Convergência Tecnológica

Centro de Gestão e Estudos Estratégicos
Ciência, Tecnologia e Inovação

Convergência Tecnológica

Brasília, DF
Junho, 2008

Centro de Gestão e Estudos Estratégicos

Presidenta
Lucia Carvalho Pinto de Melo

Diretor Executivo
Marcio de Miranda Santos

Diretores
Antonio Carlos Filgueira Galvão
Fernando Cosme Rizzo Assunção

Convergência Tecnológica: 2008. Brasília: Centro de Gestão e Estudos Estratégicos, 2008.
81 p : il.

1. Nanotecnologia - Brasil. 2. Biotecnologia – Brasil. 3. Tecnologia de Comunicação e Informação - Brasil. 4. Ciências Cognitivas – Brasil. 5. Neurociência – Brasil. I. Título. II. Centro de Gestão e Estudos Estratégicos.

Centro de Gestão e Estudos Estratégicos
SCN Qd 2, Bl. A, Ed. Corporate Financial Center sala 1102
70712-900, Brasília, DF
Telefone: (61) 3424.9600
Http://www.cgee.org.br

Esta publicação é parte integrante das atividades desenvolvidas no âmbito do Contrato de Gestão CGEE/MCT/2007.

Todos os direitos reservados pelo Centro de Gestão e Estudos Estratégicos (CGEE). Os textos contidos nesta publicação poderão ser reproduzidos, armazenados ou transmitidos, desde que citada à fonte.

Convergência Tecnológica

Supervisão
Fernando Cosme Rizzo Assunção

Consultores
Tirso W. Sáenz
Maria Carlota de Souza-Paula

Equipe técnica do CGEE
Esper Abrão Cavalheiro

SUMÁRIO

Resumo..... 2
Introdução..... 2
2 MARCOREFERENCIAL/CONCEITOS..... 5
2.1 Precedentes..... 5
2.2 A compreensão e abrangência mais recentes da CT..... 6
2.3 As modernas “tecnologias convergentes” - NBIC..... 12
3 CONVERGÊNCIA TECNOLÓGICA: RESULTADOS, IMPACTOS, OPORTUNIDADES E AMEAÇAS..... 21
3.1 Expectativas/resultados..... 21
3.2 Riscos e ameaças..... 29
3.3 Os novos desafios..... 33
4 POLÍTICAS PÚBLICAS SOBRE CONVERGÊNCIA TECNOLÓGICA..... 44
4.1 CT e políticas públicas..... 44
4.2 A experiência de políticas relacionadas à CT em alguns países..... 46
CONCLUSÕES E SUGESTÕES..... 60
Referências..... 69

CONVERGÊNCIA TECNOLÓGICA

Dr. Tirso W. Sáenz[1]
Dra. Maria Carlota de Souza-Paula[2]

RESUMO

Convergência Tecnológica é o processo de integração sinérgica de conhecimentos e tecnologias já disponíveis em várias áreas e setores, possibilitando a geração de novos conhecimentos e a produção de bens e serviços que não seriam possíveis por cada área ou setor isoladamente. Conhecimentos e instrumentos diversos "habilitam" outras áreas a realizar de forma mais rápida, ou mais precisa, ou mais ampla, potencialidades e expectativas no campo científico e tecnológico, com impactos cada vez mais significativos para as sociedades, em geral, e para o ser humano, em particular. Essa habilitação múltipla ocorre desde o início do desenvolvimento das técnicas, acentuando-se com o avanço permanente e cumulativo dos conhecimentos. Com a rapidez das mudanças e a complexidade crescente dos conhecimentos científicos e das tecnologias modernas, novos conhecimentos, instrumentos e áreas têm surgido e se integrado de forma cada vez mais complexa, possibilitando a exploração de novos horizontes há algum tempo impensável. A etapa mais recente desse processo é aquela que agrega a nanotecnologia como componente habilitador principal, permitindo avanços ímpares no processo de conhecimento da Natureza e na aplicação de seus princípios para a geração de novas tecnologias. Este é o objeto de análise neste texto: a moderna convergência tecnológica em escala nano. Em particular, exploram-se as concepções de CT e as políticas públicas que a tomam como uma das principais características da geração de conhecimentos e tecnologias. São feitas algumas observações gerais sobre as expectativas e desafios associados a este processo, principalmente para países como o Brasil que se propõem a ser um ator importante no cenário internacional e que buscam fazer da ciência e da tecnologia instrumentos efetivos de desenvolvimento.

INTRODUÇÃO

A combinação sinérgica, ou convergência tecnológica/CT, entre as quatro modernas ou emergentes tecnologias - nanotecnologia, biotecnologia, tecnologia da informação e comunicação/TICs e ciências cognitivas, é conhecida, principalmente no ambiente americano, pelo acrônimo NBIC[3]. Interatuando com outras áreas - como a matemática e as tecnologias ambientais -, para a produção

---

[1] Engenheiro Químico, Doutor em Ciências, Professor e pesquisador associado do Centro de Desenvolvimento Sustentável/CDS da Universidade de Brasília/UNB.
[2] Doutora em Ciência Política, Professora e pesquisadora associada do CDS/UNB.
[3] Sobre essa abordagem NBIC, ver Roco (2004 e 2007). É pela forte e crescente interação observada entre essas tecnologias que elas são conhecidas como tecnologias convergentes. Neste trabalho optou-se por fazer a abordagem pela "Convergência Tecnológica", expressão mais ampla, tanto do ponto de vista da relação ciência-tecnologia quanto pela visão mais integral do fenômeno. A expressão "Convergência Tecnológica" está se consolidando como referência geral. No entanto, o fenômeno da convergência não ocorre exclusivamente entre tecnologias, no sentido mais estrito do termo. Pelo contrário, ele envolve tanto os conhecimentos científicos mais fundamentais quanto as tecnologias mais avançadas.

de novos conhecimentos e tecnologias é um dos principais focos de atenção daqueles que buscam compreender e atuar no campo da ciência, tecnologia e inovação nos tempos atuais. O aspecto mais recente e de maior impacto nesse processo é o desenvolvimento da nanotecnologia, que tem assumido um papel habilitador cada vez mais importante com relação às demais tecnologias. Por essa razão, muitos programas nacionais, como a *National Nanotechnology Initiative* dos Estados Unidos, são realmente programas de convergência tecnológica na nanoescala.

A CT está apresentando rápidos avanços, com produtos e procedimentos altamente inovadores e grandes impactos econômicos e sociais. As características habilitadoras, particularmente das TICs e, mais recentemente, das nanotecnologias, possibilitam grandes sinergias, produzindo resultados espetaculares e inimagináveis há poucos anos. Este é, sem dúvidas, o fenômeno científico e tecnológico mais notável dos últimos tempos e com maiores expectativas de futuro.

A rápida evolução do conhecimento sobre a Natureza[4], sobre o potencial humano e seu aproveitamento, processo este possibilitado e acelerado pela convergência das novas tecnologias, é uma tendência com implicações maiores para a sociedade. Nesse contexto, as novas condições para gerar e aplicar conhecimentos trazem desafios que devem estar entre os focos da política científica e tecnológica, interligada com outras políticas – de modo particular as políticas industrial, agrícola e setoriais -, considerando-se a ciência e a tecnologia como importantes fatores de dinamização do desenvolvimento.

As visões sobre a CT se estendem para além das ciências físicas e naturais e rebatendo em outros campos englobados pelas chamadas ciências humanas e sociais[5]. Refletir sobre essas visões ampliadas é imprescindível para melhor compreender o fenômeno – que é, também, um processo social - e seus impactos -, não apenas em âmbito científico e produtivo, mas no que se refere à organização social e política, bem como na Natureza, incluindo o próprio ser humano.

---

[4] Neste documento, o termo Natureza está utilizado com uma visão integral, ou seja, englobando os diversos componentes e aspectos, físicos e humanos. Sobre isso, ver Moss, H. (2001).
[5] Ver, entre outros, Damasio *et al* (2001); Wilson, E. (1998); Ruppert Hall (1962).

Muitos aspectos teóricos e metodológicos associados a essas análises respondem a diferentes visões de mundo que orientam as abordagens da relação ciência-tecnologia-sociedade. Neste documento não há espaço para discutir toda essa diversidade, mas essa é uma reflexão importante, tanto para melhor compreender a dinâmica e as principais características da organização das atividades científicas e tecnológicas no mundo atual, quanto para analisar tendências, opções e estratégias de integração dessas atividades com a organização social e política, em uma perspectiva cada vez mais globalizada.

Este produto atende a contrato do Centro de Gestão e Estudos Estratégicos (CGEE) com o objetivo específico de revisar a atual abordagem de CT, em âmbito internacional, com foco particular nas orientações sugeridas para a política científica e tecnológica no sentido de enfrentar os desafios associados a esse fenômeno. Nele se focaliza, em especial, a convergência tecnológica entre as tecnologias modernas tendo a nanotecnologia como habilitadora principal.

Os autores realizaram uma revisão bibliográfica[6], a partir da qual destacam conceitos básicos, apresentam exemplos dos avanços obtidos (e expectativas) pela CT, e buscam apontar oportunidades e ameaças, além de destacar políticas que existem em diferentes países. Ao final, apresentam algumas sugestões sobre atividades que podem contribuir para as políticas publicas e, em particular, atividades que podem constar da agenda do CGEE como ator importante na formulação e promoção dessas políticas.

[6] Considerando a ampla e diversa bibliografia revisada, os autores optaram por mencioná-la no corpo do texto exclusivamente no caso de citações. Em outros casos, as principais obras e documentos revisados são apontados no rodapé.
A Dra. Ana Lucia Assad participou das reflexões iniciais sobre o tema e para a formulação do projeto, junto com a equipe do CGEE, Os autores a agradecem ainda pela leitura deste documento, pelos debates sobre as idéias nele exploradas e pelas sugestões recebidas.
Uma versão preliminar foi apresentada ao CGEE e discutida com o Dr. Esper Cavalheiro e Dr. Lélio Fellows. As reflexões e sugestões foram consideradas pelos autores para esta versão final.

2

MARCO REFERENCIAL/CONCEITOS

A CONVERGÊNCIA TECNOLÓGICA EM NÍVEL DA NANOESCALA - NBIC

2.1 Precedentes

A convergência, como a integração sinérgica de várias áreas e setores[7], não é um tema que se encontra disseminado, pelo menos com essa terminologia[8]. Porém, esse não é um fenômeno recente, nem se reduz às tecnologias. Tanto o debate quanto as manifestações concretas de interações do conhecimento, com impactos crescentes no campo científico e nas tecnologias, são tão antigos quanto as idéias sobre a unidade da Natureza (homem, evidentemente, incluído).

Um breve olhar sobre a história da ciência e da tecnologia é suficiente para mostrar como a interdependência e a fertilização cruzada entre diversas disciplinas tem levado à formação de novas disciplinas e à geração de novas tecnologias[9].

A formulação das leis de Newton, por exemplo, conduz seu próprio autor a desenvolver o cálculo diferencial, aproximando a Física e a Matemática; a partir da invenção da máquina a vapor – marco na Revolução Industrial - se desenvolveu a termodinâmica; nas fronteiras da Física e da Química surgiu a Físico-Química; igualmente, apareceu a Bioquímica; o desenvolvimento das leis de probabilidades, motivado em grande medida pelos interesses de jogos de azar, abriu novas possibilidades para o desenho e análise experimental de grande valor para os trabalhos de P+D; muito mais tarde, com os avanços na física do estado sólido, da eletrônica, das matemáticas - particularmente com o desenvolvimento da álgebra Booleana -, e com os logros da miniaturização na microeletrônica, a

---

[7] Este é o termo utilizado no Brasil, pelo MCT/CNPq, para biotecnologia, TICs e nanotecnologia. Ver CNPq, Diretório de Pesquisa, http://dgp.cnpq.br/buscaoperacional.

[8] Pode-se dizer que o tema vem sendo abordado sob as visões de inter e multidisciplinaridade, mas considera-se que essas abordagens não exploram integralmente a abrangência e a sinergia próprias do fenômeno da convergência. Nas últimas décadas, a maior parte dos trabalhos sobre convergência referem-se à convergência digital, aquela que se dá no campo das TICs, com a agregação de múltiplas funções em determinados produtos.

[9] Ver, entre outros, Wilson (1998); Damásio *et al* (2001); Ruppert Hall (1962); Arvonny, M. *et al* (1990). Mesmo nos momentos atuais, a convergência se dá em formas muito mais amplas do que no circuito fechado dessas quatro áreas. Por exemplo, ela pode se dar entre tecnologias tradicionais e modernas, como acontece com a interação entre a metalurgia e a nanotecnologia para produzir aços coloridos.

obtenção e utilização das fibras óticas, foi possível avançar na computação e na cibernética; isso, unido à utilização de satélites artificiais – resultado também dos avanços anteriormente mencionados – abriu o caminho da informática, que transformou qualitativamente todos os setores da vida econômica e social.

Os exemplos poderiam ser multiplicados, pois, ao longo da história da ciência e da tecnologia são inúmeros e reveladores. No entanto, o foco deste trabalho é sobre como o fenômeno da CT se manifesta nos dias atuais.

2.2 A compreensão e abrangência mais recentes da CT

Modernamente, a CT se caracteriza por rápidos avanços em múltiplas áreas do conhecimento científico e setores tecnológicos, a partir da fertilização cruzada entre duas ou mais áreas – quando os avanços em uma área possibilitam ou aceleram o progresso em outras e vice-versa. (SPOHRER & ENGELBART, 2004, p. 52)

Apoiadas em diferentes crenças e/ou visões, desenvolveram-se várias concepções e conceitos sobre essa característica do processo de geração do conhecimento e da inovação. Nesse conjunto, destaca-se, como uma referência mais abrangente, a visão sobre a unidade da Natureza e, associada a ela, os debates e expectativas sobre as possibilidades de unificação do conhecimento como via para a compreensão integral do mundo, em geral, e do homem, em particular.

Trazendo o objeto de análise para os tempos mais recentes, como solicitado pelo CGEE, parte-se do fato amplamente conhecido de que, nas últimas décadas várias tecnologias modernas com uma base científica sólida e inovadora têm alcançado uma posição avançada, com fortes impactos econômicos, ambientais e sociais. Elas são:

- A nanociência e a nanotecnologia;
- A biotecnologia e a biomedicina, incluindo a engenharia genética;
- A ciência e a tecnologia da informação e das comunicações, incluindo a computação e as comunicações avançadas.
- As novas tecnologias baseadas nas ciências cognitivas, incluindo a neurociência e os conceitos do enfoque sistêmico.

Novos conhecimentos científicos e tecnologias radicais estão surgindo aceleradamente como resultado da combinação entre esses campos, em uma aceleração e fortalecimento da CT, no qual se destacam as possibilidades de conhecimento e da utilização de componentes na nanoescala.

Neste caso, tomando a definição de Nordmann (2004, p.2), "...a convergência tecnológica consiste em sistemas de conhecimentos habilitadores no campo das NBIC que trabalham em conjunto, integrados na nanoescala para alcançar uma meta comum."

É possível dizer que a nanotecnologia tem possibilitado completar e integrar as conexões entre as três esferas anteriormente mencionadas (TICs, Biotecnologia e Ciências cognitivas), mesmo estando em uma fase ainda considerada incipiente, se comparada às expectativas existentes nos meios científicos e empresariais.

Na segunda metade do século XX, as Tecnologias da Informação e Comunicação (TICs) tornaram-se o eixo do processo de mudança tecnológica e exerceram papel central no processo de crescente globalização. Elas contribuíram para transformações radicais em praticamente todos os campos do conhecimento e das atividades humanas. Produziu-se uma Revolução Científica e Tecnológica, com um novo paradigma[10]: a geração e a utilização eficaz de conhecimentos substituíram o paradigma anterior baseado na produção barata de energia fornecida pelo petróleo. Vai-se da era energética para a era informacional[11], na qual os novos instrumentos têm permitido ampliar e fortalecer as crescentes interações entre ciência e técnica, podendo-se falar da "tecnociência" como uma unidade.

As TICs permearam todas as esferas do conhecimento e se converteram em habilitadoras (*enabler*) do desenvolvimento acelerado de tecnologias emergentes.

---

[10] Ver Kuhn, T. (1962). Um paradigma tecnológico pode ser entendido como uma revolução global tanto técnica como organizativa que transforma completamente a produção de bens e serviços em geral e estabelece uma nova fronteira de máxima eficiência (Perez, 1987. p. 39).

[11] Sobre o processo de convergência tecnológica possibilitado pelos avanços das TICs, os impactos em termos de reorganização de determinados campos científicos e aparecimento de novas fronteiras (ex. a biótica e a mecatrônica), bem como sobre impactos sociais e econômicos, ver Robin (1989, p. 11 e segts). É importante diferenciar o processo de CT que se aborda neste trabalho da convergência digital. Esta, obviamente um tipo de convergência tecnológica, dá-se no interior das TICs, ao possibilitar a agregação de diversas funções em um único equipamento – ex. quando se tem as funções de "celular-relógio-máquina fotográfica digital-comunicação eletrônica" reunidas em um aparelho.

A própria passagem para a era informacional foi possível pela convergência de conhecimentos científicos e técnicos anteriores e/ou contemporâneos, de várias disciplinas científicas. Os crescentes avanços dessa era têm como uma das principais motivações a necessidade de conhecimentos e instrumentos que possibilitem à ciência trabalhar com tamanhos cada vez menores e velocidade cada vez maior, de modo a explorar os complexos sistemas da Natureza. Tamanho (atomização), velocidade e complexidade são fatores centrais tanto na ciência quanto nas tecnologias modernas (BARROW, 1998, p. 29). É nessa direção que tem ocorrido o desenvolvimento dos sistemas computadorizados, fortalecendo o papel das TICs como habilitadoras do desenvolvimento científico e tecnológico e, em particular, da CT.

A partir dos anos 70, com o conhecimento da estrutura do material genético - a molécula do DNA (ácido desoxirribonucléico) - e o correspondente código genético, desenvolve-se a biotecnologia moderna, com destaque a uma de suas vertentes, a Engenharia Genética, ou seja, a técnica de empregar genes em processos produtivos, com a finalidade de obter produtos úteis ao homem e ao meio ambiente. Os métodos modernos permitem que os cientistas transfiram genes de interesse (e, conseqüentemente, características desejadas) originados de diferentes organismos (não apenas de organismos sexualmente compatíveis - o que amplia a variedade de genes que podem ser utilizados) de maneiras antes impossíveis e com grande segurança.

Os novos conhecimentos básicos na biologia, particularmente associados ao rápido desenvolvimento das TICs, possibilitaram grandes avanços na biotecnologia moderna. Criaram-se novas condições e parâmetros na organização social e na vida das pessoas, dependendo do acesso que se tem aos benefícios gerados.

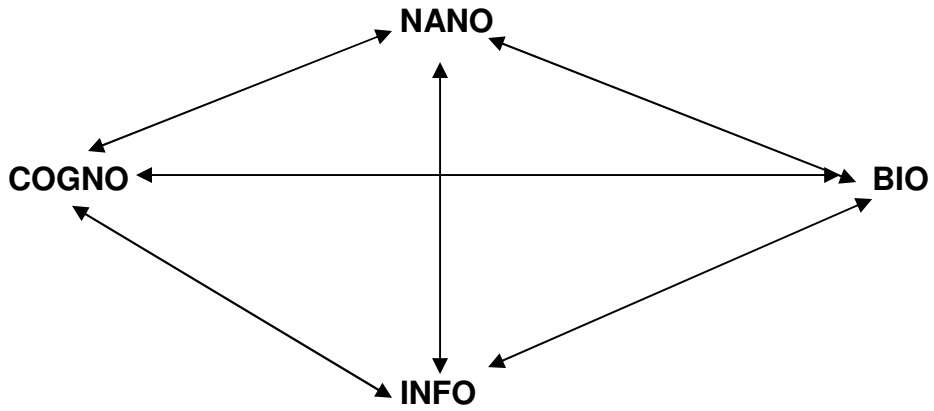
O uso intensivo da computação no projeto do genoma humano e em outros trabalhos de seqüência genética mostrou que uma nova forma de convergência começava a tomar impulso. A convergência tecnológica na nanoescala começava a aparecer.

No final do século XX, a nanotecnologia (em interação com as TICs) despontou como o grande elemento diferenciador da CT, possibilitando mais um passo

revolucionário na busca permanente pela compreensão da Natureza. Assim como a biotecnologia permitiu a criação de novos materiais orgânicos, a nanotecnologia permite a criação de novos materiais orgânicos e inorgânicos[12]. A ciência baseada no conceito unificado da matéria em nível da nanoescala provê novos fundamentos para a criação do conhecimento, a inovação e a integração tecnológica e tem aberto possibilidades completamente novas.

Nessas condições, a integração das NBIC aumenta de forma significativa o poder de transformação, dada a possibilidade de reprodução de estruturas e fenômenos da Natureza, que ocorrem na escala nano. Tudo parece indicar que o futuro da humanidade estará estreitamente relacionado ao domínio das modernas tecnologias e sua convergência, tendo a nanotecnologia como a Grande Facilitadora. [13]

Roco & Baindbridge (2002), autores de um dos trabalhos mais importantes sobre convergência tecnológica, representam a interação NBIC da seguinte forma:



Fonte: Roco & Baindbridge (2002, p. 47).

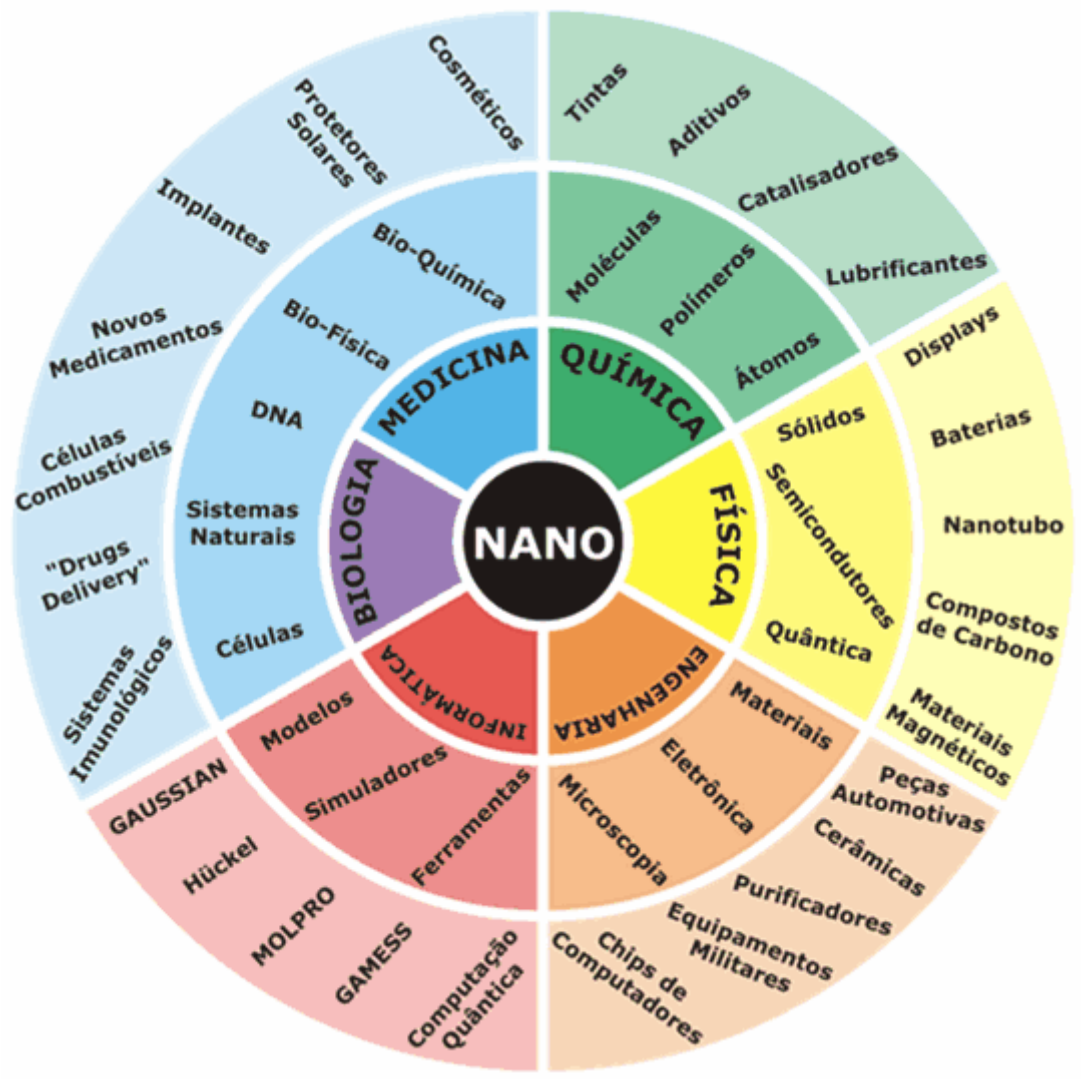
Esta figura, porém, não reflete com clareza o fenômeno da convergência atual:

- Em primeiro lugar, ela sugere relações ainda muito lineares, diretas, que não correspondem a grande parte das interações entre esses setores, as múltiplas possibilidades de combinação, nem o desencadeamento subseqüente de outras combinações possíveis, a partir dos resultados e desafios que surgem no curso da P&D e mesmo da utilização das novas tecnologias. Ou seja, a "complexidade" do fenômeno não é refletida nesta forma de representação.

[12] Ver Roethaermel & Thursby (2007).
[13] Sobre este tema ver Bainbridge & Rocco (2007)

- Em segundo, não fica evidente o papel central – particularmente habilitador – que a nanotecnologia tem assumido de forma crescente;
- Em terceiro, essa representação induz a pensar que a convergência se apresenta sempre e exclusivamente com todas os quatro setores NBIC. Nem sempre é assim. Em geral, a nano e as TICs estão presentes, pelo papel habilitador que exercem, mas não necessariamente a bio e a cogno aparecem juntas. Além disso, outras tecnologias se incorporam de forma significativa, como a ciência e a tecnologia dos materiais (por certo de grande importância atual) e a metalurgia.

A Fig. 2 abaixo nos traz uma representação utilizada no Canadá para o fenômeno da moderna convergência.



Fonte: Smith, 2004.

Neste caso, a nanotecnologia aparece como o fator central; nos demais níveis, encontram-se as outras tecnologias e áreas do conhecimento, bem como resultados e potenciais de aplicação. Percebe-se uma visão mais abrangente, indicando-se as conexões entre os diversos campos de pesquisa e de aplicação.

No entanto, essa figura também ainda não abrange todo o espectro da CT:

- Ela não expressa adequadamente as fertilizações cruzadas próprias do processo de convergência em toda sua complexidade;
- não indica claramente a participação das ciências cognitivas;
- tampouco reflete interação com ciências humanas e sociais, como colocam visões mais abrangentes.

Para representar de forma mais adequada (nunca com total clareza) essa fertilização cruzada, a sinergia que ocorre pela interação entre áreas e setores do conhecimento e tecnologias diversas, será necessário utilizar e/ou desenvolver ferramentas diferentes, muito provavelmente, aquelas sobre as quais têm se dedicado os teóricos da complexidade.

Na prática, para uma melhor identificação das possibilidades que aparecem ao longo dos processos de pesquisa e desenvolvimento é, sem dúvida, necessário um efetivo processo de monitoramento. Na pesquisa, em geral, isso fica sob a responsabilidade daqueles diretamente envolvidos no processo, principalmente pelo alto grau de incerteza e especificidades científicas que se colocam; no caso do desenvolvimento de tecnologias, alguns instrumentos, como o desenho de mapas de trajetória, desde que assumam características dinâmicas, podem ajudar.

Na seção 4 deste documento, serão abordadas as políticas de alguns países com relação a esses desafios associados à moderna CT. Antes, porém, completa-se este tópico referencial com uma síntese muito breve dos conceitos principais e da situação atual nos quatro setores que a compõem.

2.3 As modernas "tecnologias convergentes"- NBIC

NANOTECNOLOGIA

Abarcando a ciência da nanoescala, a engenharia e a tecnologia, a nanotecnologia envolve visualização (*imaging),* medições, modelagem e manipulação da matéria a essa longitude de escala[14].

> Nanotecnologia, dito de forma simples, é uma ciência relacionada à manipulação da matéria ao nível molecular, visando a criação de novos materiais, substâncias e produtos, com uma precisão de átomo a átomo. A Nanotecnologia está emergindo como a próxima revolução tecnológica, com eventuais efeitos sobre todos os aspectos da vida. De ambientalistas a estrategistas militares, há o consenso de que o crescimento da capacidade da construção molecular - manufatura molecular, fabricação molecular - mudará profundamente o mundo atual em que vivemos".[15]

Nanotecnologia é a compreensão e/ou a manipulação da matéria em dimensões de aproximadamente 1 a 100 nanômetros[16] (nm), produzindo fenômenos únicos que permitem aplicações novas. O diâmetro do DNA, nosso material genético, está na faixa de 2,5 nm; por outro lado, as células vermelhas de sangue têm aproximadamente 2,5 micrômetros.

A nanociência e a nanotecnologia apareceram oficialmente em 1981 com o microscópio *Scanning Tunneling Microscope*[17] inventado por Binning e Rohrer nos laboratórios de pesquisa da IBM em Zurique, pelo qual ganharam o Premio Nobel. Esta foi uma nova e poderosa ferramenta que permitiu a visualização de átomos individuais com uma claridade sem precedentes A partir desse momento, o mundo da nanoescala começou a ser compreendido cientificamente e a ser utilizado tecnologicamente de forma espetacular. A primeira demonstração radical das possibilidades da nanotecnologia aconteceu em 1989, quando uma equipe da IBM conseguiu soletrar IBM usando 35 átomos individuais de xênon.

---

[14]Definição da *National Nanotechnology Initiative* (NNI), um programa federal de P&D dos EE.UU., estabelecido para coordenar os esforços de múltiplas agências na ciência da nanoescala, engenharia e tecnologia. Ver http://www.nano.gov/html/facts/whatIsNano.html. Sobre este tópico, ver também Bozeman *et al* (2007); Chaves, A. e Shellard, R.(2005); Keyper, 2003; Galembeck e Rippel, 2004. Um conjunto de artigos sobre o tema se encontra em *Parcerias Estratégicas.* CGEE, Brasília, Número 18, agosto de 2004.

[15] *Wait Group Press* (tradução livre de Oswaldo Luiz Alves): Biblioteca LQES de Nanotecnologia. Disponível em:

http://lqes.iqm.unicamp.br/institucional/bibliotecas/bibliotecas_lqes_nanotecnologia.html. Acesso em: 01 out. 2007.

[16] Um nanômetro é equivalente a uma bilionésima de metro.

[17] Instrumento que permite obter imagens de átomos e moléculas utilizando-se uma agulha microscópica na qual se aplica uma tensão elétrica.

Há vários tipos de nanomateriais intencionalmente produzidos**.** A maioria pode ser classificada da forma seguinte:

- Materiais baseados no carbono. São compostos principalmente de carbono, mas comumente na forma de esferas ocas, elipsóides ou tubos. Estas partículas têm muitas aplicações potenciais, incluindo películas melhoradas e revestimentos, materiais mais fortes e leves e aplicações em eletrônica.
- Materiais baseados em metais. Incluem pontos quânticos[18] (*quantum dots*), nanoouro, nanoprata e óxidos metálicos como o dióxido de titânio.
- Dendrímeros. São polímeros construídos de unidades ramificadas. A superfície de um dendrímero tem numerosas cadeias finais que podem ser desenhadas para desempenhar diferentes funções; particularmente podem ser catalisadores úteis. Também, como podem ser tridimensionais, contêm no seu interior cavidades que servem para transportar fármacos dentro de organismo humano.
- Compósitos. Combinam nanopartículas com nanopartículas ou com maiores tipos de materiais. Nanopartículas, como as nanoargilas são utilizadas em partes de autos e em materiais de embalagem, por exemplo, para reforçar propriedades mecânicas, térmicas, e retardadores de chama[19].

Entre algumas das aplicações de objetos e dispositivos nanométricos se encontram:

- A nanoneletrónica. Está demonstrada a possibilidade de construir transistores muito menores que os atuais, usando nanotubos de carbono e moléculas orgânicas.
- Liberação de medicamentos. Macromoléculas nanomêtricas que armazenam moléculas de um fármaco ou de um princípio ativo para funcionar como vetores passíveis de transportá-las pelo organismo e controlar sua liberação em ambientes fisiológicos ou tecidos desejados.

---

[18] Um ponto quântico é um cristal semicondutor muito comprimido, consistente em centos ou milhares de átomos e cujo tamanho é da ordem de uns poucos nanômetros. Ao mudar o tamanho dos pontos quânticos mudam suas propriedades óticas.

[19] Ver US *Environmental Protection Agency* (2007, p. 7-10).

- Propriedades mecânicas dos nanomateriais. Determinados materiais podem tornar-se mais duros, mais leves ou mais resistentes, inclusive, com inusitadas propriedades. Em particular, os nanotubos de carbono são notáveis pelas suas propriedades mecânicas especiais, sendo, por exemplo, muito mais resistentes e leves que o aço.
- Compostos de polímeros e nanopartículas cerâmicas e metálicas. O material resultante pode mostrar propriedades distintas daquelas que caracterizam cada um dos seus componentes, assim como uma combinação dessas propriedades.
- Propriedades óticas dos nanomateriais. É possível controlar a cor da luz emitida por um objeto em escala nano pela adoção seletiva do seu tamanho para diferentes tipos de aplicações.
- Propriedades magnéticas dos nanomateriais. As propriedades magnéticas de uma nanopartícula dependem do seu tamanho. Por exemplo, partículas de ferro menores que 10 nm deixam de comportar-se como um imã. Estes materiais já vão encontrando aplicação em cabeças de leitura e gravação de discos de computadores[20].

Considera-se que nanotecnologia avançará para métodos de desenho sistemático e de inovação tecnológica, dirigindo-se a métodos de manufatura para escalas de produção mais amplas. Em termos produtivos, as expectativas associadas à nanotecnologia não abarcam somente as inovações industriais, mas estendem-se à criação de uma indústria genérica que penetrará e transformará outras indústrias.

A nanociência e a nanotecnologia têm experimentado um crescimento impressionante. Em menos de 10 anos um corpo de quase 120.000 cientistas em todo ou mundo terá se mobilizado nessa disciplina. Vários milhares de novas instituições têm sido criadas; as publicações (artigos e patentes) já ultrapassam cem mil e têm experimentado um rápido crescimento nos últimos 15 anos: 14% em artigos, comparados a uma média de 2% para C&T em geral (BONACORSI &

[20] Pinto de Melo & Pimenta (2004. p. 15-18); sobre a abrangência da nanotecnologia, ver, Chaves & Shellard (2005); na versão final deste documento serão apresentadas duas listagens, ainda que não exaustivas, sobre produtos já existentes que utilizam nanotecnologia e produtos sobre os quais as comunidades científicas e tecnológicas estão trabalhando ou têm expectativa de desenvolver.

THOMA, 2007). Os EE.UU. mostram liderança. A USPTO, no período 1976-2004, tinha concedido vários milhares de patentes e, ao final do ano 2005, estava processando cerca de 6.600 novos pedidos. As patentes japonesas estavam em redor de sete mil; as européias ainda estavam em números bem mais reduzidos (BOZEMAN & THOMA, 2007).

Os nanoprodutos representam um segmento que cresce rapidamente no mercado internacional de produtos de consumo e manufaturas. Eles estão nas peles das pessoas, na roupa, moradias, carros, fábricas e lojas; nanopartículas de titânio estão em protetores solares e tintas; nanotubos de carbono estão em pneus; nanopartículas de silício são usadas em lubrificantes sólidos e outros nanomateriais se encontram em xampus, cosméticos e cremes faciais. Até julho de 2007, estimava-se que cerca de 500 produtos com componentes em nanoescala já estivessem no mercado. (CEN, vol. 85, n/. 28, July, 9, 2007, p. 3)

Estima-se que as taxas de crescimento globais dos produtos que usam a nanotecnologia[21] serão de 8-21% para o ano 2015 aproximadamente. Quanto ao faturamento, a estimativa é que a venda mundial de nanoprodutos, incluindo tintas e cosméticos, em 2004, tenha atingido a casa dos 13 bilhões de dólares americanos. Há projeções que elevam esta cifra para vários trilhões, no ano de 2014; para 2015, a NSF estima que a nanotecnologia tenha um impacto de um trilhão de dólares americanos na economia global e empregará dois milhões de trabalhadores (WOODROW WILSON, 2006).

O mercado de nanoprodutos na China, em 2005, foi de $5,4 bilhões USD; deverá chegar a cerca de 31,4 bilhões em 2010; e a 145 bilhões, em 2015. A participação chinesa no mercado mundial desses produtos deverá ser superior a 6% em 2010 e cerca de 16% em 2015 (PHYSORG, 2005).

A despesa total em P+D deverá alcançar a cifra de US$12 bilhões em todo o mundo no ano 2010. Deverão aumentar significativamente os projetos bélicos e de segurança associados ao uso de nanotecnologias.

[21] Para um inventário de produtos da nanotecnologia, ver *A Nanotechnology Consumer Product Inventory*. http://www.nanotechproject.org/index.php?id=44.; Wilson, 2006; Kayser, 2007; Whitman, 2004; Roco, 2004; em revistas como a *Chemical and Engineering News*, em geral em todos os seus números, também se encontram noticias e artigos sobre produtos já em uso, pesquisas em curso, tanto nas universidades quanto em institutos e empresas.

Apesar desse desempenho, é necessário destacar que ainda se considera a nanotecnologia em um estágio inicial de desenvolvimento e os conhecimentos que deverão estar no centro da futura nanotecnologia[22] são objetos de investigação nos centros mais avançados em vários países.

É necessário realizar análises prospectivas e atividades de monitoramento que permitam sinalizar tendências e, ao mesmo tempo, indicar oportunidades e riscos – neste caso, se e quando as nanotecnologias poderiam trazer problemas de tipo físico, mental, ético, moral ou ambiental. Muitas tecnologias com componentes nano estão em fase inicial de desenvolvimento, considerada o melhor momento para antecipar problemas e riscos para desenvolver fundamentos e chegar a consenso sobre princípios éticos e morais dentro do que se poderia chamar a nanoética.

BIOTECNOLOGIA

A biotecnologia apóia-se sobre um conjunto de áreas científicas, incluindo a biologia molecular e a química. O descobrimento da estrutura do DNA permitiu alcançar, de forma rápida, novos produtos e processos. Posteriormente, a possibilidade de produzir o DNA recombinante (DNAr) conduziu à engenharia genética, base principal da moderna biotecnologia. Define-se a biotecnologia como: "o uso industrial do DNA recombinante (DNAr), a fusão celular e as novas técnicas de bioprocessamento"[23]

Fármacos obtidos por vias biotecnológicas bem como produtos e técnicas confiáveis para diagnóstico médico têm sido disponibilizados de uma forma relativamente rápida. Produtos médicos com propriedades de liberação paulatina - evitando a necessidade da ingestão de várias doses – e de liberação direcionada a alvos específicos já estão disponíveis no mercado. Foram desenvolvidas vacinas contra diversas graves doenças como: a hepatite B, a meningocóccica B, vacinas terapêuticas contra diferentes tipos de câncer, entre outras A

[22] Ver Rourke, 2007, p. 6; Whitesesides & Love, 2007, p. 15-23; Eckert, 2007;

[23] Vários são os conceitos adotados para biotecnologia. Neste trabalho optou-se por utilizar o conceito do *United States Congress Office of Technology Assessment* (USA OTA) (1991): *Biotechnology in a Global Economy.* Washington D.C.; USA OTA, US Government Printing Office. Sobre ou surgimento, desenvolvimento e visão integral da biotecnologia, ver Acharya (1999), Tzotos (1993), Arber & Brauscher (1999). Para uma análise do desenvolvimento da biotecnologia nos países do MERCOSUR, ver Delacha *et al* (2003). No caso de Cuba, incluindo a obtenção destas vacinas e outros fármacos, ver Thorstendottir *et al* (2004) e Sáenz (2005).

biotecnologia moderna apóia a promoção da saúde por meios de prevenção, de prognóstico, e terapêuticos assim como a reprodução humana e animal, com impacto inquestionável nos setores produtivos, na saúde, na agricultura e outros campos.

Esses avanços foram facilitados, em grande parte, pelo desenvolvimento das TICs e seus instrumentos, embora ainda sem a escala nano. Eles tornaram possíveis pesquisas mais complexas, com precisos sistemas de medição, registro e controle para garantir as chamadas boas práticas de pesquisa e de produção requeridas na pesquisa e produção de fármacos, entre outros produtos.

No processo crescente de CT, a biotecnologia avançará para a medicina molecular e os enfoques em nanosistemas e fármacos genómicos e biomateriais deverão estar cada vez mais integrados, a um passo acelerado, em produtos industriais (ROCO, 2004, p.4). O mesmo vale para a associação da medicina com a biologia celular no uso de terapias celulares, com a integração de diferentes tecnologias.

O complexo produtivo voltado para saúde é um dos principais campos de fertilização da CT, além do setor de defesa. Em países como o Brasil, nos quais este último não tem a mesma abrangência de pesquisa do que em países como os EUA, sem dúvida, aquele complexo se destaca quanto às oportunidades relacionadas ao processo de CT, ao lado das tecnologias voltadas para o meio-ambiente em geral.

Outro campo de aplicação da engenharia genética que tem fortalecido nos últimos tempos refere-se à energia, de modo particular os biocombustíveis. Destacam-se, neste caso, as pesquisas voltadas para a liberação da energia armazenada em plantas, ampliando o potencial de produção dessa energia.

Um tema que mereceria um capítulo a parte seria o uso da biotecnologia na agricultura. Os impactos no setor agrícola estão entre os mais importantes. Transformações genómicas em plantas; o potencial de uso rápido de RNA Interferente, da bioinformática e da nanotecnologia para obtenção de plantas enriquecidas, resistentes a estresse hídrico, com liberação controlada de

fertilizantes, e mesmo alimentos denominados nutracêuticos[24], são exemplos desse processo.

AS TECNOLOGIAS DA INFORMAÇÃO E DA COMUNICAÇÃO

Tecnologia da informação e da comunicação (TIC´s) é o termo coletivo para as diferentes tecnologias envolvidas no processamento e na transmissão de informação. Inclui a computação, as telecomunicações e a microeletrônica.

As TICs estiveram no centro da mudança de paradigma cientifico e tecnológico do século XX e continuam a provocar e/ou possibilitar transformações radicais em escala global. As fibras óticas reduziram grandemente os custos das comunicações. Outro importante desenvolvimento é o contínuo crescimento da capacidade e velocidade de computação e sua redução em tamanho. Tudo tende a converter-se em "inteligente" (máquinas, equipamentos, instrumentos, sistemas) e com dimensões reduzidas.

As rápidas mudanças nas telecomunicações e na computação, unidas aos avanços na inteligência artificial, influíram e continuarão a influenciar fortemente na otimização dos sistemas e métodos de educação e treinamento; a aprendizagem tende a ser cada vez mais rápida e efetiva; a computação e os métodos associados na formação de imagens serão dinâmicos, tridimensionais e multimídia. Considera-se que isso contribuirá para mudar formas de pensamento, cultivando processos mentais que são pictóricos, multidimensionais e dinâmicos[25].

Em termos econômicos, o impacto das TICs está baseado em várias razões principais:

- Elas permeiam todos os demais setores da produção primária, até o setor dos serviços, no qual se encontra a maior demanda das TICs;
- O potencial de mudanças nas cadeias setoriais que elas engendram.

Com o avanço das ciências cognitivas e a convergência dessas áreas com a nano, esperam-se avanços ainda inimagináveis. Elas serão ancoradas em novas

[24] Alimentos transformados industrialmente que são de benefício para a saúde humana.
[25] Ver Coates, 1999; Rocco, 2004; Insumo sobre as tecnologias de informação para o projeto Brasil 3 Tempos, NAE/CGEE (2006); todos os demais autores indicados sobre o tema da convergência tratam dessas tecnologias do conjunto NBIC.

arquiteturas, desenho tridimensional, funcionalidade e integração com desenvolvimentos aplicados em áreas tais como biosistemas e tecnologias baseadas no conhecimento. Cria-se uma oportunidade especial pela crescente habilidade para analisar grandes e complexos sistemas hierárquicos.

Muitos são os exemplos de CT das TICs com a nanotecnologia – seja para a geração de produtos específicos deste setor, seja a viabilização de tecnologias que, por sua vez, se conjugam em pesquisas e produtos no campo da biotecnologia e das ciências cognitivas. Alguns exemplos[26] podem ser: o desenvolvimento de técnicas para a miniaturização de semicondutores; as pesquisas de rádios que têm nanotubos de carbono como componente-chave; nova geração de chips para microprocessadores – escala nano; etc.

A CIÊNCIA COGNITIVA

A partir da década de 1990, tem-se gerado uma grande quantidade de conhecimentos acerca da estrutura, funções, organização e operação cerebrais. A ciência cognitiva está enfocada em explicar o cérebro, a mente e o comportamento humano com base na compreensão dos processos físico-químico-biológicos em nível do neurônio e com um enfoque sistêmico.[27] Pode-se dizer que:

> A ciência cognitiva é o estudo interdisciplinar da mente, da inteligência e/ou do comportamento humanos baseados na compreensão dos processos físico-químico-biológicos em nível do neurônio e com um enfoque sistêmico abarcando a filosofia, a psicologia, a inteligência artificial, a neurociência, a lingüística e a antropologia[28].

Suas origens datam da metade dos anos 50s, quando pesquisadores de diferentes campos começaram a desenvolver teorias sobre a mente baseadas em representações complexas e procedimentos computacionais. Ou seja, já como parte da convergência entre modernas tecnologias, com as possibilidades abertas pelos conhecimentos e instrumentos próprios das TICs.

Os cientistas do campo neurológico estão interessados diretamente na natureza do cérebro humano, um dos desafios na busca pela compreensão da Natureza e

[26] CEN, 2007, respectivamente: vol. 85, n.47, Nov. 10, p. 10; vol. 85, n. 44, Oct. 29, p. 29; McCoy, 2007:10;
[27] Sobre as idéias desenvolvidas neste tópico, ver Tagard, 2004, Coates,1999; Roco & Montemagno, *op.cit*; Fuchs, 2006.
[28] Baseada em Thagard (2004) e Roco & Montemagno (*op. cit.,* p.4).

sem o que nunca se poderá (se é que algum dia isso seja possível) atingir o grande objetivo de associar matéria, vida e mente. Têm-se desenvolvido métodos computacionais que simulam aspectos do desempenho humano. O desenho e a experimentação com esses métodos computacionais são os métodos centrais utilizados pela inteligência artificial. Múltiplos estudos têm permitido identificar as regiões do cérebro que participam nas imagens mentais e na interpretação de palavras e nas áreas estimuladas pelos sentidos. Também tem sido possível observar o comportamento de pessoas cujos cérebros tenham sofrido traumas e/ou cujas funções tenham se deteriorado, de modo a contribuir para sua recuperação. A ciência cognitiva está atenta à necessidade de contemplar as operações da mente em determinados ambientes físicos e sociais, indo além, portanto, dos limites da ciência básica. Os antropólogos cognitivos têm investigado, por exemplo, as similitudes e diferenças entre determinadas culturas para denominar cores.

Os avanços na nanociência são imprescindíveis para que também se possa avançar no campo dos conhecimentos cognitivos. Porém, levantam temas éticos, sociais e legais em relação às pessoas e ao cérebro. Benefícios potenciais da aplicação de neuroimagens, psico-farmacologia e neurotecnologia a doentes mentais e a pessoas saudáveis têm que ser cuidadosamente avaliados e contrapostos a danos potenciais. Os assuntos concernentes aos conceitos de humanidade devem ser tratados ativamente mediante debates públicos e interdisciplinares.

3

CONVERGÊNCIA TECNOLÓGICA: RESULTADOS, IMPACTOS, OPORTUNIDADES E AMEAÇAS

3.1. Expectativas/resultados

Tanto a produção quanto estilos de vida têm sido profundamente modificados e continuarão a apresentar mudanças que representam passos de uma "nova era". As possibilidades que se buscam atendem aos anseios de "…moldar as forças da natureza…", dando aos seres humanos maior poder de intervenção, de forma que passem de "observadores passivos a ativos coreógrafos da Natureza." Essa nova dinâmica da ciência e da tecnologia teve como marcos, no século XX, a revolução quântica, a revolução molecular e a revolução computacional. As expectativas para o século XXI, os novos passos, segundo Kaku (1997, p. 4-10), poderiam ser assim resumidos: desenvolver habilidades para manipular e coreografar novas formas de matéria; desenvolver habilidades para manipular a inteligência de acordo a desejos e necessidades; desenvolver habilidades de manipular a vida. Ou seja, o século XXI se caracterizaria pela passagem da descoberta para o "domínio" da Natureza. O caminho nessa direção se dá pela sinergia, pela fertilização cruzada, pela crescente polinização (ou seja, pela convergência, na forma como tratada neste documento) entre os conhecimentos sobre os pilares da ciência moderna: a matéria, a vida e a mente.

A integração crescente das NBIC deve intensificar-se, seguindo a tendência de criação de produtos e serviços fundamentalmente novos, tais como novos materiais, mecanismos e sistemas para a construção, o transporte, a medicina e outras novas tecnologias emergentes. A pesquisa científica estará na confluência da física, da química, da biologia, a matemática e a engenharia. A nanotecnologia, a biotecnologia e a tecnologia de informação desempenham papel cada vez mais decisivo nas tarefas de pesquisa, desenho e produção. As indústrias utilizam, cada vez mais, processos biológicos. As ciências cognitivas permitirão melhores vias para desenhar e usar os novos processos de produção, produtos, serviços, assim como novas formas de organização.

Considera-se que, com o avanço da nanotecnologia, a convergência tecnológica abre as possibilidades, inclusive, de criar sistemas que manifestem propriedades e comportamentos normalmente atribuídos a sistemas vivos[29]. Isso porque pode se dizer que os sistemas vivos resultam da montagem exata da matéria na nanoescala, com instruções prescritas para o transporte e transdução[30] de informação entre agregados (*clusters*) supramoleculares. A convergência tecnológica entre a nanotecnologia, a biotecnologia e a informática permite construir organelas, ou seja, estruturas subcelulares funcionais com propriedades resultantes da interação entre os componentes do sistema.

As expectativas são imensas e é muito difícil predizer até que ponto se poderá avançar. No entanto, os resultados e impactos já identificados e aqueles que se vislumbram têm uma abrangência ímpar.

Alguns exemplos mencionados na literatura são:

Roco (2007, p.4) expressa que a convergência tecnológica tem várias características e resultados em longo prazo:

- Pode ser descrita como a complexidade de grandes sistemas dinâmicos com muitas variáveis;
- Conduz a novas e poderosas ferramentas;
- Oferece uma ampla plataforma tecnológica (para a indústria, a biomedicina, as comunicações, a criação de conhecimento, o meio ambiente e um conjunto indefinido de aplicações potenciais)
- Tem ampliado e mudado as capacidades produtivas com a promessa de resultados mais eficientes.
- Reverteu a tendência de especialização de disciplinas científicas, provendo conceitos unificadores para a pesquisa e a educação e conduzindo a sistemas integrados em engenharia e tecnologia;
- Converteu-se num dos motores principais da mudança tecnológica e econômica, assim como da concorrência industrial;

[29] Ver Montemagno, 2004, p. 39-46.
[30] Transferência de material genético de uma bactéria para outra através de um bacteriófago.

- Tem influenciado a velocidade e o alcance da P&D que excede por enquanto a capacidade de reguladores para avaliar implicações humanas, ambientais e sociais;

As possibilidades e expectativas relacionadas à melhoria do desempenho humano e social, em decorrência dos avanços permitidos pela CT (alguns casos com impactos já observados), poderiam ser agregadas em seis áreas principais[31]:

- Expansão do conhecimento humano e a comunicação;
    - Obtenção de tecnologias de comunicação altamente efetivas, incluindo interações cérebro a cérebro;
    - Aperfeiçoamento de interfaces homem-máquina, incluindo a engenharia neuromórfica[32];
    - Dispositivos conectados entre o cérebro humano e as máquinas transformarão o trabalho e poderiam permitir uma melhor qualidade de vida.
    - Sensores e computadores usáveis e cômodos poderiam ampliar a consciência de cada pessoa sobre suas condições de saúde, meio ambiente e informações de interesse.
    - Os robôs e os *softwares* serão muito mais úteis para as pessoas
    - As pessoas poderão aprender, com rapidez cada vez maior, novos e mais confiáveis conhecimentos e habilidades.
    - Uma melhor compreensão do corpo humano e do desenvolvimento de ferramentas para a interação direta homem-máquina tem aberto completamente novas oportunidades. Recentes descobrimentos, por exemplo, relacionados com a fisiologia da retina dos mamíferos, junto com os últimos desenvolvimentos de arquitetura computacional e outros

[31] Roço & Bainbridge, 2002b, p. x – xi; Roco & Bainbridge, 2002a, pp. 16-17; Nordman, 2004; Rickerby, 2006. A agregação de temas/resultados/impactos em cada uma das seis áreas, como feito pelos autores referenciados, é um exercício preliminar e tentativo. Há dificuldades para fazer tal agregação, principalmente pelo fato de muitos resultados da CT causarem impactos que, muitas vezes, não se restringem a apenas uma área.

[32] A engenharia neuromórfica é uma nova discipline interdisciplinar baseada na biologia, a matemática, a ciência da computação e a engenharia para desenhar sistemas neurais artificiais.

desenvolvimentos da informática permitem prever uma nova geração de processadores de imagens.

- Acesso instantâneo à informação necessária em qualquer parte do mundo.
- Engenheiros, artistas, arquitetos e desenhistas experimentarão habilidades criativas tremendamente expandidas, com uma variedade de novas ferramentas, assim como mediante uma compreensão melhorada das fontes da criatividade humana.
- A exploração espacial poderá contar com eficientes veículos, a construção robótica de bases extraterrestres e a exploração rentável dos recursos da Lua e outros planetas.
- O transporte poderá ser seguro, barato e rápido devido a sistemas de informação ubíquos e em tempo real, a desenhos de veículos altamente eficientes e ao uso de materiais sintéticos e máquinas fabricadas desde a nanoescala para aperfeiçoar seu desempenho.
- Considerando a CT ampliada, a pesquisa em ciências sociais pode guiar a computação ambiental em tal forma, que os usuários possam adquirir informação mais rapidamente acerca do espaço e situações nos que eles se moverão e atuarão.

- <u>Melhorias na saúde humana e nas capacidades físicas</u>
  - Mudanças revolucionárias na atenção à saúde deverão ser ocorrer. Muitos avanços já são observados, ampliando de forma extraordinária as capacidades humanas e as possibilidades de enfrentamento de enfermidades;
  - As aplicações no campo da "nanobiomedicina" ou nanotecnologia biomédica devem avançar ainda mais nas áreas de diagnóstico de doenças, materiais bio-compatíveis e sistemas de entrega dirigida de medicamentos (*drug delivery*); já estão disponíveis técnicas de diagnóstico *in vitro* utilizando biosensores e biochips; avanços em bioengenharia incluem nanoestruturas biomiméticas[33] para implantes

[33] Materiais que imitam sustâncias naturais biológicas.

cirúrgicos e engenharia de tecidos; sistemas terapêuticos usando nanoparticulas para o envio dirigido de medicamentos a células com tumores estão sendo desenvolvidos[34]; a nanotecnologia abre as portas para a modelação em nível molecular. As moléculas de uma célula nervosa, por exemplo, podem ser combinadas com aquelas de um sensor artificial para recuperar a visão em determinados casos de cegueira; a CT possibilita usar substratos biológicos, como nos chips de DNA, para diagnósticos de saúde ou ambientais;

- O desenvolvimento de uma medicina personalizada, a partir do emprego da genética para entender a natureza das enfermidades e identificar terapias aas quais o paciente apresente maiores chances de melhor resposta. Sem dúvida, isso só se coloca como uma possibilidade pela disponibilidade de técnicas e instrumentos das TICs e da nanotecnologia. (MULLIN, 2007, p. 42)
- Métodos para monitoramento cerebral, com promessas para tratamento de traumas cranianos e derrames, para soluções a questões sobre a aprendizagem, etc., estão sendo pesquisados em esforços que conjugam a engenharia biomédica, a engenharia elétrica e a ciência da computação, além das contribuições que podem advir dos avanços em nanotecnologia;
- O alivio da degenerescência física e cognoscitiva comum no envelhecimento. O corpo humano poderia ser mais durável, saudável, mais energético, fácil de reparar e mais resistente a diferentes tipos de tensões, ameaças biológicas e processos de envelhecimento.
- Muitas inabilidades físicas e mentais poderão ser compensadas e erradicarem-se algumas desvantagens que tem afetado a vida de milhões de pessoas.
- A criação de ambientes sustentáveis e “inteligentes”, incluindo a neuro-ergonomia;

[34] Já há pesquisas para aplicação de nanotubos em criatura viva, em larva’s que atacam frutas, por exemplo, técnica que poderá resultar em aperfeiçoamento no diagnostico de doenças. ((CEN, Oct, 1, 2007, p.30)

- Um exemplo que demonstra bem as perspectivas da CT no campo da saúde são as iniciativas na pesquisa em Câncer, nos EUA. Um Plano para nanotecnologia em câncer foi desenvolvido por um Grupo de Trabalho em Nanotecnologia em Câncer e tem como plataforma de operação a NCI/*Alliance for Nanotecnology in Cancer*. Esse plano descreve como acelerar a aplicação da nanotecnologia para a pesquisa e tratamento do câncer, enfatizando a necessidade de fertilização cruzada entre disciplinas e cooperação entre os setores para desenvolver e implementar os benefícios no campo da saúde pública. A iniciativa compõe-se de quatro programas: Centros de Excelência em Nanotecnologia/Câncer; Plataformas Cooperativas para Nanotecnologia/ Câncer; Treinamento em pesquisa multidisciplinar e desenvolvimento de equipes; e Laboratório de Caracterização em Nanotecnologia.[35]

- Estímulos para resultados grupais e sociais
  - Um dos enfoques principais das ciências e tecnologias convergentes está dirigido às atividades humanas básicas, tais como melhorar a eficiência no trabalho, melhorar a aprendizagem, aumentar a capacidade física e mental do homem, assim como a interação grupal, a visualização e a criatividade.
  - Indivíduos e equipamentos poderão ser capazes de comunicar-se e de cooperar vantajosamente aumentando a efetividade de grupos, organizações e sociedades multinacionais.
- Fortalecer a segurança nacional;[36]
- Unificar ciência e educação
  - A educação formal será transformada em um currículo unificado mais diverso baseado num paradigma intelectual abarcador e hierárquico para entender a arquitetura do mundo físico desde a nanoescala até a escala cósmica.

[35] www.cancer.gov (acesso em 1o de junho de 2008); Ver CEN, Nov. 19, 2007, p. 19;
[36] Na referência está expresso assim; porém este seria o enfoque das grandes potências. Realmente o que se produzirá – e já está acontecendo, como se verá depois – e um fortalecimento da indústria bélica e o intenso uso sem adequado controle da nanotecnologia e das TICs.

- O trabalho dos cientistas se revolucionará importando enfoques pioneiros de outras ciências.

- <u>Reformar os negócios e as organizações</u>
  - Novas estruturas organizativas e princípios gerenciais baseados em comunicações rápidas e confiáveis de informações necessárias poderiam aumentar grandemente a efetividade das administrações em negócios, educação e governo.
  - Máquinas e estruturas de todo tipo poderão ter exatamente as propriedades desejadas.
  - Muitas fábricas estarão organizadas ao redor de tecnologias convergentes e capacidades aumentadas homem-máquina em forma de "ambientes inteligentes" que permitirão alcançar os máximos benefícios, tanto da produção em massa, quanto a adequada ao desenho do usuário.
  - A agricultura e a indústria alimentícia aumentarão seus rendimentos em geral e reduzirão os resíduos mediante redes de sensores baratos e inteligentes que monitorarão constantemente as condições e necessidades das plantas, animais e produtos agropecuários.

Roço e Bainbridge (2003, pp. 7-9) apresentam ainda outro tipo de agrupamento, por produtos e processos resultantes da convergência NBIC:

- Processos e produtos híbridos:
  - ✓ Nanoneletrónica inspirada pela biologia;[37]
  - ✓ Biochips com funções complexas;
  - ✓ Arquiteturas moleculares;
  - ✓ Aplicações nanobiotecnológicas em aviões.
- Produtos usados fora do corpo humano:
  - ✓ Dispositivos e sistemas neuromórficos de engenharia;
  - ✓ Fármacos derivados genómicos;
  - ✓ Ferramentas bioinformáticas.
- Produtos para estimular as capacidades mentais e físicas do corpo humano
  - ✓ Sensores artificiais;

[37] Sobre este tema ver Rourke (2001).

- ✓ Substituição de órgãos;
- ✓ Implantações cerebrais para enfermidades como Parkinson e epilepsia;
- ✓ Próteses nervosas.

- Produtos e serviços para facilitar a criatividade grupal e os resultados sociais:
  - ✓ Redes com novos equipamentos de conexão e novas linguagens;
  - ✓ Simulações realísticas de fenômenos e processos realizados em nível de nanoescala.

- Atividades relacionadas com a educação
  - ✓ Entender as conexões entre as funções do cérebro e a educação;
  - ✓ Uso de ambientes virtuais e sistemas de realidade virtual para a educação e o treinamento.

- Reestruturação de organizações e negócios.
  - ✓ Empresas adaptativas em função de produtos da NBIC;
  - ✓ Criação de ambientes de trabalho centrados no homem;
  - ✓ Organizações flexíveis com métodos para a nanomanufatura híbrida.

Todos os avanços trazem em si expectativas e possibilidades de melhorias na qualidade de vida para toda a sociedade (saúde, ingressos econômicos, cognição, comunicação e democratização).

Mas não se pode esquecer que os benefícios, de modo especial aqueles mais abrangentes em termos dos grupos sociais atingidos, não se realizam automaticamente, apenas pela disponibilidade de conhecimentos e de tecnologias. Os fatores políticos, econômicos e sociais influenciam de forma importante e não podem ser menosprezados na análise dos impactos da CT.

Além disso, como em grande parte das tecnologias, os riscos e ameaças não podem ser esquecidos. De um lado, riscos associados aos processos, produtos e seus componentes, muitos deles não totalmente conhecidos; de outro, riscos ou ameaças associadas ao uso dos conhecimentos e tecnologias. A energia nuclear é o exemplo tradicional mais evidente desse fato: tanto pode ser usada para promover a saúde, para gerar energia e outros benefícios ao homem e aa sociedade em geral, como pode ser usada para construir uma bomba ou outras armas. Pelos exemplos mencionados, também é fácil compreender que as implicações psíquicas e sociais serão, com certeza, significativas.

Essa dimensão social da CT e seu tratamento é um dos grandes desafios que se colocam para os atores diretos no processo de CT e para a sociedade em geral, como se verá a seguir.

3.2 Riscos e ameaças

Apesar da evolução do conhecimento científico e das possibilidades tecnológicas, bem como das promessas para a sociedade e para o ser humano, nem a integração das tecnologias modernas, nem o impacto dessa CT, são ainda bem compreendidos[38]. Provavelmente, nunca o serão de forma integral. Se não há limites previsíveis para o avanço do conhecimento, e se o processo e essencialmente dinâmico, não se pode pretender uma compreensão total e final. Este também é um processo cumulativo, que, para acompanhar a CT, deve ser contínuo, dinâmico e flexível.

Deve-se reiterar que, apesar dos espetaculares avanços alcançados no campo da nanotecnologia e as suas aplicações, este setor e, consequentemente, sua convergência com outros setores e áreas, está ainda em um estágio embrionário. Falta muito por descobrir e desenvolver para chegar a algumas das visões prospectivas, aparentemente fantásticas ou de ciência ficção, mas que, dado o atual nível de conhecimentos e os grandes esforços C&T, podem chegar a ser realidades tangíveis dentro de prazos relativamente breves. Os resultados e impactos têm sido e continuarão a ser, sem dúvida, altamente relevantes, mas também inesperados e difíceis de predizer.

Nessas condições, aumentam as incertezas. Há necessidade de uma atenção permanente aos riscos e ameaças, muitas vezes embutidos nas mesmas tecnologias que podem representar grandes oportunidades e trazer grandes benefícios, dependendo da sua utilização. Muitos dos benefícios e riscos estão em função das suas aplicações respectivas.

Nas análises que já se preocupam com <u>ameaças</u> (riscos conhecidos) que podem advir com uso indiscriminado e descontrolado das tecnologias e possibilidades já abertas pela moderna CT, encontram-se alguns destaques:

- Criação descontrolada de formas de vida;

[38] Para uma discussão sobre esta questão dos riscos, ver Rourke, 2008; Dexler, 1986; Roco, 2007; Smith, 2002; Sententia, s/d; Wilson *et AL,* 2002, p. 289-290;

- redução da Biodiversidade;
- desestabilização da engenharia ambiental;
- concorrência trans-humana: biológica & cibernética;
- bombas genéticas de tempo;
- perda da democracia nas sociedades;
- maiores desigualdades sociais;
- desenvolvimento de armas de ainda maior poder letal;
- aumento da brecha entre os países desenvolvidos e os do Terceiro Mundo.

Indicam-se ainda possíveis riscos complexos e de elevado impacto negativo de tipo social, ambiental, bem como questões éticas importantes, que devem ser objeto de monitoramento permanente, desde o momento em que um projeto é iniciado até avaliações *ex-post*. Vejamos alguns exemplos:

- Muitos dos resultados da P&D moderna têm fortalecido as possibilidades de crescente longevidade do ser humano. A esse impacto, em princípio positivo, vincula-se a necessidade de criar bancos de dados atualizados sobre o funcionamento integral do corpo e do modo de vida de cada indivíduo. Logicamente, esses bancos devem ser permanentemente monitorados para prevenir ou corrigir qualquer desvio que represente um perigo para a saúde. Por outra parte, isso não permitiria uma intrusão, um controle sobre a atividade da pessoa? Essas informações não poderiam ser utilizadas com outros fins, não necessariamente vinculados à saúde humana?
- *Chips* poderão ser introduzidos no cérebro humano para curar pessoas com grande retardo mental, com seqüelas de acidentes, ou com esquizofrenia. Mas, se existe a possibilidade de introduzir um *chip* que permita controlar ou modificar a conduta humana em diferentes direções, poder-se-ia estar de acordo com essa prática de forma indiscriminada? Essa técnica não poderia ser utilizada também para prejudicar pessoas? Para criar comportamentos socialmente perniciosos? Autodestrutivos? Como se poderia controlar o seu uso?
- Se chegarmos à capacidade de compreender completamente a estrutura da matéria, então será possível produzir qualquer produto, incluindo os materiais biológicos, podendo chegar até o domínio da genética. A possibilidade de

produzir pessoas mais saudáveis, mais fortes, não abre também a possibilidade de uma sociedade *"orwelliana?*

- Em uma visão de mais longo prazo, considera-se a possibilidade de desenvolver nanorrobôs ou conjuntos computadorizados, dotados de inteligência artificial (AI). Verdadeiras máquinas pensantes, capazes de produzir desde moléculas até compostos mais complexos; de realizar funções racionais que até agora só o homem pode realizar; e capazes também de auto-reprodução. Estas máquinas se conhecem como montadores (*assemblers)* moleculares[39].

  Se isso se concretizar, tais "montadores" poderão produzir tudo o que os ribosomas[40] podem e muito mais. Eles poderão fazer tudo o que a Natureza faz. Por outra parte, montadores perigosos podem se espalhar rapidamente sem que exista nada para prevenir esta situação. Isto se há chegado a conhecer como o problema *"gray goo"*[41]. Atualmente, em muitos laboratórios se trabalha para desenvolver este tipo de equipamento. A ameaça de um *"gray goo"* indica que trabalhar com essas máquinas – assim como todos os processos de convergência na nanoescala – exige grandes cuidados para evitar qualquer acidente.

  Alguns Estados, tratando de manter uma supremacia militar podem desenvolver estes montadores, para, por exemplo, difundir germens, vírus e diferentes doenças. Acordos sérios, normas e rigorosos controles internacionais serão necessários. Dexler (1986, p. 171) lança a pergunta:

> Que acontecerá na ordem mundial quando ensambladores e a engenharia automática eliminarão a necessidade para a maior parte do mercado internacional? Como a sociedade mudará quando os indivíduos possam viver indefinidamente? Que faremos quando os ensambladores replicadores possam fazer quase tudo sem o trabalho humano? Que faremos quando os sistemas AI possam pensar mais rápido que os humanos?

---

[39] Um montador (*assembler)* molecular é um dispositivo capaz de guiar reações químicas posicionando moléculas com precisão atômica. Sobre este tema ver Drexler, *op. cit.* e Baum, 2003.

[40] O ribosoma é a maquinaria produtora de proteína na célula humana (Webster's New World. Dictionary of Science).

[41] O termo *gray goo* se utiliza freqüentemente nos relatos de ciência ficção. O *goo* é uma massa grande de nano-máquinas auto-replicáveis de pequena estrutura. O *gray goo* seria o momento no qual *goos* descontrolados ou resultantes de uma mutação acidental consumiriam toda a matéria vivente na Terra, ao mesmo tempo em que continuam replicando-se. Uma espécie de Armagedon.

- O desenvolvimento das tecnologias militares é um tema que provoca grandes preocupações. O refinamento de sistemas de armamentos existentes e novos, mediante a aplicação da nanotecnologia e a sua convergência com outras tecnologias, pode conduzir a outra carreira armamentista ou a guerras cada vez mais destrutivas. A militarização proposital e ativa da nanotecnologia está bem estabelecida com aplicações potenciais que se estendem por uma gama completa de capacidades ofensivas e defensivas e com intimidantes e assustadoras implicações (ALTMANN, 2006). O Departamento de Defesa dos EUA considera a nanociência como uma área estratégica de pesquisa *(*MURDAY*,* 2003*);* o *Soldier Institute for Nanotechnologies*, no MIT, tem um contrato de USD$50 milhões do Exército norte-americano e trabalha em parcerias com um consórcio industrial (MIT, 2006). Quem controlará os trabalhos de institutos dessa natureza, cujas atividades são consideradas como segredo?

Esses são apenas algumas das questões que a moderna CT tem despertado. Muitas outras podem ser identificadas a partir de tecnologias disponíveis, em uso ou prestes a serem aplicadas. Os debates sobre os transgênicos – já "antigos" - , sobre as células tronco e vários outros no campo da bioética são exemplos da complexidade dessas questões. Eles demonstram a necessidade de uma reflexão ampla e permanente, seja para evitar riscos importantes para o ser humano e para o ambiente, seja para não criar dificuldades para o próprio processo científico e tecnológico. A pauta recente e atual do Supremo Tribunal Federal no Brasil mostra o grau de complexidade, amplitude e conseqüências a que podem ser alçadas tais questões.

Portanto, principalmente quando se fala em termos de políticas públicas - no âmbito das quais estarão as regulamentações, onde os incentivos e controles podem ser feitos de forma legítima, pelo poder de Estado -, é imprescindível e inadiável desenvolver esforços de reflexão relacionados aos desafios colocados pelo moderno processo de geração e utilização de conhecimentos e tecnologias. Esses desafios referem-se aos riscos e ameaças, mas também às condições necessárias para que se possa participar desse processo e usufruir de seus benefícios.

3.3 Os novos desafios

A CT que caracteriza cada vez mais fortemente o moderno processo de avanço do conhecimento e inovação já se encontra em um patamar de complexidade que não permite mais isolar ciência e técnica nem desconsiderar a relação Ciência, Tecnologia e Sociedade, no sentido mais amplo deste termo. Os desafios incorporam elementos dessa complexidade e têm elementos que se intercalam e influenciam mutuamente, em processos dinâmicos. De toda forma, destacam-se a seguir alguns tópicos relacionados aos quais há desafios importantes e que devem ser observados para a elaboração de políticas e construção de estratégias com vistas a favorecer a inovação e ao processo de CT.

Pesquisa

A "nova era" caracterizada pela CT das modernas tecnologias, tendo a nanotecnologia como habilitadora principal, demanda uma nova forma de ver as disciplinas, de organização da ciência e das atividades científicas e tecnológicas e, de modo particular, as habilidades múltiplas, mas integradas, que devem compor o novo perfil dos recursos humanos.[42] Alguns desses desafios são mencionados a seguir, como exemplos de temas que devem ser explorados para a construção das estratégias e políticas relacionadas à ciência e à inovação. Não estabelece, em principio, uma hierarquia entre eles. São aspectos de uma questão que devem ser analisados em suas múltiplas conexões e interações e tomados em consideração nas políticas científicas e tecnológicas, nas formas de apoio, de organização e de execução das atividades científicas e tecnológicas.

- integração versus individualidade das áreas do conhecimento e setores da tecnologia.

A CT subentende a fertilização cruzada não apenas de tecnologias já desenvolvidas, mas também de princípios básicos sobre os quais se debruçam os pesquisadores nos diversos campos do conhecimento científico. Dessa forma, é muito difícil isolar campos ou aspectos nos quais os impactos e os desafios associados à CT podem ser identificados – pois todos são fortemente conectados.

[42] Sobre os temas tratados neste tópico, Ver, entre outros, Khushf, 2003; Nordmann, 2004; Pinto de Melo & Pimenta, 2004; Bozeman *et al,* 2007; Roethaermel e Thursby, 2007;

O panorama fragmentado das ciências, ainda prevalecente, estabelece hierarquias entre as disciplinas: a Física é a base; a Química se constrói sobre a Física; a Biologia sobre ambas. Porém, em nível da nanoescala, essas disciplinas não mostram tal relação de dependência, não existem hierarquias. A velha divisão entre "ciência básica" e "engenharia" também não é mais aplicável O que antes era do domínio da biomedicina, da tecnologia de informação, da química, fotônica, eletrônica, robótica e/ou da ciência dos materiais estão integradas num só conceito de engenharia.

Não se trata, porém, de 'fundir' áreas do conhecimento. Não é o caso de considerar o conjunto NBIC, ou qualquer outra combinação que apareça, como uma 'nova área do conhecimento'. Ainda que na evolução do conhecimento a convergência possa levar à formação de novas áreas (como os exemplos mencionados da bioquímica, biofísica, ou, mais recentemente, a mecatrônica), é preciso compreender que as áreas continuam tendo seu objeto e seu espaço. Assim, a biologia e a física não desapareceram com o fortalecimento da biofísica.

Uma colocação que exemplifica bem essa nova perspectiva é a de Borman (2007, p. 32) quando ele se refere ao fortalecimento da "biologia química" a partir dos anos 90 do século XX:

> "...Eu vejo o futuro da biologia química não necessariamente nas conexões ou colaborações entre laboratórios "químicos" e laboratórios de "biologia", mas antes no crescente numero de químicos que desejam pensar acerca de problemas biológicos e de biólogos que possam fazer química em um grau suficiente para fazer componentes que lhes permita avançar na pesquisa biológica."

Dessa forma, não significa 'unificar' os componentes do conjunto NBIC, ou outras áreas e setores convergentes, mas de compreender e fortalecer o processo de integração de conhecimentos e ferramentas das mais diversas áreas e setores para a produção de novos conhecimentos e tecnologias que não teriam sido ou não serão realizados sem essa combinação sinérgica.

Portanto, trata-se também de fortalecer cada um desses setores e áreas em si mesmos, para o que a própria convergência é uma fonte inestimável de novas idéias, novos temas e questões, bem como de instrumentos que se refletirão nos respectivos campos de atuação. Isso se vê claramente pela necessidade de complementar conhecimentos, de solucionar questões – às vezes antigas – mas

que se tornam essenciais para o avanço das modernas tecnologias. Wilson, E.(b) (2007) destaca como novas pesquisas têm trazido à tona velhas idéias - "...ainda não se conhecem muitas coisas criticamente importantes sobre sistemas muito simples..."; aponta a necessidade de preencher lacunas entre áreas do conhecimento, como entre a química física e a bioquímica; chama a atenção para a "...grande disjunção entre a biologia e as ciências físicas..." e a necessidade de sanar essas dificuldades no quadro da sofisticação da ciência em geral e suas interações.

Ou seja, a convergência não se encontra apenas nos processos de geração de produtos intermediários ou finais para uso externo, para o mercado ou para a sociedade, mas também para o próprio avanço de cada um desses modernos campos do conhecimento. Por esta razão, a política e outras formas de intervenção têm de focalizar todas essas possibilidades. Porém, têm de fazê-lo sob nova abordagem, integradora e articuladora, para o que devem ser propostos instrumentos adequados.

- desafios científicos inteiramente novos têm surgido no contexto da atual CT.

É o caso, entre outros, da pesquisa sobre as características dos produtos na nanoescala, na qual se apresentam propriedades físicas, químicas e biológicas novas e pouco comuns – ausentes para o mesmo material quando em escala micro ou macroscópica. Um objeto nanométrico pode ser, por exemplo, mais duro que outro que, ainda sendo do mesmo material, é de maior tamanho. O mesmo acontece com a cor de uma partícula ou o magnetismo de um material. Um material relativamente inerte quimicamente, como o ouro, pode tornar-se bastante reativo quando se transforma em nanopartículas ou se torna líquido em temperatura ambiente; o alumínio torna-se combustível e o silicone se converte num condutor em vez de um isolante, quando em escala nanométrica.

Para alguns autores, os descobrimentos científicos sustentados pela biotecnologia, pela nanotecnologia, e com o concurso cada vez maior dos conhecimentos na área cognitiva, representam invenções sobre o método de invenção, ou seja, uma nova forma qualitativamente diferente de concepção e da metodologia de pesquisa. Ao mesmo tempo, esses novos métodos de inventar criam um capital humano que possui um conhecimento tácito não facilmente

transferível a outros. O requisito de apreender a apreender, considerado imperativo para aceder à Sociedade do Conhecimento, já parece insuficiente. O novo paradigma requer novas vias para criar e aplicar novos conhecimentos, assim como de vias de cooperação efetiva para difundi-los.

- Formação de recursos humanos. No contexto das transformações apontadas acima, a formação de pesquisadores, tecnólogos e produtores com uma forma nova de pensar, coerente com o novo paradigma da convergência tecnológica na nanoescala é um dos maiores desafios.
- Novas formas de organização do trabalho científico e do desenvolvimento tecnológico, para as instituições de pesquisa, empresas e para usuários das tecnologias.

Cooperação e redes

Uma característica importante no moderno processo geração de conhecimento e tecnologias, com alto grau de convergência e com a contribuição cada vez maior da nanotecnologia, é que se trata de um sistema fortemente interconectado, no qual os cientistas são capazes de levar os seus resultados de pesquisa a níveis tecnológicos e de mercado, ao mesmo tempo em que as empresas necessitam cada vez mais desenvolver conhecimentos, mas também incorporar conhecimentos de instituições de diversas naturezas e campos de atuação.

A transformação de resultados científicos em resultados patenteáveis e de ambos em inovações é muito rápida e se realiza devido aos múltiplos papéis desempenhados pelos cientistas - pesquisa, desenvolvimento tecnológico, engenharização (BOZEMAN & THOMA, 2007). Essa multiplicidade de papéis e o grau de interconexão no tratamento dos objetos de pesquisa representam desafios para a formação dos pesquisadores, para a sua forma de atuação e para as formas necessárias de cooperação em P&D e com os outros atores nos processos de inovação.

Não se trata de turvar a especificidade das áreas de formação dos pesquisadores, tecnólogos, engenheiros, produtores, gerentes, e comercializadores, entre outros, Todos eles passam a ter necessidade de uma compreensão ampla das demais áreas, dos conhecimentos e dos instrumentos que se associam concretamente em todas as esferas da inovação que estão realizando, bem como as

potencialidades de seus investimentos. Isso engendra que a cooperação, cada vez menos, é a soma de profissionais de diferentes áreas ou a soma de conhecimentos atomizados, exigindo posturas e organizações adequadas.

As firmas estabelecidas dependem muito de rotinas para as suas operações produtivas ou de serviços. A convergência de conhecimentos e instrumentos de varias áreas introduz novas rotinas. Em particular, com a nanotecnologia, essas são mudanças radicais. Tomando em consideração a inércia natural de muitas instituições, o tempo para que essas mudanças sejam introduzidas e assimiladas é relativamente longo. As novas organizações resolvem mais rapidamente esses processos, o que lhes dá uma vantagem inicial com respeito às indústrias mais estabelecidas. Porém, parece necessário estabelecer algum tipo de cooperação ou integração com firmas de maior experiência para aproveitar suas capacidades, financeiras, produtivas, organizativas e de mercado[43].

Além da disponibilidade de conhecimentos, do acesso a mercados, as condições de inovação nos tempos atuais, de modo particular nos casos de maior CT, agregam ainda outros motivos para intensificar a cooperação. Entre esses motivos pode estar a necessidade de agregação de instituições e empresas de diversas áreas e setores, dada a impossibilidade de apenas uma ou poucas empresas congregarem o desenvolvimento e/ou a produção de todos os insumos. Outro motivo comum é o custo dos processos, muitas vezes com altos riscos tecnológicos ou de mercado, e a necessidade de alianças entre parceiros para diminuir tais riscos. Destacando a importância dessas colaborações, coloca McCoy (2007, 16): "...os produtores de semicondutores cooperam crescentemente no desenvolvimento de produtos e combinam seus esforços para diminuir custos...". Esse autor lamenta ainda que os produtores de materiais não façam o mesmo, " ... razão pela qual muitos desenvolvimentos não têm o passo desejado pela indústria que deles necessita."

A crescente complexidade do processo de inovação, o alto grau de incerteza, a convergência que se estende por todo o processo, são fatores que se encontram na base do "relativamente novo paradigma da inovação aberta (*open ended*)". Nesse contexto, "…Ninguém o pode assumir isoladamente [o processo de inovação]. Vários atores – grandes e pequenas firmas, universidades, ONGs e

[43] Ver Porter *et al*, 2006; Roethamel e Thursby, 2005 e 2007; Robinson et al, 2007.

governo – devem cooperar como parceiros mutuamente responsáveis respeitando sua colocação na cadeia de valor e estimulando os demais." (DOORN, 2006:11). Ou seja, a cooperação e a interação que antes eram desejáveis e recomendáveis passam a ser elementos constitutivos do processo, sem os quais não se realizarão as atividades necessárias.

Na CT, particularmente na nanoescala, se cruzam diversas disciplinas nas cadeias tecnológicas e nos processos industriais e os arranjos institucionais entre diferentes atores têm que ser remodelados. Um desses arranjos é a aglomeração tecnológica, os *clusters*, que têm necessidade de apoios complexos e custosos para o desenvolvimento das novas tecnologias[44], assim como o treinamento de pessoal qualificado. Organizativamente, isso requer o compartilhamento de instalações e recursos humanos e materiais para a abordagem dos novos campos da CT. Por outra parte, uma boa parte da P&D nesses novos campos demanda o desenvolvimento, construção e utilização de novos equipamentos instrumentos específicos com estreita vinculação e interação da engenharia desde o início dos projetos.

As características desse processo integrador e de fertilização - e não apenas de aglomeração - entre os diversos saberes e técnicas, as redes de conhecimento e de atores, em um contexto globalizado, reforçam a necessidade de um novo enfoque para o gerenciamento das políticas e dos esforços de P&D e inovação tanto na escala de uma empresa e outras instituições, como em níveis nacionais e internacionais.

Esses aspectos organizacionais e de gestão, os apelos sobre a necessidade de monitoramento de riscos, de avaliação de impactos e de intervenção de políticas públicas para garantir benefícios à Sociedade relacionam-se à dimensão social da CT, da qual trataremos a seguir.

Acompanhamento e avaliação

Atividades continuas de acompanhamento e avaliação integradas aos processos decisórios necessitam ser implantadas e/ou fortalecidas.

[44] Um exemplo seria a plataforma litográfica ultravioleta extrema cujo preço é de mais de $40 milhões USD.

Como se viu acima, os impactos da convergência são, evidentemente, de longo alcance, e de uma abrangência que atinge toda a sociedade. Embora muitos produtos de base nanotecnológica já tenham chegado ao mercado, a grande maioria dos benefícios esperados, assim como eventuais riscos, estão por verificar-se. Nesse sentido, é indispensável promover programas de pesquisa para determinar com precisão a real dimensão dos riscos e as possibilidades para a prevenção. De outra forma, as ferramentas legais serão pouco efetivas.

Essas atividades não devem ter caráter unicamente restritivo, mas podem ter efeitos positivos no processo de CT e de inovação em geral, desde que as os resultados das avaliações bem como as regulacões sejam integradas em um contexto de apoio à inovação, de promoção da CT, de esforço para que os conhecimentos e as tecnologias sejam aplicados em benefício da sociedade e do meio ambiente.

Nos Estados Unidos, o *Office of Science & Technology Policy* e o *Council on Environmental Quality* promovem a análise dos benefícios e riscos da nanotecnologia em termos ambientais, na saúde e na segurança, em um trabalho cooperativo entre várias agências. Dai resultam também princípios básicos que se aplicam a todas as agências federais, inclusive regulatórias, de proteção ao consumidor, e agencias de promoção e apoio à pesquisa. Uma das orientações básicas é, tomando em consideração os riscos e benefícios, encorajar regulações que favoreçam a inovação. Nesse sentido, considera-se que "...é difícil imaginar quão inovativas e responsivas soluções para a nanotecnologia podem ser motivadas por esses princípios." (CEN, Nov. 19, 2007, p. 36)

A necessidade de A&A é reforçada pelo fato de que a incerteza não é grande somente quanto a riscos e ameaças, mas quanto à trajetória propriamente dita da geração de conhecimento e da inovação. Nessas circunstâncias, o acompanhamento e imprescindível à boa gestão dos projetos e processos, tanto para garantir os objetivos esperados quanto para aproveitar oportunidades que surgem ao longo do caminho. Novos fatos e conhecimentos, novas tecnologias que são lançadas, enfim, há uma série de fatores que podem exigir ou sugerir a mudança de estratégia de uma empresa, de uma instituição de pesquisa, ou mesmo de políticas. Ou podem aparecer questões, de caráter técnico e cientifico que levem a novas pesquisas, a novas técnicas e tecnologias, como já ressaltado.

Em relação à falta de elementos eficientes de controle e de avaliação *ex-ante* e *ex-post* dos impactos das tecnologias e de sua convergência, um estudo recente nos EE.UU. (NYE, 2006, p. 157) indica que como 3,3 milhões de pesquisadores no mundo inovam mais rapidamente que nunca, o Congresso norte-americano tem poucos poderes analíticos sob seu comando. Ele deve contratar instituições externas, como a Academia Nacional de Ciências, para a realização de estudos especiais, o que consume muito tempo e é impraticável.

Esse exemplo mostra como o problema é geral e não afeta apenas países com menor institucionalização das formas de regulação, de acompanhamento e avaliação. Mas, a imperiosidade e a complexidade do processo apenas reforçam a necessidade de os países organizarem essas atividades o mais rápido e da forma mais eficaz possível.

Esse aspecto é diretamente relacionado à dimensão social e às políticas públicas, que são o foco dos próximos itens.

A dimensão Social da CT

Em algumas análises e debates sobre a CT, um dos temas que tem se destacado é o papel das ciências humanas e sociais (CHS). No entanto, essa questão não pode ser abordada a partir de uma "área" das ciências. Isso porque o papel que se atribui às CHS decorre de dois fatos: a interação entre ciência, tecnologia e sociedade, de forma sistêmica; e a possibilidade de intervenções políticas nessa forma de interação, em busca de formas e resultados diferenciados. Chamaremos a isso de "a dimensão Social da CT", entendendo por "social" o conjunto dos principais aspectos nos quais, em geral, se desdobra analiticamente a Sociedade: a organização - econômica, social e política – e, de importância crescente, os aspectos ambientais e éticos.[45] O papel das CHS está associado à importância dessa dimensão, mas não a esgota.

Correspondendo às visões que buscam uma compreensão mais integral da natureza e às preocupações com o impacto dos avanços científicos e tecnológicos sobre o ambiente e o ser humano, muitas análises destacam a

[45] Ver, entre outros, Wolbring, 2006. Moss, H., 2001; Wilson, E. 1998; Damasio, 2001; Cavalheiro, 2007; Whitman, 2007; Sachs, 2004; Arnall, 2003; Schtivelman e Russell, 1989.

necessidade de se desenvolverem abordagens mais integrais, que extrapolam o domínio do conjunto NBIC e do trabalho científico e técnico em termos estritos.

O enfoque utilizado no Canadá, por exemplo, busca maior abrangência, ao destacar o conceito de "Biossistêmica", vista como o estudo das possibilidades de convergência que surgem da integração e interseção entre a nanotecnologia, a ciência ecológica, a biotecnologia, a tecnologia da informação e as ciências cognitivas, e seus impactos prospectivos na ciência dos materiais, a gerência de sistemas públicos complexos para a biossaúde, sistemas ecológicos e de alimentação e a mitigação das doenças[46].

Nos Estados Unidos, a partir de debate promovido pela *National Science Foundation* (NSF) e pelo Departamento de Comércio, aponta-se que a convergência NBIC, além de representar uma nova e mais ampla fronteira para P&D e para o setor produtivo, oferece grandes oportunidades para o aperfeiçoamento das habilidades humanas, para melhorias da produtividade e da qualidade de vida. A CT é vista como uma oportunidade ampla, *cross cutting*, emergente, e a tempo para os interesses individuais, da sociedade e da humanidade no longo prazo (NSF & *Department of Commerce*, 2004). Como recomendação, destaca-se que a P&D voltada para o aprimoramento do desempenho humano deveria tornar-se uma prioridade nacional, e que

> ... as implicações éticas, legais, morais, econômicas, ambientais, do desenvolvimento da força de trabalho e outras de tipo social, devem ser atendidas desde um início, incluindo cientistas, engenheiros, cientistas sociais e uma ampla coalizão de organizações profissionais e cívicas. (ROCO & BANBRIDGE, 2003, p.25)

As análises na União Européia apontam ressaltam que as TICs, a biotecnologia e a nanotecnologia se complementam umas às outras e começaram a unir forças com as ciências cognitivas, a psicologia social e outras ciências sociais, em uma espécie de convergência ampliada que poderá transformar cada aspecto da vida.

As pessoas em geral, e os formuladores de políticas, em particular, poderiam alcançar uma consciência amplamente melhorada das forças cognitivas, sociais e biológicas, facilitando um melhor ajuste, criatividade e tomada de decisões.

Mas será também necessário buscar um consenso e uma prática social de verdadeira democracia sobre aspectos éticos, legais e morais; além disso, devem

[46] Ver Smith (2004).

ser fortalecidas as atividades prospectivas e avaliativas, tanto para antecipar necessidades como para exercer um monitoramento constante e responsável sobre eventuais riscos, muitos deles ainda não reconhecidos, como visto acima.

Conhecer essas novas condições e demandas e promover efetivamente a integração da dimensão social na configuração das políticas e estratégias científicas e tecnológicas, nos projetos e nas decisões ao longo do processo da CT são desafios para qualquer país e/ou instituição que deseje participar na fronteira do conhecimento e promover um desenvolvimento integral, democrático e ético.

O rápido progresso em muitas frentes resulta em capacidades tecnológicas que são mais rápidas e, em alguns casos, mais baratas e que podem ser aplicadas para diversos usos (SPOHRER & ENGELBART, 2004, p. 52), gerando novos instrumentos, novas possibilidades e novos desafios para a organização econômica e social, bem como para o ambiente. Com a globalização, esse processo se potencializa, os impactos extrapolam os países ou regiões nos quais se dá a formação de um novo conhecimento, produto ou processo. Mais ainda, a forma moderna de fazer C&T&I já envolve, por si só, empresas e outras instituições de várias partes do mundo, impondo maior cooperação e diferentes relações entre organismos e instituições, como mencionado acima.

Mediante uma gama tão ampla de questões relacionadas à dimensão social, muitos têm chamado a atenção para a necessidade de maior envolvimento das ciências sociais em todo o processo de geração e uso dos conhecimentos e tecnologias. A complexidade desse processo na moderna CT fortalece esse chamado.

O papel das ciências humanas e sociais

Historicamente, as ciências sociais e seus objetos não são consideradas como passíveis de integração com as ciências naturais. Elas próprias mostram uma tendência a manter-se relativamente separadas dessas últimas e dos processos inovativos específicos. Tal situação, cada vez mais, é posta em cheque. Nesse debate, emergem, principalmente, questões relacionadas a dois temas principais:

- a compreensão do homem como parte da Natureza

No âmbito deste tema[47], discutem-se possibilidades – e até mesmo a necessidade - de convergência entre as CHS e as modernas ciências e tecnologias. Esse é o caso, por exemplo, das discussões sobre a interação entre comportamento e meio social; nesse sentido, as ciências cognitivas têm de trabalhar com elementos da biologia, mas também da psicologia, da sociologia e de outros campos do conhecimento. Essa discussão é muito mais complexa do que se pode estender neste documento. Ela abarca as questões da relação do homem com a natureza e a relação da ciência com a vida social do homem. Igualmente, características humanas, tais como a emoção e os sentimentos, têm sido cada vez mais consideradas como essenciais para uma visão integrada das funções cerebrais. Associada ao debate sobre a relação/integração entre os campos das ciências sociais e as ciências naturais está a visão sobre a "*consilience*".

- a necessidade de compreensão e monitoramento dos impactos da CT atual.

A magnitude dos avanços pela CT das modernas tecnologias e o potencial de transformação humana e social que eles acarretam requerem o esforço das Ciências Humanas e Sociais tanto para compreender as mudanças, quanto para analisar riscos, questões éticas, impactos de todo tipo, além da necessidade de desenvolver novos métodos organizativos e gerenciais adequados ao novo contexto da produção e uso de conhecimentos e de tecnologias.

A necessidade de um acompanhamento dos projetos desde o seu início é um imperativo. As políticas públicas deverão prestar uma grande atenção à avaliação *ex ante* dos projetos de P&D, de cuidadosos processos de formulação de normas e de grandes exigências no seu cumprimento, do monitoramento sistemático e continuado dos projetos e dos seus processos de inovação.

[47] Ver Moss, H., 2001, p. 11; Damasio, A. *et al*, 2001. Este autor sumariza alguns progressos recentes na "neurobiologia da emoção"; Wilson, E. 1998.

4

POLÍTICAS PÚBLICAS SOBRE CONVERGÊNCIA TECNOLÓGICA

A convergência tecnológica como característica do processo de geração de conhecimentos, produtos e processos, com grandes impactos nos setores científicos e produtivos, em particular, e na sociedade em geral, torna-se, sem dúvida alguma, um tema importante para as políticas públicas[48].

Seja no que se refere às condições para que um país possa participar de forma efetiva do processo de CT, seja para prevenir riscos e contrapor ações aas ameaças existentes e exercer o poder regulador do Estado, há um vasto campo de atuação em termos dessas políticas. Tanto as possibilidades quanto as necessidades, nesse caso, estendem-se pelas políticas cientificas, tecnológicas e, de modo especial de inovação, com importante rebatimento nas políticas industrial, agrícola, de saúde, ambientais, educacionais e até mesmo culturais.

Nesta seção os autores não se dedicam a aprofundar cada uma dessas dimensões, pois isso nos levaria muito além do objetivo deste documento. No próximo item, colocam-se alguns aspectos do debate internacional sobre questões políticas mais gerais no tratamento da CT no contexto atual, como uma brevíssima introdução ao tema; e no item seguinte, encontram-se algumas experiências de políticas voltadas para a CT em alguns países, como solicitado pelo CGEE. Deve-se apontar, desde já, que as políticas em destaque referem-se, em particular, aos esforços dos países para fortalecer a CT e disputarem seu espaço no contexto fortemente competitivo em que esse processo ocorre e se fortalece.

4.1. CT e políticas públicas

Para a União Européia,

> ...muitas das aplicações da nanotecnologia e sua convergência apresentam a possibilidade de resolver problemas sociais, de beneficiar indivíduos e de gerar riquezas. Porém, cada uma representa riscos para a cultura e as tradições, para a integridade humana e a autonomia e,

[48] Consideradas como o campo no qual o Estado organiza suas atividades para participar dos processos organizativos, produtivos, culturais, assistenciais e outros que ocorrem na sociedade e, ao mesmo tempo, moldam o desenvolvimento dessa sociedade.

> provavelmente para a estabilidade política e econômica. (NORDMAN, 2004, p. 3)

Nos Estados unidos o apoio oficial à CT, tanto termos políticos como práticos, é muito menos cauteloso e pode marcar o passo para o resto do mundo, seja para cooperação ou concorrência. Segundo Whitman (2007), é como se essas tecnologias funcionassem como um *deus-ex-machina.* No entanto, o papel social das tecnologias convergentes não deixa de ser reconhecido, embora se reconheça a menor disposição para a intervenção política. A NSF (2002, p.xiii e p. 45) coloca:

> "A ciência e a tecnologia dominarão o mundo cada vez mais, ao mesmo tempo que cresce a população, a exploração de recursos e os potencias conflitos sociais. Portanto, o sucesso dessa área prioritária das tecnologias convergentes é essencial para o futuro da humanidade. ...
>
> Na medida em que os americanos se preocupam mais por um sentido comum nos esforços cooperativos requeridos para suas próprias vidas, e na medida em que eles se preocupam mais pelo entusiasmo da natureza da criação de riqueza e de oportunidades do mundo empresarial, mais rejeitam a política e o governo como uma área útil de interesse."

Se esse entendimento continua avançando na sociedade americana – como parece estar acontecendo -, que papel desempenharão as políticas públicas para regular e impedir os riscos potenciais da convergência tecnológica?

Muitos observadores se perguntam se existem ou existirão os meios necessários para controlar os futuros desenvolvimentos envolvendo a nanotecnologia[49].

Sem dúvida, os governos têm uma grande responsabilidade em estabelecer, acompanhar e avaliar políticas e estratégias públicas no longo prazo para prover condições econômicas, sociais e ambientais; políticas que assegurem a rápida obtenção e aplicação dos benefícios da convergência tecnológica para toda a sociedade; e que também considerando os aspectos negativos incluindo os éticos e morais que as mesmas podem ocasionar.

Em termos globais, há considerações importantes sobre a CT e seu impacto nas relações entre regiões e países. Segundo a NSF (2002), "a <u>superioridade tecnológica</u> é a base fundamental da prosperidade econômica e da <u>segurança nacional</u> dos Estados Unidos, e o progresso continuado nas tecnologias (nano-, biológica, informação e cognitiva) é um componente essencial das agências governamentais para cumprir essa missão (grifos nossos). Dessa assertiva,

[49] Sobre este tema ver *Royal Society*, 2004, pp.55-6; Altmann, 2005 e Whitman, 2007.

podemos derivar tanto lições sobre a importância das tecnologias e sua convergência, quanto estar alerta aos perigos que podem representar as ambições dos países desenvolvidos sobre o resto da humanidade.

Nesse contexto, para os países mais pobres, é quase inexorável que sejam obrigados pelas circunstancias a resignar-se a alcançar "o melhor que possam", sem pretender influenciar ou participar efetivamente do processo da moderna CT. Conforme documento da União Européia:

> Embora o PBI mundial tenha se incrementado continuadamente durante décadas, uma grande fração da população mundial ainda sofre de uma miséria inacreditável. ... Os desenvolvimentos tecnológicos não se ocupam desses desafios em primeiro lugar. Esperamos que o desenvolvimento das NBIC beneficie a toda a humanidade... (BIBEL, 2004; grifos nossos)

Segundo Whitman (2007), a experiência indica que, em geral, muitos avanços tecnológicos não estão concebidos para beneficiar ou incluir países subdesenvolvidos, nem sequer se voltam para o desenvolvimento em sentido mais amplo. Evidentemente, as condições políticas prevalecentes no mundo atual não são propícias a essa orientação. As tecnologias emergentes não têm sido iniciadas, apoiadas, financiadas e mantidas para o desenvolvimento dos países menos desenvolvidos. As forças principais, como quase sempre, foram, por uma parte, a curiosidade científica e, por outra, os lucros, a competitividade, e os interesses da indústria de armamentos para aplicações militares, sob o pretexto da chamada segurança nacional.

Neste contexto, as políticas públicas associadas direta ou indiretamente à CT quase sempre estão direcionadas à exploração do potencial científico e tecnológico para uma participação econômica maior no sistema internacional (o que, sem duvida, é fundamental, mas, em uma visão mais ampla, é uma estratégia que também deve ser moldada por outras dimensões), como se observa nos exemplos abaixo.

4.2 A experiência de políticas relacionadas à CT em alguns países

Como o foco de interesse deste trabalho é a CT moderna, ou seja, a interação sinérgica de tecnologias (particularmente as TICs, a bio e a cogno) na escala nanométrica, a nanotecnologia é um elemento central – apoiado pelas TICs – nos fenômenos de convergência na atualidade.

Por isso, observa-se que, quando se formulam e executam políticas em nanotecnologia[50], na realidade, são políticas relacionadas à CT na nanoescala. Por exemplo, entre os objetivos da *National Nanotechnology Initiative* dos Estados Unidos (à qual se voltará à frente) inclui-se a detecção, diagnóstico e tratamento de doenças; o desenvolvimento de tecnologias para o melhoramento da visão e a audição; testes rápidos para detectar suscetibilidades a doenças e resposta a medicamentos. Como é evidente, esses objetivos referem-se ao ambiente de convergência tecnológica, na maior parte com a bio, mas também com a cogno.

Com essa perspectiva, nesta seção se apresentam políticas dos Estados Unidos, Comunidade Européia (em geral e especificando aspectos do Reino Unido, França, Espanha e Portugal), Japão, China, Índia, Canadá e América Latina.

Estados Unidos

As tecnologias convergentes são motivo de atenção na política dos EUA desde algum tempo[51]. Em se tratando da CT em nanoescala, algumas agências estatais americanas têm desenvolvido atividades voltadas para a nanotecnologia desde o início dos anos 80s. O caso mais notável é do *US Naval Research Laboratory*.

No ano 2000, a Administração Clinton impulsionou a criação da *National Nanotecnology Initiative* (NNI), que coordenaria o trabalho de seis diferentes agências. O Presidente Clinton se referiu à nanotecnologia na forma seguinte: "... materiais dez vezes mais fortes que o aço, com uma fração do seu peso e – isto e inacreditável para mim - computadores moleculares do tamanho de uma lágrima com a potência dos mais rápidos supercomputadores atuais" (*Apud* CRN, 2007).

A NNI, aprovada pelo Congresso norte-americano e criada em 2001, volta-se para o fortalecimento da emergente disciplina e para estimular a pesquisa interdisciplinar e a educação. O trabalho é coordenado pelo Grupo de Trabalho

[50] Ver Galembeck & Rippel (2004). Nesse excelente e exaustivo trabalho observa-se que as chamadas políticas públicas (nacionais ou setoriais) e empresariais em nanotecnologia são, na realidade, políticas de CT, dado o caráter habilitador dessa área para a P&D&I nas demais componentes da NBIC, bem como para muitos outros campos da atividade humana - social e produtiva. Ver ainda Alivisatos, 2002 e as demais obras já mencionadas que abordam a CT nos tempos atuais, nas quais essa observação também encontra respaldo.

[51] As informações tratadas neste tópico se baseiam em: US. Senate Committee on Commerce, Science and Transportation, 2003; Lewinski, 2005 e Capozzoli, 2007; *Center for Responsible Nanotechnologies*-CRN, 2007; Rocco, 2004b; Keiper, s/d; Stephan *et al,* 2007.

Inter-Agência em Nanociência, Engenharia e Tecnologia/*Interagency Working Group on Nanoscience*, *Engineering and Technology* (IWGN), que responde ao Conselho Nacional de Ciência e Tecnologia/*National Science and Technology Council* (NSTC). O foco inicial incluiu a pesquisa avançada sobre semicondutores, química e novos materiais. Posteriormente, em dezembro de 2003, o Congresso aprovou o *21st Century Nanotechnology Research and Development Act*.

Por meio da NNI, trabalha-se para coordenar P&D em nanotecnologia em 24 agências federais associadas, financiando os laboratórios nacionais e apoiando os esforços de comercialização das firmas norte-americanas. A agenda nacional estabelecida por essa iniciativa tem como principais objetivos:

- promover a pesquisa para o desenvolvimento da nanotecnologia a seu pleno potencial;
- apoiar a comercialização de novos nanoprodutos;
- Desenvolver uma força de trabalho qualificada;
- Apoiar a compreensão das dimensões, sociais, éticas, de saúde, segurança e ambiental.

Os investimentos da NNI devem estar focalizados em sete componentes:

1. Processos fundamentais na nanoescala;
2. Nanomateriais;
3. Sistemas e aparelhos nanométricos;
4. Instrumentos para pesquisa e normalização;
5. Manufatura;
6. Instalações para P&D;
7. Dimensões sociais da nanotecnologia.

Em 1997, o governo dos EUA país estava investindo, anualmente, USD $116 milhões em nanotecnologia, cifra esta que foi duplicada em 1999 (CRN, 2007).

Em 2001, o orçamento federal inicial aprovado para a NNI foi de USD$442 milhões; no ano fiscal de 2002 os gastos federais para P&D nessa iniciativa atingiram USD$697 milhões; em 2003, o orçamento foi de USD $774 milhões; em 2004, de USD $849 milhões; e em 2006, de USD 1,57 bilhão. Observa-se que,

em uma década, multiplicaram-se por mais de 13 vezes os recursos federais alocados para a nanotecnologia nos Estados Unidos.

Uma das mais importantes entidades federais é o Departamento de Defesa que investiu 450 milhões USD para a criação do Instituto de Nanotecnologias do Soldado / *Institute for Soldier Nanotechnologies*, no MIT. Outras agências que se destacam no apoio à nanotecnologia são os Departamentos de agricultura, Comércio, Defesa, Energia, Segurança Nacional e Justiça, a Agência de Proteção Ambiental, o NIH e a NASA[52].

A *National Science Foundation*/NSF trata das tecnologias convergentes na nanoescala na *Nanoscale Science and Engineerimg Priority Area* e "na melhoria do desempenho humano" no *Human and Social Dynamics Priority Area*. Essa instituição dirige a NNI, bem como o Subcomitê Nacional sobre *Nanoscale Science, Engineering and Technology*. Essas instâncias desenvolvem conjuntamente uma visão ao longo prazo, estabelecendo prioridades federais e coordenando o programa nacional. A NSF iniciou ainda um programa para o ensino em primeiro e segundo grau sobre conceitos básicos em nanotecnologia.

Em fevereiro de 2004, devido à explosão da produção comercial de nanoprodutos, criou-se um programa governamental de pesquisa sobre segurança, dirigido pela agência governamental NIOSH, que deve preparar manuais de "melhores práticas"[53].

Além da esfera federal, agências e instituições - estaduais, acadêmicas e indústria privada – aplicam cerca de USD$2 bilhões anualmente em investimentos em P&D em nanotecnologia. Estima-se que, em 2004, os Governos estaduais gastaram, coletivamente, um estimado de USD$400 milhões para o desenvolvimento de indústria nanotecnológica.

Embora essa indústria seja relativamente nova, o setor privado está liderando diferentes iniciativas. Em todo o mundo, as empresas estão investindo pesadamente em nanotecnologia. Em 2007, estima-se que foram gastos mais de $3 bilhões USD em P&D (KEIPER, s/d). Nos EUA, várias associações comerciais tem aparecido no campo da nanotecnologia, incluindo a *NanoBusiness Alliance,*

---

[52] Ver http://www.nsf.gov/news/news_summ.jsp?cntn_id=100602. Acesso em: 06 de nov.2007 e National Nanotechnology Initiative, Funding Opportunities at NSF FY (2008).
[53] *Nanotechnology Safety Hazards*-NSH, 2005.

um grupo comercial, cuja base está em Nova York. O *American Chemical Council* tem um comitê dedicado à nanotecnologia e está promovendo pesquisa sobre saúde, meio ambiente e segurança dos nanomateriais. O *National Occupational Safety and Health Consortium* foi criado pela indústria para investigar a segurança ocupacional e assuntos relacionados com a exposição em postos de trabalho de aerossóis de nanopartículas.

Alguns grupos opinam que os controladores de nanotecnologias serão "...a força dirigente na economia mundial". As empresas americanas são representadas pela *NanoBusiness Alliance*, cujo Presidente de Honra é o ex-presidente de Câmara de Representantes no Congresso americano, para quem

> ...aqueles países que dominem o processo de manufatura e engenharia da nanoescala obterão um grande salto na força de trabalho nos próximos vinte anos, similar ao obtido pelas companhias de aviação e computação nos últimos quarenta anos, assim como o ferro carril, a máquina de vapor e as companhias têxteis foram decisivas no século dez e nove. (*Apud* Keiper, 2003)

Devido a que os benefícios da nanotecnologia são ainda incertos, não existe uma ampla e detalhada legislação nesta matéria. O Diretor da NIOSH expressou em uma conferência que "se conhece muito pouco acerca dos perigos dos nanomateriais ou como devemos proteger a nossos trabalhadores em indústrias selecionadas". Acrescentou ainda que os nanoprodutos em desenvolvimento "estão tão longe da nossa compreensão, que não podemos aplicar paradigmas existentes para proteger aos trabalhadores" (OCUPATIONAL HAZARDS, 2004).

Em junho de 2004, a *National Science Foundation-NSF* convocou uma reunião de representantes das áreas de política de 25 países da União Européia para discutir como desenvolver P&D em nanotecnologia de "uma maneira responsável". Porém, os informes dessa reunião indicam uma falha sistemática da NSF para tomar em conta os aspectos mais importantes que apresenta a nanotecnologia[54].

Prevê-se que em 2015 a nanotecnologia terá criado dois milhões de postos de trabalho e o mercado mundial de nanotecnologias excederá USD$ 1 trilhão[55]. Isso indica não apenas que a nanotecnologia criará empregos, mas que também existirão gargalos que poderão frear o desenvolvimento da disciplina, especialmente no que se refere à qualificação de recursos humanos. Nesse

[54] Citado por Ocupational Hazards (2004).
[55] Ver National Nanotechnology Initiative.

sentido, considera-se que as universidades norte-americanas, públicas e privadas, têm avançado devagar na criação de novos programas em nanotecnologia.

União Européia

Em maio de 2004 a Comissão Européia lançou um documento para conduzir a discussão sobre nanociência e nanotecnologia em um nível institucional e propor uma estratégia integrada na Europa[56] para P&D em nanotecnologia. Essa estratégia visava a "ajudar a Europa a converter-se em líder mundial no campo de rápido desenvolvimento da nanotecnologia*".*

O documento focaliza a P&D e chama para maiores investimentos em nanotecnologia para "a comercialização de produtos e serviços que geram riquezas"; também enfatiza a "... necessidade de identificar e dirigir-se às preocupações sobre segurança, saúde e meio ambiente relacionados com a nanotecnologia, assim como promover avaliações de riscos em todas as etapas do ciclo de vida da tecnologia"

Em junho de 2005, adotou um plano de ações articuladas e interconectadas nesta esfera baseado nas prioridades indicadas no documento anterior. Em setembro de 2007, a Comissão emitiu o primeiro relatório de implementação, no qual se expressa:

> Na última década, verificou-se uma explosão do interesse, tendo o investimento público crescido rapidamente de cerca de 400 milhões de euros. A contribuição do financiamento privado na P&D em nanotecnologias foi estimada em perto de 2 mil milhões de euros, ou seja, implicando um investimento global total em PD em nanotecnologias de cerca de 5 bilhões de euros. Neste contexto, é importante salientar que, com 56% do investimento geral em I&D proveniente de fontes privadas, se verifica um atraso da UE em relação aos EUA e ao Japão, que apresentam respectivamente 66% e 73%.

No Reino Unido, segundo o *Trade Union Congress,* em 2004, o gasto público em P&D para desenvolver as nanotecnologias dos próximos cinco anos chegou perto de 100 milhões de libras esterlinas; e mais de 200 milhões de libras serão investidos pelo setor privado (TUC, 2004).

A Comissão Européia considera que a produção mundial de nanoprodutos foi de EU$2,5 bilhões e que para 2015 se chegará à marca de um trilhão (NSH, 2005).

[56] Comissão Européia, 2004; 2005 e 2007;

Outro relatório de especialistas da Comissão Européia adverte que "algumas nanopartículas produzidas via nanotecnologia podem ter o potencial para apresentar sérias preocupações", recomendando "realizar esforços para a eliminação, quando for possível, ou, de outra forma, a minimização da produção e o lançamento não intencional de nanopartículas" (EU, 2004).

No Reino Unido a atenção aos problemas de saúde e ambientais é considerada muito fraca. Em julho de 2004, a *Royal Society* e a *Royal Academy* do Reino Unido expressam que há incertezas sobre os efeitos potenciais sobre a saúde humana e o meio ambiente de nanopartículas manufaturada e nanotubos quando são lançados. O relatório recomenda que o Governo deva financiar um programa de pesquisa para compreender os efeitos de tais partículas em humanos e o meio ambiente (ROYAL SOCIETY, 2004); em Julho de 2005, essas instituições anunciaram os resultados de um estudo sobre a segurança das nanopartículas e chamaram a atenção do Governo para novas regulamentações com vistas a proteger a saúde e o meio ambiente.

Por seu lado, a indústria britânica marcha sem preocupações. Atualmente centenas de nanoprodutos estão no mercado, desde novos displays de computadores até vidros de janelas auto-limpantes; de cremes anti-rugas até tecidos que não amarrotam, sem que existam estudos sérios sobre os efeitos destes produtos nem as regulamentações conseqüentes (NSH, 2005).

Em trabalho realizado para a Comissão de Saúde e Segurança (HSC) do Reino Unido, em 2004, Davies (2004) se expressa sobre os produtos nanotecnológicos: "Na ausência de evidências robustas e completas dos riscos, o HSC deve trabalhar... para promover e assegurar a gerência dos riscos desta tecnologia sem deter desnecessariamente a inovação e a criação de riquezas".

Espanha e Portugal assinaram um acordo para a criação do Laboratório Internacional Ibérico de Nanotecnologia de Braga (ILN). Esta será uma instituição internacional de investigação e desenvolvimento no domínio das nanotecnologias e nanociências, com sede em Braga, Portugal, e gerida conjuntamente pelos dois países. A assinatura do Tratado Constitutivo do Laboratório teve lugar na Cimeira de 2006[57].

[57] *Cooperação Transfronteiriça Espanha Portugal* (2007).

No âmbito de sua atividade prospectiva, a rede européia ERA-NET SKEP (Scientific Knowledge for Environmental Protection), que reagrupa 17 ministérios de agências que financiam a pesquisa sobre o meio ambiente em 11 países diferentes, acaba de publicar os resultados de uma pesquisa realizada no fim de 2007.

Segundo essa pesquisa, 748 peritos, oriundos da esfera pública (80%) e da comunidade científica (65%), expressam suas opiniões sobre a hierarquia de riscos e sua irreversibilidade, a necessidade de regulamentações no campo da convergência entre as nanotecnologias, as biotecnologias, as tecnologias da informação e as ciências cognitivas. As nanopartículas livres são consideradas de alto risco para 41% das pessoas sondadas e tendo efeitos desconhecidos para 32,7% dentre elas. Estes são os dispositivos nanobiotecnológicos que suscitam a maior desconfiança social. A maioria dos respondentes estima que é preciso adaptar as legislações atuais: 69% para a etiquetagem, 73% para a traçabilidade, 59% para a confiança dos produtores, 66% para modificar o regulamento *Reach*, 71% para proteger os trabalhadores. Na cabeça das ações prioritárias, os sondados colocam a informação e a discussão pública (46,2%)[58].

Japão

No Segundo Plano Básico de Ciência e Tecnologia, o governo japonês colocou a "Nanotecnologia e a Ciência dos Materiais" como uma das quatro áreas prioritárias. A pesquisa em nano-estruturas no Japão está, principalmente, sob a direção do MITI, no Programa Ciência e Tecnologia Industrial de Fronteira (ISTF), com a idéia de desenvolver chips de computadores de futuras gerações. Cada projeto tem a duração de 3 a 12 anos e recebem financiamentos que vão de USD$2 a USD $200 milhões. Para cada projeto existe um parceiro público e outro privado, geralmente um consórcio estabelecido pela indústria privada. Diversos projetos estavam ainda nos estágios de planejamento quando o MITI os incorporou ao programa ISTF.

[58] Nanotecnologias : convergência ou divergência ? Disponível em: http://www.lqes.iqm.unicamp.br/canal_cientifico/lqes_news/lqes_news_cit/lqes_news_2008/lqes_news_novidades_1114.html. Acesso em 19/03/2008.

Algumas fontes estimam que no Japão há mais sistemas avançados de fabricação de materiais do que em toda a Europa. Outros gigantes como Hitachi e Mitsubishi, Sony, Sumitomo e Toshiba também estão investindo nesta esfera.

A pesquisa sobre nanotecnologia nesse país está ocorrendo, em sua maior parte, sob os auspícios do MITI, principalmente com a idéia de desenvolver microplaquetas de computador das gerações futuras. Estima-se que há provavelmente sistemas mais avançados da fabricação dos materiais apenas em laboratórios de NTT Atsugi e no laboratório dos dispositivos do elétron de Quantum de Fujitu. Corporações como Hitachi, Matsushita, Mitsubishi, NEC, Sony, Sumitomo e Toshiba, estão trabalhando também em dispositivos quânticos, assim como algumas outras empresas.

Em 1981 o MITI iniciou um programa que patrocina a "pesquisa e o desenvolvimento de tecnologias básicas para as indústrias futuras" (programa de JISEDAI), visando a desenvolver tecnologias revolucionárias essenciais ao estabelecimento de indústrias novas, nos campos novos materiais, nano-biotecnologia, e dispositivos eletrônicos.

China

O governo chinês também aponta a nanociência como um dos quarto maiores campos em pesquisa científica nos seus planos a mediano e longo prazos para o desenvolvimento C&T.

A China tem se destacado como um dos maiores participantes no campo da nanotecnologia[59]. É o único país no qual tanto o volume de publicações, como sua participação na produção científica mundial vem crescendo exponencialmente durante os últimos 20 anos. Uma das razões chave deste rápido desenvolvimento da nanotecnologia na China é o forte e dedicado apoio do governo.

Esse é o terceiro país do mundo em P&D nessa esfera, atrás apenas dos EUA e do Japão. Nas publicações indexadas pelo *Science Citation Index*-SCI, os chineses ocupam o 5º. Lugar. Somente a Academia de Ciências da China tem 4.541 documentos publicados sobre nanotecnologia.

[59] Sobre o tema da nanotecnologia na China, ver Guan & Ma, 2007; China State's Council, 2006; Anon, 2007; Physorg.com, 2005; China Gaining Momemntum... ,2002; Zhang e Liu, 2006.

Em 2000 o Ministério de Ciência e Tecnologia de China, juntamente com a Comissão Estatal de Desenvolvimento e Planejamento, o Ministério de Educação e outras instituições, criaram um Comitê de Especialistas em Nanociência e Nanotecnologia para realizar um estudo internacional e um diagnóstico nacional acerca das possibilidades da nanotecnologia em várias áreas: nanoeletrônica, nanomateriais e nano-biotecnologia, que constituem as prioridades máximas em P&D. O capital de risco tem-se concentrado nos nanomateriais.

Seguindo esse trabalho, o Comitê elaborou e foram aprovadas as Diretivas nacionais para o Desenvolvimento da Nanotecnologia (2001 -2010). Em 2001 o Ministério de Ciência e Tecnologia elaborou os marcos de Desenvolvimento para a Pesquisa em Nanotecnologia.

A nanotecnologia é uma área prioritária no 11º. Plano de Cinco Anos para C&T e no Plano a Médio e Longo Prazos (2006-2020) em C&T. O orçamento para esta esfera foi de $1,11 bilhão em 2006 (CAPOZZOLI, 2007). Conforme esses planos, a P&D na China será focalizada em:

- Tecnologia básica em nanoneletrônica e nanobiotecnologia.
- A criação de novos materiais funcionais e sua comercialização.

Um dos principais centros de pesquisa é *Nanotecnology Research Center da Universidade de Tsing Hua*.

As companhias estrangeiras, mais de duzentas, dominam a produção chinesa. Elas produzem, principalmente, nanodióxido de titânio como protetor solar em cosméticos, tintas com bloqueador de luz UV, catalisadores de fotos e antimicrobianos. A ênfase é na produção de nanoprodutos de qualidade competitiva internacional a baixos custos. As empresas se apóiam no Fundo de Investimento das PMEs, do Ministério de Ciência e Tecnologia,

Considera-se que para alcançar um sucesso sustentável nessa esfera o país necessita:

- Produzir um maior número de cientistas e engenheiros em pesquisa e inovação em nanotecnologia;
- Estimular a pesquisa multidisciplinar em universidades, reformando o sistema curricular universitário;

- Resolver os problemas de fuga de cérebros;
- Estimular a pesquisa em nanotecnologia em setores industriais;
- Promover a comercialização de resultados de pesquisa;
- Investir em estudos sobre os possíveis impactos negativos da pesquisa em nanotecnologia e sua inovação.

India

A Índia elaborou um plano de cinco anos com o qual espera converter-se em um pólo de nanociência e nanotecnología, embora reconheça que se encontram atrás dos Estados Unidos, do Reino Unido, da China e do Japão nessa esfera. Com tal fim, nomeou C. N. R. Rao, uma autoridade internacional em nanotecnologia, como presidente do Conselho Científico Assessor, subordinado diretamente ao Primeiro Ministro.

O programa nacional indiano em nanotecnologia começou com a inauguração em Bengalore, pelo governo federal, do primeiro dos três institutos de Nano S&T que serão construídos com um investimento de USD$250 milhões. Esses institutos promoverão também a abertura de laboratórios em universidades para preencher as carências de pessoal qualificado nessa esfera. Bengalore e o Instituto Indiano de Tecnologia em Mumbai – que conta com capacidades de produção - atualmente lideram os esforços do país em nanotecnologia

Além disso, 13 universidades e 50 institutos de pesquisa já trabalham na nano C&T. O programa está concebido para operar em forma de redes supervisadas por agências governamentais.

Segundo V. Srivastava, fundador da empresa indiana QTech Nanosystems, a Índia está muito atrasada em nanotecnologia em relação ao resto do mundo, particularmente no setor privado. A diferença com os países desenvolvidos é de cinco a sete anos. O país tem perto de 30 empresas nesta esfera e é líder internacional em nanossensores fluídos. Srivastava afirmou que a Índia precisa mais capital de risco para promover e apoiar as iniciativas em nanotecnologia[60].

[60] Sobre este tema ver Krisnadas (2007a e 2007b) e SciDev Net (2006), Shu (2007) e D´Monte (2007).

As despesas do Governo indiano e as firmas privadas em nanotecnología devem ultrapassar a cifra de $ 4 bilhões USD para o ano 2010.

O Presidente da Índia, Abdul Kalam, afirmou que seu país deve prestar atenção preferencial à nanotecnologia, incluindo o desenvolvimento de nanorobôs, já que isso revolucionará a indústria bélica, e convocou os cientistas e engenheiros indianos a trabalhar fortemente neste sentido.

Canadá

A nanotecnologia é um setor emergente no Canadá[61], com uma forte base de pesquisa realizada em laboratórios do governo federal, universidades e um grupo de novas firmas. Foram identificadas 50 firmas concentradas no corredor Windsor-Quebec e em Edmonton e Vancouver.

Como resultado de mesas redondas celebradas na primavera de 2002 e entrevistas com companhias individuais, encontram-se três recomendações gerais:

- Deverá existir um esforço concertado nacional baseado em oportunidades de mercado, forte qualificação de recursos humanos e capacidades regionais.
- O financiamento das inovações é uma constante batalha para as firmas que começam suas atividades (*start-up firms*). O governo deve exercer papel mais efetivo para aproximar idéias e investimentos.
- Os esforços de treinamento devem formar cientistas com um sentido de negócio, uma vez que eles se constituem em um fator crítico para a formação de novas firmas e para o crescimento econômico.

Em Agosto 2001, criou-se no Canadá o *National Institute for Nanotechnology* (NINT), localizado no campus da Universidade de Alberta, Edmonton. O Governo, a Província de Alberta e a Universidade investiram CAD$120 milhões em cinco anos em uma nova parceria que organizou um *cluster* de inovação com os departamentos de pesquisa da Universidade de Alberta.

Setores públicos e privados identificaram três áreas nas quais a pesquisa deve ser focalizada: manufatura, TICs e biotecnologia. O enorme potencial da

[61] Baseado em *Government of Canada* (2002) e Smith (2004).

nanotecnologia foi reconhecido, mas é imperativo criar uma massa crítica de pesquisadores e engenheiros para que o país possa concorrer internacionalmente.

As firmas canadenses de nanotecnologias apresentam características típicas do setor em escala mundial - muitas são pequenas empresas, que lutam para financiar pesquisa enquanto buscam mercados para os seus produtos. Apenas algumas transnacionais parecem ter programas nanotecnológicos ativos: IBM, HP, Dow, Degussa e Mitsui. Cada uma delas tem seu próprio programa interno de pesquisa, embora mantenham ativos programas de financiamento a Pequenas e Médias Empresas-PME que detenham patentes estratégicas. Apenas uma empresa canadense foi identificada com um programa ativo de pesquisa.

Austrália

A esfera da nanotecnologia é uma das áreas de maior crescimento em pesquisa e tecnologia na Austrália. O *Australian Research Council Nanotehnology Network* (ARCNN)[62] dedica-se a dar impulso substancial aos resultados obtidos em P&D nesse campo, promovendo colaborações efetivas, expondo os pesquisadores a enfoques alternativos e complementares de outros campos, estimulando estudantes de pós-graduação e pesquisadores iniciantes, aumentando a infra-estrutura em nanotecnologia, estimulando a atenção à infra-estrutura existente e promovendo vínculos internacionais.

Esta nova e inovativa rede foi criada por quatro redes financeiras, que se uniram para cobrir as áreas mais amplas e criar uma rede maior e mais efetiva.

América Latina

Na América Latina, na maioria dos países, as atividades vinculadas à nanotecnologia são incipientes e não se pode dizer que exista uma política orientada a esta esfera. Porém, existe uma rede bastante ampla de instituições que trabalham neste campo que poderiam ser o embrião de uma atividade mais estruturada. Seus resultados poderão dar elementos futuros para a formulação de políticas tanto por países como coletivamente para toda a região. O Quadro seguinte apresenta essas principais instituições e redes de pesquisa existentes.

---

[62] *Australian Research Council Nanotechnology Network*, 2008.

QUADRO
Nanotecnologia na América Latina

País	Instituição	URL
Argentina	Fundación Argentina de Nanotecnología	http://www.fan.org.ar/
	Laboratorio de Diseño de estrategias de Targeting de Drogas (LDTD). U.N. Quilmes.	http://www.ldtd.unq.edu.ar
Argentina-Brasil	Centro Argentino-Brasileiro de Nanotecnologia	http://www.cabnn.secyt.gov.ar/ http://www.mct.gov.br/index.php/content/view/24251.html
Brasil	Ministérioda Ciência e Tecnologia	http://www.mct.gov.br/index.php/content/view/727.html
	Rede de Materiais Nanoestruturados	http://www.if.ufrgs.br/~israel/index1.html
	Rede de Nanotecnologia Molecular e de Interfaces	http://www.renami.com.br/
	Rede de Pesquisa em Nanobiotecnologia,	http://www.nanobiotec.iqm.unicamp.br/
	Rede Cooperativa para Pesquisa em Nanodispositivos Semicondutores e Materiais Nanoestrutrados	http://www.if.sc.usp.br/~nanosemimat/
	Rede de Pesquisa em Nanotecnologia, Sociedade e Meio Ambiente	http://nanotecnologia.incubadora.fapesp.br/portal
Colombia	Consejo Nacional de Nanociencia y Nanotecnología	http://ewh.ieee.org/r9/colombia/2006/home.php
Costa Rica	Laboratorio de Nanotecnología	http://www.cenat.ac.cr/cenat/?q=node/22
México	Red de Grupos de Investigación en Nanociencias	http://www.nano.unam.mx/
	Red Internacional de Nanociencia y Nanotecnología	http://www.viep.buap.mx/redinn.htm
Cuba	Ver anexo (PDF)	
Latin America	Red Latinoamericana de Nanotecnología y Sociedad	http://estudiosdeldesarrollo.net/relans/ReLANS

Tomado de Red Latinoamericana de Nanotecnología y Sociedad http://estudiosdeldesarrollo.net/relans-portugues/page9/page9.html. (20/03/2005)

CONCLUSÕES E SUGESTÕES

A convergência das modernas tecnologias na nanoescala é progressiva; de fato, os campos da NBIC estão se integrando passo a passo, embora com uma taxa rápida de aceleração. A CT tal como se manifesta hoje não deve ser confundida com o critério anterior de interdisciplinaridade ou multidisciplinariedade, muito embora sejam processos igualmente associados à aproximação entre áreas do conhecimento e ao avanço na compreensão da Natureza. Da mesma forma, durante muitas décadas, a convergência em pequena escala aconteceu em muitas áreas, mas, por mais significativas que tenham parecido para os cientistas que as desenvolveram, elas são pálidas em comparação com a convergência global que se observa hoje e que deverá ampliar-se no futuro.

A título de síntese, destacam-se alguns aspectos:

- O papel central da nanotecnologia no processo mais recente de CT. Sobre a difusão da convergência tecnológica no mundo e as políticas públicas, Gallembeck e Rippel (2004) colocam que:

> ...todos os países inovadores têm programas de nanotecnologia – muitos dos quais contêm na realidade programas de convergência tecnológica, ... – com orçamentos crescentes e do mesmo nível que a biotecnologia, tecnologias de informação e meio-ambiente. Todos os programas estão vinculados a estratégias nacionais de desenvolvimento econômico e competitividade, portanto têm características próprias mas sempre engajando o maior número de participantes. Todos têm alvos econômicos definidos, compatíveis com as características da produção industrial do país.

- a CT como um processo no qual convergem conhecimentos e tecnologias para a produção de produtos e processos novos, mas sem necessariamente representar uma fusão entre áreas e setores;
- a necessidade de ações articuladas e cooperativas entre os mais diversos atores, públicos e privados, dos setores produtivo, de pesquisa, e outros;
- o destaque para o papel das políticas públicas no sentido de promover o fortalecimento científico, tecnológico e de inovação dos países, de modo a favorecer a participação destes nos processos mais modernos de CT e de usar as possibilidades de ação do Estado para reverter o mais possível os resultados desse processo em benefícios para a sociedade em geral;

- a complexidade e amplitude do processo, com desafios inteiramente novos para o processo de inovação, mas também na pesquisa propriamente dita, na organização social e em outros campos;
- o aumento da incerteza e a necessidade de monitoramento de riscos e ameaças e de adequação dos sistemas regulatórios. Chama a atenção o atraso apontado por vários especialistas quanto à elaboração, aprovação, instrumentação e controle efetivo de legislações para prevenir, eliminar ou reduzir os riscos reais ou potenciais - sociais, ambientais, éticos ou morais - que o uso indiscriminado de tecnologias baseadas na nanoescala pode produzir.
- A necessidade de novas formas e fortalecimento da cooperação. No que se refere à necessidade de aglomeração, as experiências dos EUA e dos paises europeus parecem indicar que as plataformas ou aglomerados (*clusters*) tecnológicos, localizados perto de centros de pesquisa e/ou universidades, contribuem de forma importante para potenciar as possibilidades de CT. Nesses aglomerados há investimentos monetários e de capital humano que ampliam as possibilidades de aproveitamento das diferentes tecnologias que neles se cruzam e se entrelaçam. Esses fatores indicam a importância de promover a aglomeração em determinadas localidades, perto dos recursos humanos qualificados (e de recursos que evoluem junto com a rápida evolução dos aglomerados). Pequenas e grandes firmas podem se instalar na vizinhança e beneficiar-se da aglomeração. É possível notar que muitos dos programas nos diversos países estão concebidos para se desenvolverem na forma de redes virtuais ou de *clusters.* Particularmente, a interação em redes parece ser uma característica da instrumentação dos processos de CT. [63]
- A necessidade de considerar a dimensão social da CT e seus impactos. A convergência de sistemas tecnológicos na nanoescala tem sido adotada como um objetivo estratégico por vários países, particularmente os Estados Unidos, a União Européia, China e Japão. Os benefícios antecipados e os temores de desvantagens competitivas têm juntado uma ampla gama de partes interessadas, governamentais e não governamentais. Na pressa para entrar e/ou dominar mercados, as promessas maravilhosas da convergência

[63] Sobre este tema, ver Robinson *et al*, 2007, Kahane *et al, s/d.*

tecnológica são destacadas. Porém, os riscos - embora ainda difíceis de avaliar – são minimizados. Em vista disso, muitas organizações e especialistas questionam se as políticas públicas que estão sendo elaboradas e executadas respondem realmente aos interesses estratégicos da Humanidade ou apenas aos interesses econômicos das empresas e aos interesses de dominação por alguns paises.

Este último aspecto merece destaque. A maioria dos autores e dos textos institucionais para instrução de políticas (NSF, UE, etc.) enfatizam a necessidade de a inovação reverter-se em benefício da sociedade, em desenvolvimentos sociais, em melhores condições de vida para o ser humano.

Para que a convergência possa beneficiar realmente à Humanidade as concepções, os métodos e as políticas públicas relativas a elas devem mudar dramaticamente.

Em termos retóricos, muitas publicações e declarações políticas expressam intenções de caráter social como melhorar a saúde e diminuir a desnutrição. Porém, como a realidade indica, as motivações humanitárias não são as razões primárias do processo de avanço tecnológico. É por isso que são necessárias políticas públicas verdadeiramente democráticas e de justiça social para conseguir que esses avanços, como é o caso das tecnologias emergentes e sua convergência, sejam de real benefício para toda a sociedade, que contribuam para um real desenvolvimento sustentável.

Como resume Cavalheiro (2007), “a Convergência Tecnológica abre possibilidades e encerra dilemas éticos importantes demais para que seu monopólio pertença a quem quer que seja, inclusive a cientistas”. O autor alerta ainda que o tema deve interessar e mobilizar todos os segmentos da sociedade, pois os resultados de sua aplicação, além de atuar na fronteira do conhecimento, trarão impactos para muito além das fronteiras econômicas e nacionais.

E, como expressa Gorman (2003, pp. 30-31) “se as tecnologias convergentes não beneficiam ao planeta completo e só a uma elite, teremos falhado em realizar um progresso real”.

No entanto, as possibilidades de realizar benefícios sociais não dependem, necessária ou exclusivamente, das tecnologias ou dos elementos científicos e técnicos para desenvolvê-las.

Essa é uma questão, antes de tudo, política. Refere-se, portanto, ao estabelecimento da agenda, à seleção de prioridades, ao estabelecimento de normas, às condições e limites para concessão de financiamentos. Trata-se da necessidade de estabelecer processos de desenvolvimento de tecnologias, de inovação que sejam instruídos pelas possibilidades e aspirações científicas e técnicas, mas também pelas possibilidades de uso e pelas expectativas de impactos em termos mais amplos do que os retornos exclusivamente econômicos ou de dominação político/militar. Isso significa que os benefícios e os riscos sociais devem compor o quadro de fatores que influenciam as decisões sobre o processo de desenvolvimento e de utilização de uma tecnologia desde o planejamento até as avaliações *ex-post*. Deve-se induzir a pesquisa e a inovação no sentido de aproximar, cada vez mais, os benefícios econômicos da inovação ao desenvolvimento sustentável[64].

Nesse sentido, considerando a moderna convergência tecnológica, em termos gerais, algumas das ações que podem contribuir para a formulação de políticas são:

(i) identificar oportunidades para o paiis, com base nas condições locais e possibilidades de cooperação;

(ii) definir quais dessas oportunidades podem contribuir, simultaneamente, para o crescimento econômico e para o aprimoramento da sociedade – seja do ponto de vista social, ambiental ou outros;

(iii) identificar, para cada uma dessas oportunidades, quais são e onde estão as competências, quais são os gargalos - fatores que necessitam ser criados, fortalecidos e/ou complementados -, e até que ponto as políticas públicas – em articulação com os demais atores – podem contribuir para o aproveitamento das oportunidades;

[64] Aqui compreendido em um conceito amplo, abrangendo as dimensões econômica, social, e ambiental. Ver Sachs, 2004.

(iv) Identificar as necessidades de financiamento e de outras formas de apoio e/ou de indução, criando instrumentos de apoio ou adequando aqueles já existentes;

(v) Estabelecer e/ou aplicar normas que garantam a realização das atividades e aplicação dos seus resultados no sentido desejado;

(vi) Acompanhar e avaliar, em um sentido amplo, os impactos das realizações em termos do aperfeiçoamento da sociedade; e em sentido estrito os programas e projetos apoiados;

(vii) Promover revisões nas políticas públicas, a partir do acompanhamento e das avaliações, de modo a reforçar continuamente as orientações e realizações em termos do desenvolvimento integral no país.

No caso brasileiro, especificamente, além das sugestões anteriores, algumas sugestões são:

1. Aprofundar as avaliações de resultados e impactos dos recursos alocados nas Redes (financiadas pelo MCT e por outras instituições) com características de CT, com a participação de empresas e outros setores da sociedade, identificando produtos, patentes, publicações, perfil dos participantes, e impactos (ou potencial de) de natureza diversa – econômicos/comerciais/ empresariais; científicos; organizacionais; ambientais; sociais; etc.

2. Discutir e propor sugestões para capacitação de RH com base nos perfis necessários ao contexto de CT, com visão transversal, tecnológica e humanista, em uma abordagem integral, em que essas dimensões não são mutuamente excludentes.

3. Identificar as propostas do executivo e legislativas em curso, de forma a construir articulações entre esses níveis e com outros atores importantes do sistema de inovação e da sociedade como um todo;

4. Sensibilizar os tomadores de decisão e a setores mais amplos da sociedade quanto à importância e impacto das CT;

5. Consolidar uma visão sistêmica da C&T&I, promovendo a articulação e, quando for o caso, a integração de políticas no campo das modernas tecnologias, criando melhores condições para o exercício da CT;

6. Um aspecto que se ressalta na leitura sobre várias experiências nacionais e casos de investimentos em tecnologias avançadas refere-se ao capital de risco. Apesar de este não ter sido um foco deste documento, quando se trata de CT com base na nanoescala, deve-se mencionar sua importância e a necessidade de países como o Brasil buscarem soluções, uma vez que apresentam fragilidade importante nesse ponto. Nos países mais avançados há tradição de firmas de capital de risco, que investem nos projetos de tecnologias avançadas apostando em frutos previstos apenas para anos após esse investimento.[65]

Contribuições possíveis do CGEE

O CGEE pode ocupar um espaço importante nesse processo no Brasil, em relação a praticamente todas as sugestões elencadas acima. E evidente que devem ser feitas escolhas para compor a agenda da instituição, de acordo com as prioridades acordadas no âmbito do Contrato de Gestão com o MCT e pelos processos de decisão internos para trabalhos com outros clientes, quando for o caso.

Apenas como sugestão, colocam-se abaixo algumas das possibilidades que parecem mais próximas das atividades realizadas pela instituição.

Quanto à identificação de oportunidades relacionadas aa convergência das modernas tecnologias, o CGEE pode desenvolver ações novas, além de aproveitar as ações já em curso para contribuir nesse processo. Por exemplo:

a. Reunir a competência existente, em pequenos comitês ou conselhos, ou mesmo promover seminários e/ou consultas mais amplas. O CGEE pode contribuir para caracterizar a situação brasileira e gerar propostas para fortalecer a CT, em programas e projetos existentes, bem como em novas iniciativas. Isso foi realizado para nanotecnologia e poderia ser ampliado sob a abordagem da CT. Algumas questões poderiam ser:

   - Quais os processos e produtos com forte potencial econômico e social em cujo desenvolvimento o Brasil tem maiores chances de desenvolver e/ou participar?

[65] Reisch, 2007, p. 24-25. Em notas e análises sobre produtos nanotecnológicos, biotecnológicos e das TICs, são encontradas inúmeras referências sobre esses casos.

- Quais são as principais linhas de pesquisa e desenvolvimento tecnológico nas quais já existem grupos brasileiros envolvidos? Qual o papel e a estratégia de articulação dos diversos atores?
- Conjugando as questões anteriores, é possível definir algumas prioridades?
- Quais são as condições e fatores que possibilitam desenvolver e/ou fortalecer as oportunidades existentes?
- Há obstáculos? Quais?
- Como atuar sobre o contexto para suprir as lacunas existentes e superar dificuldades?
- Como promover o melhor aproveitamento possível das capacidades e facilidades existentes?
- Nos campos centrais das tecnologias que têm convergido nesta etapa mais avançada do conhecimento – nano, bio, info e neuro, além de outros que podem ser destacados nos casos identificados -, há fatores e/ou comuns, que podem ser abordados em políticas mais abrangentes?
- Que tipo de revisão seria necessária na atual abordagem política e de apoio à pesquisa e ao desenvolvimento no país para fortalecer as condições para o aproveitamento das oportunidades no processo de CT?

b. Promover estudos prospectivos, de vigilância e outros que permitam um acompanhamento permanente da situação da CT em âmbito internacional, das práticas, da dinâmica e das estratégias que ela engendra, do direcionamento das pesquisas e da inovação, dos resultados, impactos e expectativas. O ambiente globalizado, a forte competitividade internacional nas tecnologias avançadas, a complexidade e o fortalecimento das cooperações no campo da CT, entre outros aspectos, faz da dimensão internacional um componente fundamental para uma adequada avaliação de oportunidades bem como para a formulação e implementação de políticas e estratégias internas.

c. No que se refere às potencialidades da convergência tecnológica, é necessário entender a dinâmica do processo de 'fazer interagir' diversos

campos do conhecimento e de tecnologias. Porém, essa dinâmica não é igual para todos as tecnologias, setores, etc.

Para aprofundar o conhecimento dessas diferenças e precisar os elementos de contexto – não apenas cientifico e tecnológico, mas também aspectos sociais, econômicos, ambientais e culturais que influenciam nos processos setoriais -, além da ação anterior, mas com base nela, o CGEE poderia:

- propor e/ou implementar estudos de casos, em áreas e setores diversos, que contribuam para elucidar essas dinâmicas diferenciadas, verificar aspectos que podem ser objeto de políticas gerais e aqueles que necessitem de instrumentos bem direcionados.[66] Esses estudos podem ser tanto de análise de casos que estejam sendo desenvolvidos no país quanto estudos prospectivos com foco em oportunidades consideradas mais promissoras e/ou relevantes;
- explorar as questões da CT nos casos dos estudos setoriais que têm desenvolvido. Em cada caso se busca identificar tecnologias chave para o futuro do setor específico. Muitas dessas tecnologias se desenvolvem no âmbito da convergência tecnológica e o país necessita estruturar-se para que sejam conquistadas e/ou garantidas as condições desse desenvolvimento. A análise promovida pelo CGEE deve considerar o processo de CT, sua dinâmica e necessidades científicas, técnicas e de gestão em cada caso particular. Por meio desses estudos a instituição pode contribuir para fortalecer políticas e uma organização adequada à convergência das modernas tecnologias;
- promover e/ou implementar estudos prospectivos e de avaliação sobre a moderna CT: como se encontra no Brasil; quais as principais linhas de pesquisa e projetos; quais as competências existentes; quais os principais atores que já atuam nessas iniciativas; de que forma os grupos de pesquisa e empresas 'resolvem' as necessidades de integração com os demais campos e áreas; ou seja, como eles fazem a interação dos conhecimentos e das tecnologias nos projetos específicos; como formar competências ainda não existentes e que serão essenciais para o avanço

[66] ver exemplo do STT – The Netherlands, com os estudos sobre neuroeletrônica e sobre medicina regenerativa. Doorn, M. 2006.

dos conhecimentos e da inovação; qual o grau de interação entre grupos, empresas e outros atores? Como fortalecer essa interação? Que tipo de instrumento seria mais efetivo para promovê-la?

d. Promover a articulação e maior integração entre pesquisadores, empresários, especialistas e técnicos dos governos, nos seus mais variados níveis e campos de atuação. Isso, evidentemente, já estará sendo feito no caso das ações anteriores. Mas também podem ser promovidos debates mais amplos sobre os resultados dos trabalhos desenvolvidos e com o intuído de refletir sobre as propostas geradas a partir deles, bem como para captar novas sugestões e identificar novas oportunidades, em um processo dinâmico e sistemático.

Brasília, Junho, 2008

TWSaenz
tirso@onix.com.br

MCSouza-Paula
mcarlota@onix.com.br

Referências

Acharya, R. (1999): *The emergence and Growth of Biotechnology. Experiences in Industrialised Countries.* Edward Elgar Editors. Cheltenham, UK.

Alivisatos, R. P, (2002): Less is more in medicine. Em Scientific American Editors (comp.) *Understanding nanotechnology.* Warner Books, Ny. Pp. 59-69.

Altmann, J. (2006): *Military Nanotechnology.* London, Rutldge, *apud* Whitman, J, (2007): The governance of nanotechnology. *Science and Public Policy,* 14(4): 273-283. Beech Tree Publishing.

Anon, (2007): *Report on Mid- and Long term research and Development Strategy for nanotechnology/Materials Science in Japan.* htpp://www.nanonet.go.jp/english/info/report/rep20060628.html. (07/12/2007).

Arber, W. & M. Brauchbar (1999): Biotechnology for the 21st Century. En OECD: *21st Century Technologies. Promises and Perils of a Dynamic Future.* OECD, pp. 77-95.

Arnall, H. (2003): *Future technologies, today's choices.* A repot for the Greenpeace Environmental Trust. www.greenpeace.org.uk/MultimediaFiles/Live/FullReport/5886.pdf. (17/12/2007

Arvonny, M.; Miquel, A.; Vicent, C.; e Witkowski, N. (1990). *Les Chemins de la Science – Regards sur la Recherche*. CNRS, Paris, 202 pags.

Australian Research Council Nanotechnology Network (2008) http://www.ausnano.net/ (12.02/2008)

Bainbridge W. S. & M. C. Rocco (2007): Reality and Rapid Convergence. Em Bainbridge W. S. & M. C. Rocco (eds.) *Progress in Convergence. Technologies for the Human Wellbeing.* Annals of the New York Academy of Sciences, Volume 1093. Blackwell Publishing, Boston Massachussetts.

Bainbridge, W. S. & Roco, M. C.(2005): Progressive Convergence. In Bainbridge, W. S. & Roco, M. C (eds): *Nano-Bio-Info-Cogno Innovations: Converging Technologies in Society.*Dpringer, Netherlands. …..

Barrow, J. D. Impossibility. The Limits of Science and the Science of Limits. Oxford U. Press, 1998. 279 pags.

Baum, R (2003): Nanotechnology. Drexler and Smalley make the case dor and against "molecular assemblers". *Chemical and Engineering News,* Vol 81, No. 48, pp. 37-42, December 1.

Bibel,, W. (rapporteur and ed.) (2004): *Converging technologies and the natural, social and cultural world.* Special |nterest Group for the European Commission via an Expert Group on Foresighting the Nanotechnology Wave. ftp.//ftp.cordis.europa.eu/pub/foresight/docs/nhw_sig4_en.pdf (18/12/2007)

Bonacorsi, A. &g. Thoma (2007): Institutional complementarity and inventive performance in nano science and technology. *Research Policy* 36(2007) 813-831.

Borman, S. (2007) Chemistry, Biology Cross-Fertilization. Em *Chemical and Enginneering News*-CEN, vol. 85, n.40, Oct. 1, pp.31-32

Bozeman, B., P. Laredo & V. Mangematin (2007): Understanding the emergence and deployment of "nano" S&T. *Research Policy* 36, 807-812.

Cavalheiro (2007). A Nova Convergência da Ciência e da Tecnologia. CGEE. 2007.

Capozzoli, U. (2007): Fronteiras do conhecimento. *Scientific American,* Edição Especial, No. 22. Brasil.

Center for Responsible Nanotechnology, (2007): *U.S. Nanotechnology Policy — Missing the Point.* http://www.crnano.org/us-policy.htm (08/03/2008).

Chaves, A. e Sheillard, R. C. (2005). Física para o Brasil: Pensando o Futuro. SBF-Sociedade Brasileira de Física. 243 pags.

CEN- Chemical and Enginneering News (2007). vol. 85, n/. 28, July, 9; Oct, 1; Nov. 19;

China Gaining Momentum in Nanotech R&D and Business (2002). www.**nano**world.jp/apnw/articles/library/pdf/3.pdf

China'S State Council (2006): *National medium and long term plans of science and technology development. (2006-2020).* http://www.people.com.cn (12/12/2007)

Comissão das Comunidades Européias (2004): *Towards a European Strategy for Nanotechnology".* COM(2004) 338. http://cordis.europa.eu/nanotechnology/actionplan.htm (13/12/2007).

Comissão das Comunidades Européias (2005): *Nanosciences and nanotechnologies: An action plan for Europe 2005-2009.* COM(2005) 243. http://cordis.europa.eu/nanotechnology/actionplan.htm (13/12/2007).

Comissão das Comunidades Européias (2007): *Comunicação da Comissão ao Conselho, ao Parlamento Europeu e ao Comité Económico e Social Europeu. Nanociências e Nanotecnologias: Plano de Acção para a Europa 2005-2009.* Primeiro Relatório de Execução 2005-2007. Bruxelas, 6.9.2007. http://cordis.europa.eu/nanotechnology/actionplan.htm (13/12/2007).

Cooperação Transfronteiriça Espanha Portugal: Conclusões da XXIII Cimeira Luso-Espanhola. www.poctep.eu/index.php?modulo=noticias_central&pagina=noticiap_04.htm&idioma=0 (20/03/2008)

Damasio, A. R. and others (editors). Unity of Knowledge. The Convergence of Natural and Human Science. New York. NY Academy of Sciences. 2001. 289 pags.

Davies, P (2004): *Managing the risks from nanotechnology*. Paper to the 6 April 2004 Health and Safety Commission meeting http://www.hse.gov.uk/aboutus/hsc/meetings/2004/060404/c42.pdf

Delacha , J. M., J. C. Carullo, G. A. Plonsky & K. A. Evaristo de Jesús (2003): *La Biotecnología en el MERCOSUR: Regulación de la Bioseguridad y de la Priopiedad Intelectual.* CABBIO/CONICET/UNL.

Delemarle, A. (2005): *Beyond the super hero's myth: the genesis of the institutional entrepreneur's discourse.* Working paper. htpp://www.nanodistrict.org/scientific-ouput(07/12/2007).

D'Monte L. (2007): India thinks big about nanotechnology. *Rediff News.* http://inhome.rediff.com/money/2006/mar/17nano.htm. (13/12/2007).

DOORN, Mauritis. *Converging Technologies. Innovation Patterns and Impacts on Society.* STT 71 - Netherlands Study Centre for Technology Trends. The Hague, The Netherlands, 2006.

Doubleday, R & J. Lezaun (2006): The regulation of small things: the incipient government of nanotechnology. *Risk and Regulation.* Summer htpp://www.ise.ac.uk/resources/risks (17/12/2003)

EE. Times India: Karnataka announces India's first nanotech centre. http://www.eetindia.co.in/ART_8800486490_1800001_NT_31cc4ebf.HTM (15/12/2007).

European Commission (2004): *Nanotechnologies: A preliminary risk analysis*.. On the basis of a workshop organized in Brussels on 1-2 March 2004 by the Health and Consumer Protection

European Comission (2004): *Towards a European strategy for nanotechnology. Communication, May 12.*

Fuchs, Thomas (2006): Ethical issues in neuroscience. *Current Opinion in Psychiatry.* 19(6):600-607. http://www.klinikum.uni-heidelberg.de/fileadmin/zpm/psychatrie/fuchs/Neuroethics.pdf (28/03/2008).

Galembeck, F. & Márcia Maria Rippel (2004): *Nanotecnologia: Estratégias Institucionais e de empresas.* www.mct.gov.br/upd_blob/0007/7608.pdf. (22/12/2007)

Gorman, M. E. (2003): Collaborating on Convergent Technologies. Em Em Roco, M, S. & C. D. Montemagno (eds) *The Coevolution of Human potential and Converging Technologies.* Annals of the New York Academy of Sciences of. Volume 1013, May. The New York Academy of Sciences, New York..

Government of Canada (2002): *Submission. National Consultation on the Nanotechnology Industry in Canada.* file:///G:/CONVERGENCIA%20TECNOLOGICA/DOCUMENTO%20CGEE/PROD-02/FICHAS/Innovation%20in%20Canada%20Submission—

National%20Consultation%20on%20the%20Nanotechnology%20Industry%20in%20Canada.htm#international

Guan, J, & N. Ma (2007): China's emerging presence in nanoscience and nanotechnology. A comparative bibliometric study of several nanoscience "giants". *Research Policy*, 36: *880-886.*

Howard: Nanotechnology represents an "exciting challenge" for EHS, Occupational Hazards, *USA*, 7 May 2004. findarticles.com/p/articles/mi_hb4382. (20/03/2008)

Kahane, B, C. Theoret, A. Mogoutov & P. Loredo (s/d): *Dynamics of "nano" science: a remake of the IT or Bio "waves".* http://www.nanodistrict.org/events/Workshop%20%20March/nanotec/Kahane.pdf. (07/12/2007)

Kaku, Michio (1997). *Visions. How Science will Revolutionize3 the 21st Century*. Anchor Books, doubleday, NY, 403 pags.

Kayser, H. (2007): *Nanotechnology 2015 and Converging Markets, Nano-Bio-Cogno-Info worldwide.* May. http://www.hkc22.com/nanotechnologybook.html (03/11/2007).

Keiper, A. (2003): The Nanotechnology Revolution. *The New Atlantis.* http://www.thenewatlantis.com/archive/2/keiper.htm

Khushf, G (2003); Systems Theory and the Ethics of human Enhancement. A Framework for NBIC Convergence. Em Em Roco, M, S. % C. D. Montemagno (eds) *The Coevolution of Human potential and Converging Technologies.* Annals of the New York Academy of Sciences of. Volume 1013, May. The New York Academy of Sciences, New York.

Krisnadas, K. C. (2007 a): *Times* .12/06/2007. http://www.eetimes.com/showArticle.jhtml?articleID=205204226 (19/03/2008).

Krisnadas, K. C. (2007b): India preps nanotechnology policy. *EE Times.* 12/28/2008.http://www.eetimes.com/showArticle.jhtml?articleID=205204226 (19/03/2008)

Kuhn, T. (!962): *The Structure 0f the Scientific Revolutions.* University of Chicago Press, Chicago.

Lewinski, Nastassja.(2005) Nanotechnology Policy and Environmental Regulatory Issues. *Journal of Engineering and Public Policy*. Aug., vol. 9 http://www.wise-intern.org (22/03/2008)

Maison de la Nature et l'Environnement des Bouches-du-Rhône (França) http://www.mne13.org/ (26/11/2007)

McCoy, M. (2007). Materials in Motion – *CEN*, vol. 85, n.28, July, 9, pp. 10-16)

Miller, R., W. Michalski & B. Stevens (1999); The promises and perils of 21st century technology; An overview of the Issues. In OECD: *21st Century technologies. Promises and Perils of a Dynamic Future.* OECD, Paris.

Montemagno, C. D. (2004): Integrative Technology for the Twenty-First Century. Roco, M. C. (2004): Science and Technology Integration for Increased Human Potential and Societal Outcome In Roco, M. C. & C. D. Montemagno (ed.) *The Coevolution of Human Portential and Converging Technologies.* Annals of the Academy of Sciences of New York, NY.

Mullin, R – (2007). C&EN, Dec. 3, pp. 42-43

Murday, James (2003). Oral remarks for the Department of Defense before the Senate Committee on Science, Commerce and Transportation (May 1, 2003). http://www.nano.gov/html/res/MurdaySenTest03.htm. (30/03/2008)

Nanotechnology Safety Hazards (2005), Issue 87
www.hazards.organotechsafety.htm (18/03/2008)

National Nanotechnology Initiative: http://www.nano.gov/html/edu/home.edu.html (06/11/2007)

National Nanotechnology Initiative (NNI) Funding Opportunities at NSF in FY 2008 hhttp://www.nsf.gov/nano (06/11/2007)

National Science and Technology Council (…): *Nanotechnology. Shaping the World Atom by Atom.* Committee on Technology The Interagency Working Group on Nanoscience, Engineering and Technology. http://itri.loyola.edu/nano/IWGN.Public.Brochure/ (17/03/2008)

Nordmann, A. (rapporteur) (2004): *Converging Technologies – Shaping the Future of European Societies.* European Commission Research.
NSF: http://www.nsf.gov/news/news_summ.jsp?cntn_id=100602. (06/11/2007)

NSF & Department of Commerce (2004): NBIC Convergence Conference 2004. Converging Technologies for Improving Human Performance. February 25-27th, New York Marriott Financial Center, New York, NY http://www.infocastinc.com/nbic/nbichome.htm, Acesso em (03/10/2007).

NSF/DOC (2002): Report 2002. *Converging technologies for improving human performance ; nanotechnology, biotechnology, information technology and cognitive science.* http://www.wterc.org/ConvergingTechnologies. (18/12/2007).

Nye, D. E. (2006): *technology Matters Questions to Live with.* Cambridge MA. MIT Pres *apud* Whitman, J, (2007): The governance of nanotechnology. *Science and Public Policy,* 14(4): 273-283. Beech Tree Publishing.

Nordmann, Alfred, Rapporteur (2004).Converging Technologies – Shaping the Future of European Societies. http://www.ntnu.no/2020/pdf/final_report_en.pdf (03/02/2008)

Pérez, Carlota (1987): Revoluciones tecnológicas y transformaciones socio-institucionales. Em *Cuestiones de Política Científica y tecnológica.* Segundo Seminário "Jorge Sábato". Madrid, 2-6 de junio de 1986. Consejo Superior de Investigaciones Científicas. Madrid.

Porod,, W. e*t al* (2004) Bio-Inspired Nano-sensorEnhanced Cnn Visual Computer. Roco, M. C. (2004): Science and Technology Integration for Increased Human Potential and Societal Outcome In Roco, M. C. & C. D. Montemagno (ed.) *The Coevolution of Human Portential and Converging Technologies.* Annals of the Academy of Sciences of New York, NY.

Porter, A, P. Shapira,M., D.J. Shoeneck, A. S. Bhaskarabhatla, Youtie, J.. D. Libaers (2006): *Explorations in Research and Innovation Systems.* The Atlanta Conference on Science and Technology Policy. 2006 US-EU Policies for Research and Innovation. May 18-20, 2006. http:/www.spp.gatecg.edu/conference2006.php: Atlanta, US. (02/12/2007).

Physorg.com (2005): *Nanotechnology in China is focusing on innovations and new products.* htpp://www.physorg.com/news5670.htm (18/12/2007).

Reisch, M. (2007). Thirst for Power (Investors bet on advance in Battery Technology for electronic and cars). Em *CEN,* vol. 85, n. 28, July, 9, pp. 24-25.

Rickerby, D.G. (2006): Societal and policy aspects of the introduction of nanotechnology in healthcare. *International Journal of Healthcare Technology and Management*, Volume 7, Number 6 / 2006, 463 – 473. www.inderscience.com/search/index.php?action=record&rec_id=10411&prevQuery=&ps=10&m=or (29/03/2008).

Robin, J. (1989): *Changer D'Ere*. Ed. Du Seuil. Paris..

Robinson, D. K. R, Rip, A., Mangematin, V. (2007): Technological agglomeration and the emergence of clusters and networks in nanotechnology, *Research Policy,* 36: 871-879.

Roco, M. C. & C. D. Montemagno (2004): Preface. In Roco, M. C. & C. D. Montemagno (ed.) *The Coevolution of Human Portential and Converging Technologies.* Annals of the Academy of Sciences of New York, NY,

Roco, M. C. (2007) Progress in Governance of Converging Technologies Integrated from the Nanoscale. Em Bainbridge W. S. & M. C. Rocco (eds.) *Progress in Convergence. Technologies for the Human Wellbeing.* Annals of the New York Academy of Sciences, Volume 1093. Blackwell Publishing, Boston Massachussetts.

Roco, M. S. & W. S. Bainbridge (2003): *Converging technologies for Improving Human Performance.* Dordrecht, Netherlands, *Apud* Roço, M. C. (2007) Progress in Governance of Converging Technologies Integrated from the Nanoscale. Em Bainbridge W. S. & M. C. Rocco (eds.) *Progress in Convergence. Technologies for the Human Wellbeing.* Annals of the New York Academy of Sciences, Volume 1093. Blackwell Publishing, Boston Massachussetts.

Roco, M. C. & W. S. Bainbridge: (2002): Executive Summary. In Roco, M C. & W. S Bainbridge (eds.): *Converging Technologies for Improving Human Performance.* A NSF/DOC sponsored report. Arlington, Virginia, June.

Roco, M. S. (2004a): Science and Technology Integration for Increased Human Potential and Societal Outcomes. Em Roco, M, S. % C. D. Montemagno (eds) *The Coevolution of Human potential and Converging Technologies.* Annals of the New York Academy of Sciences of. Volume 1013, May. The New York Academy of Sciences, New York.

Roco, M. C. (2004b): Integrating Science and Society. In Roco, M. C. & Montemagno, C. D. (eds.) *The Coevolution of Human Potential and Converging Technologies.*Annals of the New York Academy of Sciences, Vol 1013, may.)

Roethamel, F. T. & Thursby, M. (2005): University incubator firms knowledge flows: assessing their impact on incubator firm performance. *Research Policy* 34(3) 305.

Roethamel, F. T. & Thursby, M. (2007): The nanotech versus the biotech revolution, sources of productivity in incumbent firms. *Research Policy* 36, 832-839.

Rogers, Lois ((2005): Safety fears over ''nano' anti-ageing cosmetics. *The Sunday Times*, 17 July. http://w5online.co.uk/archiveEducResource/nanotechnology/Eye%2Ocream%20info%20blueboards%203.doc. (23/12/2007).

Rourke, M. (2007): Espaço suficente lá embaixo. *Scientific American,* Edição Especial, No. 22. Brasil.

Rourke, M. (2001): Nanoelectromechanical systems face the future. *Physics World.* Vol. 14, No. 2, fevereriro. http://physicsworld.com/cws/article/print/293. (08/04/2008).

Royal Society (2004): Nanoscience and n*anotechnologies: opportunities and uncertainties.* RS policy documents 19/04. London, The Royal Society. http://www.nanotec.org.uk/finalReport.htm. (23/12/2007).

Ruppert, Hall, A. (1962): *A revolução na ciência. 1500- 1750.* Edições 70. Lisboa.

Sachs, I. (2004): *Desenvolvimento includente, sustentable, sustentado.* Editorial Garamond, Rio de Janeiro.

Sáenz, T. W. (2005): Biotechnology for medical Applications: The Cuban Experience. *Science, Technology & Society,* vol.10, no. 2, July-December, pp. 225-248.

Schtivelman, J. & Russell H. C, (1989): Sustainable Development, Human Resources, and Technology. En Nef, J., Vanderkop, J. & Wiseman, H.: *Ethics and Technology.* Wall & Thompson, Toronto.

SciDev (2006): Nanotechnology research could take off in India but as *R. Ramachandran* reports, there are obstacles on the runway. 29;06/2006. http://www.scidev.net/Features/index.cfm?fuseaction=readfeatures&itemid=533&language=1 (10/02/2008)

Sententia W. (2004) *Neuroethical Considerations: Cognitive Liberty and Converging Technologies for Improving Human Cognition.* Center for Cognitive Liberty & Ethics, Davis, California, www.cognitiveliberty.org (13/10/2007).

Smith, J. (2004): Development of S&T Foresight Capacity for National Science Advice on S&T Convergence. Office of the National Science Advisor, Canada. www.cos-toekomstverkenningen.nl/foresightconference/programme-presentations/20041202/4.ppt

Sienko Tanya (2007): *Present Status of Japanese Nanotechnology Efforts.* http://www.foresight.org/Conference/MNT05/Papers/Sienko/index.html

Smith, J. (2004): Development of S&T Foresight Capacity for National Science Advice on S&T Convergence. Office of the National Science Advisor, Canada. www.cos-toekomstverkenningen.nl/foresightconference/programme-presentations/20041202/4.ppt. (20/10/2007)

Smith, J. (2004): Development of S&T Foresight Capacity for National Science Advice on S&T Convergence. Office of the National Science Advisor, Canada. www.cos-toekomstverkenningen.nl/foresightconference/programme-presentations/20041202/4.ppt. (03/10/2007).

Spohrer, J. C. & D. C. Engelbart (2003): Converging Technologies for Enhancing Human Performance. Em Em Roco, M, S. % C. D. Montemagno (eds) *The Coevolution of Human potential and Converging Technologies.* Annals of the New York Academy of Sciences of. Volume 1013, May. The New York Academy of Sciences, New York.

Thorstendottir, H, Sáenz T. W., U. Quach, Daar, A. S. & Singer. P. A. (2004): Cuba: Innovation through Synergy. *Nature Biotechnology,* 22, December, pp. 19-24.

TUC Report, 2004 ,http://www.tuc.org.uk/h_and_s/tuc-8350-f0.cfm] (08/03/2008)

Tzotzos, G. T. (1993): *Biotechnology R&D Trends.* Annals of the Academy of Sciences of New York, Volume 700.

United States Congress Office of Technology Assessment (USA OTA) (1991): *Biotechnology in a Global Economy.* Washington D.C.; USA OTA, US Government Printing Office.

U.S. Environmental Protection Agency (2007): *Nanotechnology White Paper* EPA00/B-07/001, February. EPA, Washington

US. Senate Committee on Commerce, Science and Transportation (2003): *s.189, 21st Century Nanotechnology Research and Development Act.* USD Government printing Office, Washington, May.

U-Shu Nanotech (2007): Nanotechnology in India: Universities & Research Centers http://www.indiananotechnology.com/Nano_reports.html (13/12/2007).

Wilson, E. (a) (1998). Consilience. The Unity of Knowledge. New York. Knoff. 332 pags.

Wilson, E.(b) (2007). A Renaissance for Hofmeister. Em *CEN*, Nov. 26, pp. 47-49.

Whitman, J, (2007): The governance of nanotechnology. *Science and Public Policy,* 14(4): 273-283. Beech Tree Publishing.

Whitesides, G. M. & J. C. Love: (2007) A arte de construir pequeno. *Scientific American,* Edição Especial, No. 22. Brasil. Pp. 15 -22.

Woodrow Wilson International Center for Scholars (2006): *Green Nanotechnology Policy: Opportunities & choices* .http://www.wilsoncenter.org/index.cfm?topic_id=166192&fuseaction=topics.event_summary&event_id=185537 (09/03/2008)

Zhang Jingjing & Liu Li (2006): *Nanotechnology Research in China: Performance, Policy, and Prospects.* Prime workshop Mapping the emergence of nanotechnologies and understanding the engine of growth and development. Grenoble, Wednesday March,1st and Friday, March 3rd.MSH Alpes, Maison des Sciences de l'Homme. Campus Universitaire.