industrial estendeu-se para a maior parte do globo durante os dois séculos seguintes. Mas sua expansão foi muito seletiva e seu ritmo bastante lento pelos padrões atuais de difusão tecnológica. Na verdade, até na Inglaterra em meados do século XIX, os setores que representavam a maioria da força de trabalho e, pelo menos, metade do PNB não foram afetados pelas novas tecnologias industriais.²⁰ Além disso, seu alcance planetário nas décadas seguintes teve, com bastante frequência, um caráter de dominação colonial, seja na Índia sob o Império Britânico, na América Latina sob a dependência comercial/industrial da Inglaterra e dos EUA, no desmembramento da África mediante o tratado de Berlim, ou na abertura do Japão e da China para o comércio exterior pelas armas dos navios ocidentais. Ao contrário, as novas tecnologias da informação difundiram-se pelo globo com a velocidade da luz em menos de duas décadas, entre meados dos anos 70 e 90, por meio de uma lógica que, a meu ver, é a característica dessa revolução tecnológica: a aplicação imediata no próprio desenvolvimento da tecnologia gerada, conectando o mundo através da tecnologia da informação.²¹ Na verdade, há grandes áreas do mundo e consideráveis segmentos da população que estão desconectados do novo sistema tecnológico: essa é precisamente uma das discussões centrais deste livro. Além disso, a velocidade da difusão tecnológica é seletiva tanto social quanto funcionalmente. O fato de países e regiões apresentarem diferenças quanto ao momento oportuno de dotarem seu povo do acesso ao poder da tecnologia representa fonte crucial de desigualdade em nossa sociedade. As áreas desconectadas são cultural e espacialmente descontínuas: estão nas cidades do interior dos EUA ou nos subúrbios da França, assim como nas favelas africanas e nas áreas rurais carentes chinesas e indianas. Mas atividades, grupos sociais e territórios dominantes por todo o globo estão conectados, em meados dos anos 90, em um novo sistema tecnológico que, como tal, começou a tomar forma somente na década de 70.

Como ocorreu essa transformação fundamental em um período que representa apenas um instante histórico? Por que essa transformação está se difundindo por todo o mundo em ritmo tão intenso, ainda que irregular? Por que é uma "revolução"? Como nossa experiência sobre o novo está baseada em passado

recente, penso que as respostas a essas questões básicas podem ser encontradas com a ajuda de uma rápida revisão histórica da Revolução Industrial, ainda presente em nossas instituições e, portanto, em nossa mente.

Lições da Revolução Industrial

Segundo os historiadores, houve pelo menos duas Revoluções Industriais: a primeira começou pouco antes dos últimos trinta anos do século XVIII, caracterizada por novas tecnologias como a máquina a vapor, a fiadeira, o processo Cort em metalurgia e, de forma mais geral, a substituição das ferramentas manuais pelas máquinas; a segunda, aproximadamente 100 anos depois, destacou-se pelo desenvolvimento da eletricidade, do motor de combustão interna, de produtos químicos com base científica, da fundição eficiente de aço e pelo início das tecnologias de comunicação, com a difusão do telégrafo e a invenção do telefone. Entre as duas há continuidades fundamentais, assim como algumas diferenças cruciais. A principal é a importância decisiva de conhecimentos científicos para sustentar e guiar o desenvolvimento tecnológico após 1850.²² É preciso oferecer subsídios preciosos para se entender a lógica das revoluções tecnológicas.

Primeiramente, em ambos os casos, testemunhamos o que Mokyr descreve como um período de "transformação tecnológica em aceleração e sem precedentes"²³ em comparação com os padrões históricos. Um conjunto de macroinvenções preparou o terreno para o surgimento de microinvenções nos campos da agropecuária, indústria e comunicações. A descontinuidade histórica fundamental irreversível foi introduzida na base material da espécie humana em um processo dependente do percurso, cuja lógica interna e sequencial foi pesquisada por Paul David e teorizada por Brian Arthur.²⁴ Foram, de fato, "revoluções" no sentido de que um grande aumento repentino e inesperado de aplicações tecnológicas transformou os processos de produção e distribuição, criou uma enxurrada de novos produtos e mudou de maneira decisiva a localização das riquezas e do poder no mundo, que, de repente, ficaram ao alcance dos países e elites capazes de comandar o novo sistema tecnológico. O lado escuro dessa aventura tecnológica é que ela estava irremediavelmente ligada a ambições imperialistas e conflitos interimperialistas.

Todavia, essa é precisamente a confirmação do caráter revolucionário das novas tecnologias industriais. A ascensão histórica do chamado Ocidente, limitando-se de fato à Inglaterra e a alguns países da Europa Ocidental, bem como à América do Norte e à Austrália, está fundamentalmente associada à superio-

ridade tecnológica alcançada durante as duas Revoluções Industriais.²⁵ Nada na história universal cultural, científica, política ou militar antes da Revolução Industrial poderia explicar a indiscutível supremacia (anglo-saxônica/alemã com um toque francês) do "Ocidente" entre 1750 e 1950. A China mostrou-se uma cultura muito superior durante a maior parte da história pré-renaresentista; a civilização muçulmana (tomando a liberdade de usar esse termo) dominou a maior parte do Mediterrâneo e exerceu grande influência na África e na Ásia durante toda a Idade Moderna; no geral, a África e a Ásia mantiveram-se organizadas em torno de centros políticos e culturais autônomos; a Rússia reinou com extremo isolamento em uma vasta área da Europa Oriental e Ásia; e o Império Espanhol, a retardatária cultura europeia da Revolução Industrial, foi a maior potência mundial por mais de dois séculos depois de 1492. A tecnologia, expressando condições sociais específicas, introduziu nova trajetória histórica na segunda metade do século XVIII.

Essa trajetória originou-se na Inglaterra, apesar de suas raízes intelectuais poderem ser encontradas por toda a Europa e no espírito renascentista das descobertas.²⁶ Na verdade, alguns historiadores insistem que os conhecimentos científicos necessários à primeira Revolução Industrial já estavam disponíveis cem anos antes, prontos para ser usados sob condições sociais maduras; ou, como afirmam outros, aguardando a engenhosidade técnica de inventores autodidatas, como Newcomen, Watts, Crompton ou Arkwright, capazes de transformar a tecnologia disponível, combinada com a experiência artesanal, em novas e decisivas tecnologias industriais.²⁷ Porém, a segunda Revolução Industrial, mais dependente de novos conhecimentos científicos, mudou seu centro de gravidade para os EUA e a Alemanha, onde ocorreu a maior parte dos desenvolvimentos em produtos químicos, eletricidade e telefonia.²⁸ Historiadores têm feito uma análise meticulosa das condições sociais associadas às mudanças geográficas das inovações técnicas, muitas vezes enfocando as características dos sistemas educacionais e científicos ou a institucionalização dos direitos de propriedade. Porém, a explicação contextual para a trajetória irregular da inovação tecnológica parece ser muito ampla e aberta a interpretações alternativas. Hall e Peston, ao analisarem a mudança geográfica da inovação tecnológica entre 1846 e 2003, mostram a importância de fontes locais de inovação, das quais Berlim, Nova York e Boston são coroadas como "centros mundiais de alta tecnologia industrial" entre 1880 e 1914, enquanto "Londres no mesmo período era uma sombra pálida de Berlim".²⁹ O motivo disso encontra-se na base territorial para a interação dos sistemas de descobertas e aplicações tecnológicas, isto é, nas prioridades sinérgicas do que é conhecido na literatura como "meios de inovação".³⁰

Na verdade, as descobertas tecnológicas ocorreram em agrupamentos, interagindo entre si num processo de retornos cada vez maiores. Sejam quais fo-

rem as condições que determinaram esses agrupamentos, a principal lição que permanece é que a inovação tecnológica não é uma ocorrência isolada.³¹ Ela reflete um determinado estágio de conhecimento; um ambiente institucional e industrial específico; uma certa disponibilidade de talentos para definir um problema técnico e resolvê-lo; uma mentalidade econômica para dar a essa aplicação uma boa relação custo/benefício; e uma rede de fabricantes e usuários capazes de comunicar suas experiências de modo cumulativo e aprender usando e fazendo. As elites aprendem fazendo e com isso modificam as aplicações da tecnologia, enquanto a maior parte das pessoas aprende usando e, assim, permanece dentro dos limites do pacote da tecnologia. A interatividade dos sistemas de inovação tecnológica e sua dependência de certos "ambientes" propícios para trocas de idéias, problemas e soluções são aspectos importantíssimos que podem ser entendidos da experiência de revoluções passadas para a atual.³²

Os efeitos positivos, a longo prazo, das novas tecnologias industriais no crescimento econômico, na qualidade de vida e na conquista humana da Natureza hostil (refletidos no aumento impressionante da expectativa de vida, que não tivera uma melhoria constante antes do século XVIII) são indiscutíveis nos registros históricos. Porém não vieram cedo, apesar da difusão da máquina a vapor e das novas máquinas e equipamentos. Mokyr relembra que "no início, o consumo *per capita* e a qualidade de vida aumentaram pouco [no fim do séc. XVIII], mas as tecnologias de produção mudaram drasticamente várias indústrias e setores, preparando o caminho para o crescimento sustentado schumpeteriano na segunda metade do século XIX, quando o progresso tecnológico penetrou em indústrias não afetadas anteriormente".³³ Essa estratagem crucial força-nos a avaliar os verdadeiros efeitos de grandes transformações tecnológicas à luz de uma defasagem no tempo em função das condições específicas de cada sociedade. Todavia, os registros históricos parecem indicar que, em termos gerais, quanto mais próxima for a relação entre os locais de inovação, produção e utilização das novas tecnologias, mais rápida será a transformação das sociedades e maior será o retorno positivo das condições sociais sobre as condições gerais para favorecer futuras inovações. Assim, na Espanha, a Revolução Industrial difundiu-se de forma rápida na Catalunha, já no fim do século XVIII, mas alcançou uma velocidade bem menor no resto do país, particularmente em Madrid e no Sul; apenas o País Basco e Astúrias tinham aderido ao processo de industrialização no final do século XIX.³⁴ As fronteiras da inovação industrial eram coincidentes em grande parte com áreas onde foi proibido comercializar com as colônias da América espanhola por cerca de dois séculos: embora as elites andaluzas e castelhanas, bem como a Coroa, pudessem viver de suas rendas norte-americanas, os catalães tinham de prover o próprio sustento através do comércio e da engenhosidade, enquanto eram submetidos à pressão de um Estado cen-

tralizador. Em parte como resultado dessa trajetória histórica, até a década de 1950 a Catalunha e o País Basco eram as únicas regiões totalmente industrializadas, até a década de 1950, e as principais fontes de espíritos empreendedores e de inovação, em profundo contraste com as tendências do resto da Espanha. Assim, condições sociais específicas favorecem a inovação tecnológica, que alimenta a trilha do desenvolvimento econômico e as demais inovações. Contudo, a reprodução dessas condições é tão cultural e institucional quanto econômica e tecnológica. A transformação de ambientes sociais e institucionais pode alterar o ritmo e a geografia do desenvolvimento tecnológico (por exemplo, o Japão depois da Restauração Meiji ou a Rússia durante um breve período sob o regime Stolypin), embora a história passada ostente uma inércia considerável.

Uma última lição importante das Revoluções Industriais, que considero pertinente a esta análise, gera controvérsia: apesar de ambas terem causado o surgimento de novas tecnologias que na verdade formaram e transformaram um sistema industrial em estágios sucessivos, no âmago dessas revoluções havia uma inovação fundamental em geração e distribuição de energia. R. J. Forbes, famoso historiador de tecnologia, afirma que “a invenção da máquina a vapor é o fator central na revolução industrial”, seguida pela introdução de novos motores primários e motores primários móveis, com os quais “a força da máquina a vapor podia ser levada aonde fosse necessária e na extensão desejada”.³⁵ E, embora insista no caráter multifacetado da Revolução Industrial, Mokyr também acha que “não obstante os protestos de alguns historiadores econômicos, a máquina a vapor é ainda amplamente considerada a invenção mais requintada da Revolução Industrial”.³⁶ A eletricidade foi a força central da segunda revolução, apesar de outros avanços extraordinários como produtos químicos, aço, motor de combustão interna, telégrafo e telefonia. Isso porque, apenas mediante geração e distribuição de eletricidade, os outros campos puderam desenvolver suas aplicações e ser conectados entre si. Um caso em especial foi o do telégrafo elétrico que, utilizado experimentalmente de 1790-99 e em pleno uso desde 1837, só conseguiu desenvolver-se em uma rede de comunicação, conectando o mundo em larga escala, quando pôde contar com a difusão da eletricidade. O uso difundido da eletricidade a partir de 1870 mudou os transportes, telégrafos, iluminação e, não menos importante, o trabalho nas fábricas mediante a difusão de energia na forma de motores elétricos. Na verdade, embora as fábricas sejam associadas à primeira Revolução Industrial, por quase um século elas não foram concomitantes com o uso da máquina a vapor, bastante utilizada em pequenas oficinas artesanais, enquanto muitas fábricas grandes continuavam a usar fontes melhoradas de energia hidráulica (daí a razão de, por muito tempo, terem sido conhecidas como moinhos). Foi o motor elétrico que tanto tornou possível quanto

induziu a organização do trabalho em larga escala nas fábricas industriais.³⁷ Nas palavras de R. J. Forbes (em 1958):

Durante os últimos 250 anos, cinco novos motores primários importantes geraram aquilo que é frequentemente chamado de a Era das Máquinas. No século XVIII foi a máquina a vapor; no séc. XIX a turbina hidráulica, o motor de combustão interna e a turbina a vapor; no séc. XX a turbina de combustão. Historiadores sempre inventaram lemas que denotassem movimentos ou correntes históricas. Assim é com a “Revolução Industrial” título para um processo de desenvolvimento frequentemente descrito como tendo seu início no começo do século XVIII e estendendo-se por quase todo o século XIX. Foi um movimento lento, mas forjou mudanças tão profundas em sua combinação entre progresso material e deslocamento social que, no conjunto, talvez possam ser descritas como revolucionárias se consideradas no período de tempo abrangido por essas datas.³⁸

Portanto, atuando no processo central de todos os processos — ou seja, a energia necessária para produzir, distribuir e comunicar — as duas Revoluções Industriais difundiram-se por todo o sistema econômico e permearam todo o tecido social. Fontes móveis de energia barata e acessível expandiram e aumentaram a força do corpo humano, criando a base material para a continuação histórica de um movimento semelhante rumo à expansão da mente humana.

A seqüência histórica da Revolução da Tecnologia da Informação

A breve, porém intensa, história da Revolução da Tecnologia da Informação foi contada tantas vezes nos últimos anos, que é desnecessário dar ao leitor um outro relato completo.³⁹ Além disso, devido ao ritmo acelerado dessa revolução, qualquer outro relato tornar-se-ia obsoleto, tanto que, entre o momento em que este livro está sendo escrito e o de sua leitura (digamos 18 meses), *microchips* terão dobrado seu desempenho a um determinado preço, de acordo com a geralmente aceita “lei de Moore”.⁴⁰ Todavia, considero útil para a análise nos lembrarmos dos principais eixos da transformação tecnológica em geração/processamento/transmissão da informação, colocando-os na seqüência que se deslocou rumo à formação de um novo paradigma sociotécnico.⁴¹ Este breve resumo me autorizará, posteriormente, a omitir referências sobre aspectos técnicos ao discutir sua interação específica com a economia, cultura e socie-

dade por todo o itinerário intelectual deste livro, exceto quando novos elementos de informação forem necessários.

Macromudanças da microengenharia: eletrônica e informação

Apesar de os antecessores industriais e científicos das tecnologias da informática com base em microeletrônica já poderem ser observados anos antes da década de 40⁴² (não menosprezando a invenção do telefone por Bell, em 1876, do rádio por Marconi, em 1898, e da válvula a vácuo por De Forest, em 1906), foi durante a Segunda Guerra Mundial e no período seguinte que se deram as principais descobertas tecnológicas em eletrônica: o primeiro computador programável e o transistor, fonte da microeletrônica, o verdadeiro cerne da Revolução da Tecnologia da Informação no século XX.⁴³ Porém, defendo que, de fato, só na década de 70 as novas tecnologias da informação difundiram-se amplamente, acelerando seu desenvolvimento sinérgico e convergindo em um novo paradigma. Vamos reconstituir os estágios da inovação em três principais campos da tecnologia que, intimamente inter-relacionados, constituíram a história das tecnologias baseadas em eletrônica: microeletrônica, computadores e telecomunicações.

O transistor, inventado em 1947 na empresa Bell Laboratories em Murray Hill, no estado de Nova Jersey, pelos físicos Bardeen, Brattain e Shockley (ganhadores do Prêmio Nobel pela descoberta), possibilitou o processamento de impulsos elétricos em velocidade rápida e em modo binário de interrupção e amplificação, permitindo a codificação da lógica e da comunicação com e entre as máquinas: esses dispositivos têm o nome de semicondutores, mas as pessoas costumam chamá-los de *chips* (na verdade, agora constituídos de milhões de transistores). O primeiro passo na difusão do transistor foi dado em 1951, com a invenção do transistor de junção por Shockley. Porém, sua fabricação e utilização em ampla escala exigiam novas tecnologias de produção e uso de material apropriado. A mudança para o silício, construindo, literalmente, a nova revolução na areia, foi pioneiramente realizada pela Texas Instruments (em Dallas) em 1954 (um feito facilitado pela contratação de Gordon Teal, em 1953, outro importante cientista da Bell Laboratories). A invenção do processo plano em 1959 pela empresa Fairchild Semiconductors (localizada no Vale do Silício) abriu a possibilidade de integração de componentes miniaturizados com precisão de fabricação.

Contudo, o passo decisivo da microeletrônica foi dado em 1957: o circuito integrado foi inventado por Jack Kilby, engenheiro da Texas Instruments (que o patenteou) em parceria com Bob Noyce, um dos fundadores da Fairchild. Mas foi Noyce que fabricou CIs pela primeira vez, usando o processo plano. Essa

iniciativa acionou uma explosão tecnológica: em apenas três anos, entre 1959 e 1962, os preços dos semicondutores caíram 85%, e nos dez anos seguintes a produção aumentou vinte vezes, sendo que 50% dela foi destinada a usos militares.⁴⁴ A título de comparação histórica, levou setenta anos (1780 — 1850) para que o preço do tecido de algodão caísse 85% na Inglaterra durante a Revolução Industrial.⁴⁵ Então, o movimento acelerou-se na década de 60: à medida que a tecnologia de fabricação progredia e se conseguia melhorar o *design* dos *chips* com o auxílio de computadores, usando dispositivos microeletrônicos mais rápidos e mais avançados, o preço médio de um circuito integrado caiu de US\$ 50 em 1962 para US\$ 1 em 1971.

O avanço gigantesco na difusão da microeletrônica em todas as máquinas ocorreu em 1971 quando o engenheiro da Intel, Ted Hoff (também no Vale do Silício), inventou o microprocessador, que é o computador em um único *chip*. Assim, a capacidade de processar informação poderia ser instalada em todos os lugares. Começava a disputa pela capacidade de integração cada vez maior dos circuitos contidos em apenas um *chip*, e a tecnologia de produção e *design* sempre excedia os limites da integração antes considerada fisicamente impossível sem abandonar o uso do silício. Em meados dos anos 90, as aviações técnicas ainda prevêem entre dez e vinte anos de emprego satisfatório para os circuitos à base de silício, embora já se tenham intensificado as pesquisas sobre materiais alternativos. O nível de integração tem progredido em ritmo bastante rápido nos últimos vinte anos. Embora detalhes técnicos não tenham vez neste livro, é pertinentemente à análise indicar a velocidade e a extensão da transformação tecnológica.

Como se sabe, a capacidade dos *chips* pode ser avaliada por uma combinação de três características: sua capacidade de integração, indicada pela menor largura das linhas de condução no interior do *chip* medida em microns (1 micron = a milionésima parte de uma polegada); sua capacidade de memória, medida em *bytes*: milhares (*kbytes*) e milhões (*megabytes*); e a velocidade do microprocessador medida em megahertz. Assim, o primeiro processador de 1971 foi produzido com linhas de aproximadamente 6,5 microns; em 1980 alcançou 4 microns; em 1987, 1 micron; em 1995, o Pentium da Intel tinha um tamanho na faixa de 0,35 micron; e enquanto este livro era escrito, as projeções já estavam em 0,25 micron para 1999. Assim, enquanto em 1971 cabiam 2.300 transistores em um *chip* do tamanho de uma unha, em 1993 cabiam 35 milhões. Em 1971, a capacidade de memória, indicada como memória DRAM (memória dinâmica de acesso aleatório), era de 1.024 bytes; em 1980, 64.000; em 1987, 1.024.000; em 1993, 16.384.000; e, segundo as projeções, será de 256.000.000 bytes em 1999. No tocante à velocidade, os atuais microprocessadores de 64 *bis* são 550 vezes mais rápidos que o primeiro *chip* da Intel em 1972; e o número de MPUs dobra a cada 18 meses. As projeções para 2002 prevêem uma aceleração da tecnologia

de microeletrônica na integração (*chips* de 0,18 micron), na capacidade da memória DRAM (1.024 *megabits*) e na velocidade dos microprocessadores (até mais de 500 megahertz, comparados aos 150 de 1993). Ao combinar os surpreendentes desenvolvimentos em processamento paralelo, usando microprocessadores múltiplos (*inclusive*, no futuro, unindo-se microprocessadores múltiplos em apenas um *chip*), parece que o poder da microeletrônica ainda está sendo liberado, aumentando continuamente a capacidade da computação. Além disso, a miniaturização, a maior especialização e a queda dos preços dos *chips* de capacidade cada vez maior possibilitaram sua utilização em máquinas usadas em nossa rotina diária, de lava-louças e fornos de microondas a automóveis, cujos instrumentos eletrônicos, nos modelos básicos dos anos 90, alcançaram um valor mais alto que o próprio aço utilizado em sua fabricação.

Os computadores também foram concebidos pela mão de todas as tecnologias, a Segunda Guerra Mundial, mas nasceram somente em 1946 na Filadélfia, se não considerarmos as ferramentas desenvolvidas com objetivos bélicos, como o Colossus britânico (1943) para decifrar códigos inimigos e o Z-3 alemão que, como dizem, foi criado em 1941 para auxiliar os cálculos das aeronaves.⁴⁶ Todavia, os Aliados concentravam a maior parte de seus esforços em eletrônica nos programas de pesquisa do MIT (Instituto de Tecnologia de Massachusetts), e a verdadeira experiência da capacidade das calculadoras ocorreu na universidade da Pensilvânia com o patrocínio do exército norte-americano, onde Manuhy e Eckert desenvolveram o primeiro computador para uso geral, em 1946, o ENIAC (computador e integrador numérico eletrônico). Os historiadores lembram que o primeiro computador eletrônico pesava 30 toneladas, foi construído sobre estruturas metálicas com 2,75 m de altura, tinha 70 mil resistores e 18 mil válvulas a vácuo e ocupava a área de um ginásio esportivo. Quando ele foi acionado, seu consumo de energia foi tão alto que as luzes de Filadélfia piscaram.⁴⁷

Porém, a primeira versão comercial dessa máquina primitiva, o UNIVAC-1, desenvolvido em 1951 pela mesma equipe e depois com a marca Remington Rand, alcançou tremendo sucesso no processamento dos dados do Censo norte-americano de 1950. A IBM, também patrocinada por contratos militares e, em parte, contando com as pesquisas do MIT, superou suas restrições iniciais em relação à era do computador e entrou na disputa em 1953 com uma máquina de 701 válvulas. Em 1958, quando Sperry Rand introduziu um computador de grande porte (*mainframe*) de segunda geração, a IBM logo deu seqüência com seu modelo 7090. Mas foi apenas em 1964 que a IBM, com seu *mainframe* 360/370, conseguiu dominar a indústria de computadores, povoada por novas (Control Data, Digital) e antigas (Sperry, Honeywell, Burroughs, NCR) empresas fabricantes de máquinas comerciais. A maior parte dessas empresas estava decadente ou desaparecera na década de 90: esta é a velocidade da "destruição criativa".

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 preços 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 predomínio da IBM no negócio de PCs, o fato também difundiu o uso dos clones da IBM no 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, 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 suplantiar 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 computador eletrônico industrial apareceu em 1969, e o computador 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 Avancada 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 aliterados 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 Gormer 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 inglorio 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

Today, enquanto cientistas, juristas e estudiosos de ética debatem as consequências 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 sequência 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 sequências. 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 sequência 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 consequências 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 relembrarmos 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 reparar-las-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 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 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 entrar nos 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 mencionel, 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 multidimensão.

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 inquietos 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 (cujas 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 recrutamentos 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) segurariam 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 interagiam 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 europeias 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 "Silivood". E em um canto obscuro de São Francisco, artistas, projetistas gráficos e "desenvolvedores" de *software* reuniam-se na chamada "Sargeta 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-Taiândia, 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 folhas 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-Szelograd 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 japonesa, europeia e chinesa 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



consideráveis recursos (uma parcela substancial vinda de verbas governamentais) para formar alianças com as empresas japonesas e norte-americanas que representam, cada vez mais, a fonte de seu *know-how* de tecnologia avançada no setor da informação.⁶¹

Mesmo nos EUA, sabe-se que os contratos militares e as iniciativas tecnológicas do Departamento de Defesa desempenharam papéis decisivos no estágio de formação da Revolução da Tecnologia da Informação, ou seja, entre as décadas de 40 e 60. Até mesmo a principal fonte de descobertas em eletrônica, a Bell Laboratories, desempenhou, de fato, o papel de um laboratório nacional: sua controladora (ATT) desfrutou de um monopólio de telecomunicações mantido pelo governo, parte significativa de suas verbas de pesquisa vinha do governo dos EUA; e, na verdade, desde 1956, a ATT era forçada pelo governo norte-americano a difundir as descobertas tecnológicas em domínio público em troca da manutenção do monopólio das telecomunicações públicas.⁶² Instituições como o MIT, Harvard, Stanford, Berkeley, UCLA, Chicago, Johns Hopkins, e laboratórios nacionais de armamentos tais como Livermore, Los Alamos, Sandia e Lincoln trabalharam com e para os órgãos do Departamento de Defesa em programas que conduziram a avanços fundamentais, desde os computadores da década de 40 até a optoeletrônica e as tecnologias de inteligência artificial do Programa "Guerra nas Estrelas" dos anos 80. A DARPA (Agência de Projetos de Pesquisa Avançada do Departamento de Defesa) desempenhou, nos EUA, um papel não muito diferente do MITI no desenvolvimento tecnológico do Japão, incluindo o projeto e a verba inicial da Internet.⁶³ Na verdade, na década de 80, quando a administração Reagan, extremamente adepta do *laissez-faire*, sentiu a ferroada da concorrência japonesa, o Departamento de Defesa liberou uma verba para a SEMATECH, um consórcio de empresas norte-americanas de eletrônica, para patrocinar os onerosos custos de programas de P&D na indústria eletrônica, por razões de segurança nacional. E o governo federal também ajudou no esforço cooperativo das grandes empresas no campo da microeletrônica, criando a MCC e ficando tanto a SEMATECH como a MCC localizadas em Austin, Texas.⁶⁴ Também, durante os decisivos anos 50 e 60, os contratos militares e o programa espacial representaram mercados essenciais para a indústria eletrônica, tanto para as grandes empresas contratadas no setor bélico, localizadas ao sul da Califórnia, quanto para as inovadoras recém-estabelecidas no Vale do Silício e na Nova Inglaterra.⁶⁵ Talvez elas não tivessem sobrevivido sem os financiamentos generosos e o mercado protegido de um governo norte-americano ansioso por recuperar a supremacia tecnológica sobre a União Soviética, estratégia que no final valeu a pena. A engenharia genética originou-se nos principais centros de pesquisa de universidades e hospitais, bem como nos institutos de pesquisa sobre saúde, contando, em grande parte, com financiamentos e pa-

trócio 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 mediantes 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 energia para 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



O conceito de paradigma tecnológico, elaborado por Carlota Perez, Christopher Freeman e Giovanni Dosi, com a adaptação da análise clássica das revoluções científicas feita por Kuhn, ajuda a organizar a essência da transformação tecnológica atual à medida que ela interage com a economia e a sociedade.⁷⁰ Em vez de apenas aperfeiçoar a definição de modo a incluir os processos sociais além da economia, penso que seria útil destacar os aspectos centrais do paradigma da tecnologia da informação para que sirvam de guia em nossa futura jornada pelos caminhos da transformação social. No conjunto, esses aspectos representam a base material da sociedade da informação.

A primeira característica do novo paradigma é que a informação é sua matéria-prima: *são tecnologias para agir sobre a informação*, não apenas informação para agir sobre a tecnologia, como foi o caso das revoluções tecnológicas anteriores.

O segundo aspecto refere-se à *penetrabilidade dos efeitos das novas tecnologias*. Como a informação é uma parte integral de toda atividade humana, todos os processos de nossa existência individual e coletiva são diretamente moldados (embora, com certeza, não determinados) pelo novo meio tecnológico.

A terceira característica refere-se à *lógica de redes* em qualquer sistema ou conjunto de relações, usando essas novas tecnologias da informação. A morfologia da rede parece estar bem-adaptada à crescente complexidade de interação e aos modelos imprevisíveis do desenvolvimento derivado do poder criativo dessa interação.⁷¹ Essa configuração topológica, a rede, agora pode ser implementada materialmente em todos os tipos de processos e organizações graças a recentes tecnologias da informação. Sem elas, tal implementação seria bastante complicada. E essa lógica de redes, contudo, é necessária para estruturar o não-estruturado, porém preservando a flexibilidade, pois o não-estruturado é a força motriz da inovação na atividade humana.

Em quarto lugar, referente ao sistema de redes, mas sendo um aspecto claramente distinto, o paradigma da tecnologia da informação é baseado na *flexibilidade*. Não apenas os processos são reversíveis, mas organizações e instituições podem ser modificadas, e até mesmo fundamentalmente alteradas, pela reorganização de seus componentes. O que distingue a configuração do novo paradigma tecnológico é sua capacidade de reconfiguração, um aspecto decisivo em uma sociedade caracterizada por constante mudança e fluidez organizacional. Tornou-se possível inverter as regras sem destruir a organização, porque a base material da organização pode ser reprogramada e reaparelhada. Porém, não devemos evitar um precipitado julgamento de valores ligado a essa característica tecnológica. Isso porque a flexibilidade tanto pode ser uma força libertadora como também uma tendência repressiva, se os redefinidores das regras sempre forem os poderes constituídos. De acordo com Muilgan: "As redes são criadas

não apenas para comunicar, mas para ganhar posições, para melhorar a comunicação.⁷² Portanto, é essencial manter uma distância entre a avaliação do surgimento de novas formas e processos sociais, induzidos e facilitados por novas tecnologias, e a extrapolação das consequências potenciais desses avanços para a sociedade e as pessoas: só análises específicas e observação empírica conseguem determinar as consequências da interação entre as novas tecnologias e as formas sociais emergentes. Mas também é essencial identificar a lógica embutida no novo paradigma tecnológico.

Então, uma quinta característica dessa revolução tecnológica é a crescente *convergência de tecnologias específicas para um sistema altamente integrado*, no qual trajetórias tecnológicas antigas ficam literalmente impossíveis de se distinguir em separado. Assim, a microeletrônica, as telecomunicações, a optoeletrônica e os computadores são todos integrados nos sistemas de informação. Ainda existe, e existirá por algum tempo, uma distinção comercial entre fabricantes de *chips* e desenvolvedores de *software*, por exemplo. Mas até mesmo essa diferenciação fica indefinida com a crescente integração de empresas em alianças estratégicas e projetos de cooperação, bem como pela incorporação de *software* também nos componentes dos *chips*. Além disso, em termos de sistemas tecnológicos, um elemento não pode ser imaginado sem o outro: os microcomputadores são em grande parte determinados pela capacidade dos *chips*, e tanto o projeto quanto o processamento paralelo dos microcomputadores dependem da arquitetura do computador. As telecomunicações agora são apenas uma forma de processamento da informação; as tecnologias de transmissão e conexão estão, simultaneamente, cada vez mais diversificadas e integradas na mesma rede operada por computadores.⁷³

A convergência tecnológica transforma-se em uma interdependência crescente entre as revoluções em biologia e microeletrônica, tanto em relação a materiais quanto a métodos. Assim, avanços decisivos em pesquisas biológicas, como a identificação dos genes humanos e segmentos do DNA humano só conseguem seguir adiante por causa do grande poder da informática.⁷⁴ Por outro lado, o uso de materiais biológicos na microeletrônica, apesar de ainda muito distante de uma aplicação mais genérica, já estava em estágio experimental, em 1995. Leonard Adleman, um cientista da computação na Universidade do Sul da Califórnia, usou moléculas sintéticas de DNA e, com a ajuda de uma reação química, provocou seu funcionamento de acordo com a lógica combinatória do DNA, como um material básico para a computação.⁷⁵ Embora a pesquisa ainda tenha um longo caminho a percorrer rumo à integração material entre a biologia e a eletrônica, a lógica da biologia (a capacidade de autogerar seqüências coerentes não programadas) está cada vez mais sendo introduzida nas máquinas.⁷⁶ A área mais avançada da robótica refere-se a robôs com capacidade de aprendi-

zagem, usando a teoria da rede neural. Assim, no laboratório de rede neural do Centro de Pesquisa Conjunta da União Européia, localizado em Ispra, na Itália, um cientista da computação, Jose Millan, há anos, está ensinando pacientemente alguns robôs a aprenderem sozinho com esperança de que, em um futuro próximo, eles sejam bem empregados em atividades como vigilância e manuseio de material em instalações nucleares.⁷⁷ O atual processo de convergência entre diferentes campos tecnológicos no paradigma da informação resulta de sua lógica compartilhada na geração da informação. Essa lógica é mais aparente no funcionamento do DNA e na evolução natural e é, cada vez mais, reproduzida nos sistemas de informação mais avançados à medida que os *chips*, computadores e *software* alcançam novas fronteiras de velocidade, de capacidade de armazenamento e de flexibilidade no tratamento da informação oriunda de fontes múltiplas. Embora a reprodução do cérebro humano com seus bilhões de circuitos e insuperável capacidade de recombinação, a rigor, seja ficção científica, os limites da capacidade de informação dos computadores de hoje em dia estão sendo superados a cada mês.⁷⁸

A partir da observação dessas mudanças extraordinárias em nossas máquinas e conhecimentos sobre a vida e com a ajuda de tais máquinas e conhecimentos, está havendo uma transformação tecnológica mais profunda: a das categorias segundo as quais pensamos todos os processos. Segundo as idéias propostas pelo historiador de tecnologia, Bruce Mazlish:

É necessário reconhecer que a evolução biológica humana, agora mais bem entendida em termos culturais, impõe à humanidade — a nós — a conscientização de que ferramentas e máquinas são inseparáveis da evolução da natureza humana. Também precisamos perceber que o desenvolvimento das máquinas, culminando com o computador, mostra-nos, de forma inevitável, que as mesmas teorias úteis na explicação do funcionamento de dispositivos mecânicos também têm utilidade no entendimento do animal humano — e vice-versa, pois a compreensão do cérebro humano elucida a natureza da inteligência artificial.⁷⁹

De uma perspectiva diferente, baseados nos discursos da moda nos anos 80 sobre a "teoria do caos", na década de 90 uma rede de cientistas e pesquisadores convergiam para uma abordagem epistemológica comum, identificada pela palavra "complexidade". Organizado em torno de seminários do Instituto Santa Fé, no Novo México, (originalmente um clube de físicos altamente capacitados da empresa Los Alamos Laboratory e, logo após, contando com a participação de um grupo seleto de ganhadores do Prêmio Nobel e amigos), esse círculo intelectual tem como objetivo a comunicação do pensamento científico (inclu-

sive ciências sociais) sob um novo paradigma. Seus membros procuram compreender o surgimento de estruturas auto-organizadas que criam complexidade a partir da simplicidade e ordem superior a partir do caos, mediante várias ordens de interatividade entre os elementos básicos na origem do processo.⁸⁰ Embora frequentemente descartado pela ciência tradicional como sendo uma proposição não comprovável, esse projeto é um exemplo do esforço realizado em diferentes ambientes no sentido de encontrar um terreno comum para a troca de experiências intelectuais entre a ciência e a tecnologia na Era da Informação. Porém, essa abordagem parece impedir qualquer estrutura sistemática de integração. O pensamento da complexidade deve ser considerado mais como um método para entender a diversidade do que uma metateoria unificada. Seu valor epistemológico pode ter-se originado do reconhecimento de que a Natureza e a sociedade possuem a faculdade de fazer, acidentalmente, descobertas felizes e inesperadas. Não se pode afirmar que não haja regras, mas as regras são criadas e mudadas em um processo contínuo de ações deliberadas e interações exclusivas. O paradigma da tecnologia da informação não evoluiu para seu fechamento como um sistema, mas rumo a abertura como uma rede de acessos múltiplos. É forte e impositivo em sua materialidade, mas adaptável e aberto em seu desenvolvimento histórico. Abrangência, complexidade e disposição em forma de rede são seus principais atributos.

Assim, a dimensão social da Revolução da Tecnologia da Informação parece destinada a cumprir a lei sobre a relação entre a tecnologia e a sociedade proposta algum tempo atrás por Melvin Kranzberg: "*A primeira lei de Kranzberg diz: A tecnologia não é nem boa, nem ruim e também não é neutra.*"⁸¹ É uma força que provavelmente está, mais do que nunca, sob o atual paradigma tecnológico que penetra no âmago da vida e da mente.⁸² Mas seu verdadeiro uso na esfera da ação social consciente e a complexa matriz de interação entre as forças tecnológicas libertadas por nossa espécie e a espécie em si são questões mais de investigação que de destino. Portanto, prosseguirei agora com essa investigação.

NOTAS

1. Gould (1980 : 226)
2. Melvin Kranzberg, um dos principais historiadores de tecnologia, escreveu "A Era da Informação, na realidade, revolucionou os elementos técnicos da sociedade industrial" (1985: 42). Em relação a seus efeitos sociais: "Embora possa ser evolucionária, no sentido de que nem todas as mudanças e benefícios aparecerão de uma hora para outra, seus efeitos sobre nossa sociedade serão revolucionários" (*ibid.* 52). Seguindo a mesma

- linha de raciocínio, ver também, por exemplo: Perez (1983); Forester (1985); Dizard (1982); Nora e Mine (1978); Stourdzé (1987); Negroponte (1995); Ministério dos Correios e Telecomunicações (Japão) (1995); Bishop e Waldholz (1990); Darbon e Roblin (1987); Salomon (1992); Dosi *et al.* (1988b); Petrella (1993).
3. Sobre a definição da tecnologia como "cultura material" que considero ser a perspectiva sociológica adequada, ver a discussão em Fischer (1992: 1-32, esp.): "Aqui, a tecnologia é semelhante ao conceito de cultura material."
4. Brooks (1971: 13), de texto não publicado, citado com ênfase acrescentada por Bell (1976: 29).
5. Saxby (1990); Mulgan (1991).
6. Marx (1989); Hall (1987).
7. Para uma exposição estimulante e esclarecedora, embora deliberadamente controversa, da convergência entre a revolução biológica e a mais ampla Revolução da Tecnologia da Informação, ver Kelly (1995).
8. Forester (1988); Herman (1990); Lyon e Gomer (1995); Lincoln e Essin (1993); Edquist e Jacobsson (1989); Drexler e Peterson (1991); Lovins e Lovins (1995); Dondero (1995).
9. Negroponte (1995).
10. Kranzberg e Pursell (1967).
11. O total entendimento da revolução tecnológica atual exigiria a discussão da especificidade das novas tecnologias da informação *vis-à-vis* seus predecessores históricos também de caráter revolucionário, como a descoberta da imprensa, na China, provavelmente no final do século VII e, na Europa, no século XV, tema clássico da literatura das comunicações. Não podendo abordar a questão nos limites deste livro, enfoco na dimensão sociológica da transformação tecnológica, gostaria de sugerir que o leitor prestasse atenção em alguns tópicos. As tecnologias da informação com base na eletrônica (inclusive a imprensa eletrônica) apresentam uma capacidade de armazenamento de memória e velocidade de comunicação e transmissão de *bits* incomparáveis. Os textos eletrônicos permitem flexibilidade de *feedback*, interação e reconfiguração de texto muito maiores — como qualquer autor de processador de texto pode confirmar — e, desse modo, alteram o próprio processo de comunicação. A comunicação *on-line*, aliada à flexibilidade do texto, propicia programação de espaço/tempo ubíqua e assíncrona. Em relação aos efeitos sociais das tecnologias da informação, minha hipótese é que a profundidade de seu impacto é uma função da penetrabilidade da informação por toda a estrutura social. Assim, embora a imprensa tenha afetado as sociedades européias de maneira substancial na Era Moderna, bem como, em menor medida, a China medieval, seus efeitos foram, de certa forma, limitados devido ao analfabetismo generalizado da população e por causa da pouca intensidade da informação na estrutura produtiva. Então, ao educar seus cidadãos e promover a organização gradual da economia em torno de conhecimentos e informação, a sociedade industrial preparou o terreno para a capacitação da mente humana para quando as novas tecnologias da informação fossem disponibilizadas. Ver comentários históricos sobre esse início de revolução das tecnologias da informação em Bourreau *et al.* (1989). Para alguns elementos do debate sobre a especificidade tecnológica da comunicação eletrônica, inclusive a visão de McLuhan, ver capítulo 5.

12. M. Kranzberg, "Prerequisites for industrialization", in Kranzberg e Pursell (1967: l. cap. 13); Mokyr (1990).
13. Ashton (1948); Landes (1969); Mokyr (1990: 112); Clow e Clow (1952).
14. Hall e Preston (1988); Saxby (1990); Dizard (1982); Forester (1985).
15. Bar (1990).
16. Rosenberg (1982); Bar (1992).
17. Mazlish (1993).
18. Mokyr (1990: 293, 209 ss.).
19. Ver, por exemplo, Thomas (1993).
20. Mokyr (1990: 83).
21. Pool (1990); Mulgan (1991).
22. Singer *et al.* (1958); Mokyr (1985). Porém, como o próprio Mokyr ressalta, na primeira Revolução Industrial na Grã-Bretanha, também havia uma interface entre ciência e tecnologia. Portanto, o aperfeiçoamento decisivo promovido por Watts na máquina a vapor projetada por Newcomen ocorreu em interação com seu amigo e protetor Joseph Black, professor de química da Universidade de Glasgow, onde, em 1757, Watts foi nomeado o "Criador de Instrumentos Matemáticos da Universidade" e conduziu seus próprios experimentos em um modelo da máquina de Newcomen (ver Dickinson, 1958). De fato, Ubbelohde (1938: 673) relata que "o condensador desenvolvido por Watts para a máquina a vapor, separado do cilindro em que o pistão se movimentava, era intimamente associado e inspirado nas pesquisas científicas de Joseph Black (1728-99), professor de química da Universidade de Glasgow".
23. Mokyr (1990: 82).
24. David (1975); David e Bunn (1988); Arthur (1989).
25. Rosenberg e Birtzell (1986).
26. Singer *et al.* (1957).
27. Rostow (1975); ver Jewkes *et al.* (1969) para a discussão e Singer *et al.* (1958) para dados históricos.
28. Mokyr (1990).
29. Hall e Preston (1988: 123).
30. A origem do conceito de "meio de inovação" pode ser buscada em Avidalot (1985). Também estava implícito no trabalho de Anderson (1985) e no de Arthur (1985). Mais ou menos na mesma época, Peter Hall e eu, em Berkeley, Roberto Carnagni, em Milão, e Denis Maillet, em Lausanne, juntamente com o finado Philippe Aydalot por um breve período, começamos a desenvolver análises empíricas sobre os meios de inovação, tema que, com justiça, se tornou objeto de muitas pesquisas nos anos 90.
31. A discussão específica das condições históricas para a concentração das inovações tecnológicas não pode ser feita nos limites deste capítulo. Reflexões úteis sobre o tema são encontradas em Mokyr (1990) e em Gilie (1978). Ver também Mokyr (1990: 298).
32. Rosenberg (1976, 1982); Dosi (1988).
33. Mokyr (1990: 83).

34. Fontana (1988); Nadal e Carreras (1990).
35. Forbes (1958: 150).
36. Mokyr (1990: 84).
37. Hall e Preston (1988); Canby (1962); Jarvis (1958). Uma das primeiras especificações detalhadas de um telegrafo elétrico faz parte de uma carta assinada por C.M. e publicada na revista *Scott's Magazine*, em 1753. Em 1795, o catalão Francisco de Salva propôs uma das primeiras experiências práticas com um sistema elétrico. Há relatos não confirmados de que, em 1798, foi construído um telegrafo monofilar entre Madri e Aranjuez (42 Km), com base no esquema de Salva. No entanto, foi apenas entre 1830-40 que o telegrafo elétrico foi estabelecido (William Coke na Inglaterra, Samuel Morse nos Estados Unidos), e, em 1851, instalou-se o primeiro cabo submarino, entre Dover e Calais (Carrat 1958); ver também Mokyr (1990); Sharlin (1967).
38. Forbes (1958: 148).
39. Um bom relato sobre as origens da Revolução da Tecnologia da Informação, naturalmente suplantado pelos novos desenvolvimentos desde a década de 80, é o de Braun e Macdonald (1982). Tom Forester conduziu o esforço mais sistemático para resumir os progressos da Revolução da Tecnologia da Informação em uma série de livros (1980, 1985, 1987, 1989, 1993). Para bons relatos sobre as origens da engenharia genética, ver Russell (1988) e Elkington (1985).
40. Uma "lei" aceita no setor de eletrônica creditada a Gordon Moore, presidente da Intel, a nova empresa no legendário Vale do Silício, hoje a maior do mundo e uma das mais rentáveis do setor de microeletrônica.
41. As informações relacionadas neste capítulo são facilmente encontradas em jornais e revistas, e a maior parte foi extraída de muitas leituras das revistas *Business Week*, *The Economist*, *Wired* e *Scientific American* e dos jornais *New York Times*, *El País* e *São Francisco Chronicle*, que constituem a base de muitas informações diárias/semanais. Também usei subsídios de conversas ocasionais sobre assuntos relacionados à tecnologia com colegas e amigos de Berkeley e Stanford, conhecedores de eletrônica e biologia e familiarizados com fontes industriais. Não acho necessário fornecer referências detalhadas sobre esses tipos gerais de informações, exceto quando determinado dado ou citação for de difícil localização.
42. Ver Hall e Preston (1988); Mazlish (1993).
43. Penso que, a exemplo das Revoluções Industriais, haverá várias Revoluções da Tecnologia da Informação, das quais a ocorrida na década de 70 é apenas a primeira. Provavelmente a segunda, no início do século XXI, dará um papel mais importante à revolução biológica, em estreita interação com as novas tecnologias computacionais.
44. Braun e Macdonald (1982).
45. Mokyr (1990: 111).
46. Hall e Preston (1988).
47. Ver a descrição feita por Forester (1987).
48. Egan (1995).
49. Hart *et al.* (1992).
50. Sobre o desenvolvimento da biotecnologia e da engenharia genética, ver, por exemplo, Teitelman (1989); Hall (1987); Congresso Norte-americano, Departamento de Avaliação de Tecnologias (1991); Bishop e Waldholz (1990).

51. Lyon e Gomer (1995: 567).
52. Ver *Business Week* (1995e).
53. Forester (1993).
54. Sobre a história da formação do Vale do Silício, há dois livros úteis e de leitura fácil: Rogers e Larsen (1984) e Malone (1985).
55. Saxenian (1994).
56. Levy (1984); Egan (1995).
57. Blakely *et al.* (1988); Hall *et al.* (1988).
58. Castells e Hall (1994).
59. Borrus (1988).
60. Hall *et al.* (1987).
61. Freeman *et al.* (1991); Castells *et al.* (1991).
62. Bar (1990).
63. Triman (1984); Broad (1985); Showsky (1992).
64. Borrus (1988); Gibson e Rogers (1994).
65. Roberts (1991).
66. Kenney (1986).
67. Ver as análises reunidas em Castells (1988b).
68. Banegas (1993).
69. C. Freeman, "Prefácio da Parte II", in Dosi *et al.* (1988b: 10).
70. Perez (1983); Dosi *et al.* (1988b); Kuhn (1962).
71. Kelly (1995: 25-7) faz uma análise eficaz das propriedades da lógica de redes em alguns parágrafos:

O Átomo é o passado. O símbolo da ciência para o próximo século é a Rede dinâmica... Enquanto o Átomo representa uma clara simplicidade, a Rede canaliza o poder confuso da complexidade... A única organização capaz de crescimento sem preconceitos e aprendizagem sem guias é a rede. Todas as outras topologias são restritivas. Um enxame de rédeas com acessos múltiplos é, portanto, sempre abertas de todos os lados. Na verdade, a rede é a organização menos estruturada da qual se pode dizer que não tem nenhuma estrutura... De fato, uma pluralidade de componentes realmente divergentes só pode manter-se coerente em uma rede. Nenhum outro esquema — cadeia, pirâmide, árvore, circuito, eixo — consegue conter uma verdadeira diversidade funcionando como um todo.

Embora físicos e matemáticos possam contestar algumas dessas afirmações, a mensagem básica de Kelly é interessante: a convergência entre a topologia evolucionária da matéria viva, a natureza não estagnante de uma sociedade cada vez mais complexa e a lógica interativa das tecnologias da informação.
72. Mulgan (1991: 21).
73. Williams (1991).
74. *Business Week* (1995e); Bishop e Waldholz (1990).
75. Allen (1995).

76. Ver, para uma análise das tendências, Kelly (1995); para uma perspectiva histórica sobre a convergência entre a mente e as máquinas, Mazlish (1994); para uma reflexão teórica, Levy (1994).
77. Millan (1996); e Kaiser *et al.* (1995).
78. Ver a excelente análise em perspectiva de Gelernter (1991).
79. Mazlish (1993: 233).
80. A difusão da teoria do caos para uma grande audiência deveu-se, em grande parte, ao *best seller* de Gleick (1987); ver também Hall (1991). Para um relato claro e intrigante sobre a escola da "complexidade", ver Waldrop (1992).
81. Kranzberg (1985: 50).
82. Para uma discussão foruita informativa dos recentes grandes avanços científicos e relativos à mente humana, ver Baumgartner e Payr (1995). Para uma interpretação mais contundente, ainda que controversa, feita por um dos fundadores da revolução genética, ver Crick (1994).

2

A economia informacional e o processo de globalização

Introdução

Uma nova economia surgiu em escala global nas duas últimas décadas. Chamo-a de informacional e global para identificar suas características fundamentais e diferenciadas e enfatizar sua interligação. É *informacional* porque a produtividade e a competitividade de unidades ou agentes nessa economia (sejam empresas, regiões ou nações) dependem basicamente de sua capacidade de gerar, processar e aplicar de forma eficiente a informação baseada em conhecimentos. É *global* porque as principais atividades produtivas, o consumo e a circulação, assim como seus componentes (capital, trabalho, matéria-prima, administração, informação, tecnologia e mercados) estão organizados em escala global, diretamente ou mediante uma rede de conexões entre agentes econômicos. É informacional e global porque, sob novas condições históricas, a produtividade é gerada, e a concorrência é feita em uma rede global de interação. Ela surgiu no último quartel do século XX porque a Revolução da Tecnologia da Informação fornece a base material indispensável para essa nova economia. É a conexão histórica entre a base de informação/conhecimentos da economia, seu alcance global e a Revolução da Tecnologia da Informação que cria um novo sistema econômico distinto, cuja estrutura e dinâmica explorarei neste capítulo.

Sem dúvida, informação e conhecimentos sempre foram elementos cruciais no crescimento da economia, e a evolução da tecnologia determinou em grande parte a capacidade produtiva da sociedade e os padrões de vida, bem como formas sociais de organização econômica.¹ Porém, como foi discutido no capítulo 1, estamos testemunhando um ponto de descontinuidade histórica. A emergência de um novo paradigma tecnológico organizado em torno de novas tecnologias da informação, mais flexíveis e poderosas, possibilita que a própria informação se torne o produto do processo produtivo. Sendo mais preciso: os produtos das novas indústrias de tecnologia da informação são dispositivos de processamento da informação ou o próprio processamento da informação.² Ao