



 Fundação Carlos Chagas | *referência em educação*  
www.fcc.org.br



A Fundação Carlos Chagas tem como premissa essencial a questão da cidadania. Em suas especialidades e linhas de pesquisa, atua com vistas ao desenvolvimento humano-social.

A produção em pesquisa na FCC, articulada entre os pólos de avaliação de políticas, gênero e raça, abrange aprofundados estudos sobre os vários níveis de ensino.

Nas três publicações da Fundação – Cadernos de Pesquisa, Estudos em Avaliação Educacional e Textos FCC –, essa produção acadêmica divide espaço com o trabalho de pesquisadores de outras instituições e possibilita uma visão diversificada sobre as questões da área.

## A NOVA CONVERGÊNCIA DA CIÊNCIA E DA TECNOLOGIA<sup>1</sup>

ESPER A. CAVALHEIRO

### RESUMO

A ação sinérgica dos quatro campos científicos e tecnológicos que apresentaram crescimento acelerado nas últimas décadas — nanotecnologia, biotecnologia, tecnologias de comunicação e informação e ciências cognitivas (neurociência) — tem sido intitulada Convergência Tecnológica. Este artigo faz uma revisão das principais discussões que vêm ocorrendo na comunidade científica internacional sobre o seu desenvolvimento e assinala a necessidade de uma abordagem mais ampla que inclua as ciências humanas e sociais e outros atores relevantes na sociedade contemporânea.

**PALAVRAS-CHAVE:** *Convergência Tecnológica; nanotecnologia; biotecnologia; tecnologias da informação e da comunicação; neurociência.*

### SUMMARY

The synergic combination of the scientific and technological fields that presented a rapid growth rate in the last few decades — nanotechnology, biotechnology, information and communication technologies, and cognitive science including neuroscience — is nowadays known as Convergent Technologies. This paper reviews its recent impact on the international scientific community and points out the need of amplifying the discussions to include humanities and social sciences and other important actors of contemporary society.

**KEYWORDS:** *Converging Technologies; nanotechnology; biotechnology; information and communication technologies; neuroscience.*

*"If the Cognitive Scientists can think it,  
the Nano people can build it,  
the Bio people can implement it, and  
the IT people can monitor and control it"*

Wallace citado por Roco e Bainbridge, 2002

[1] Este texto é resultado de reflexões ocorridas no Centro de Gestão e Estudos Estratégicos — CGEE, Brasília, como subsídio para estudo na área da Convergência Tecnológica.

A declaração quase poética acima foi feita por um dos participantes do simpósio intitulado "Converging Technologies for Improving Human Performance", realizado em 2001, financiado pela National Science Foundation dos Estados Unidos e organizado por Mihail C. Roco e William S. Bainbridge. A Convergência Tecnológica, tal como tratada nesse simpósio, refere-se à combinação sinérgica de quatro grandes áreas do conhecimento: a Nanotecnologia, a Biotecnologia,

as Tecnologias da Informação e da Comunicação e as Ciências Cognitivas (Neurociência), campos que vêm se desenvolvendo com grande velocidade nas últimas décadas. Ao propor a possibilidade dessa convergência como uma realidade para o futuro próximo, os participantes desse encontro apontam para o fato de que cada uma dessas tecnologias, individualmente, já é capaz de introduzir modificações significativas na sociedade e no ambiente, e que a combinação das quatro áreas poderá, portanto, trazer modificações muito mais expressivas. Com foco no que seus participantes chamaram de “novo renascimento da ciência e da tecnologia”, o simpósio americano abordou várias possibilidades para a aplicação da Convergência Tecnológica, desde as tecnologias para o prolongamento da vida até aquelas dirigidas para o aprimoramento de funções mentais, incluindo o aumento da velocidade do aprendizado e da memorização.

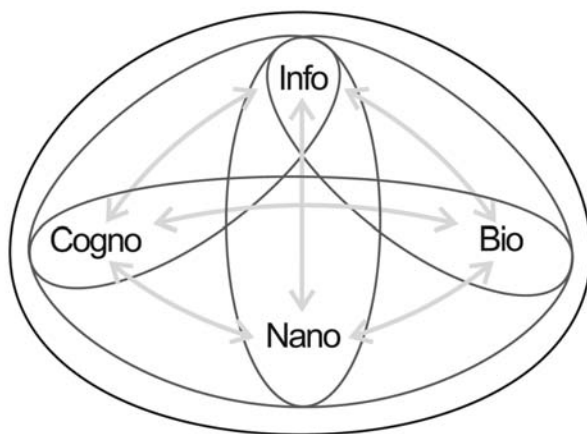
A partir desse simpósio e do documento ali originado<sup>2</sup>, que serviram, em boa medida, para determinar a presença da nova Convergência Tecnológica nas pesquisas já em andamento e abrir o espectro de indagações sobre suas possíveis aplicações futuras, várias outras reuniões científicas se seguiram, sobretudo na Europa, na tentativa de garantir espaço adequado para a ciência e a tecnologia desenvolvidas do outro lado do Atlântico. Assim, em 2004 foi divulgado o documento resultante das discussões ocorridas no seio da Comunidade Européia. Esse documento, que teve alguns títulos intermediários (Converging Technologies — Shaping the future of European societies<sup>3</sup>, ou Converging Technologies for a diverse Europe<sup>4</sup>, ou ainda Converging Technologies for the European knowledge society — CTEKS), evidencia a preocupação em não se envolver profundamente com os aspectos da Convergência Tecnológica relacionados ao aprimoramento das funções humanas e, ao mesmo tempo, ressalta a presença mais marcante de valores humanísticos e sociais na sociedade européia.

[2] Roco, Mihail C. e Bainbridge, William S. (orgs.). “Converging Technologies for improving human performance: nanotechnology, biotechnology, information technology and cognitive sciences”. NSF/DOC-sponsored report. Arlington, Virginia, 2002.

[3] Nordmann, Alfred (org.). “Converging Technologies — Shaping the future of European societies”. European Commission HLEG “Foresighting the New Technology Wave”-report. Bruxelas, 2004.

[4] Bernold, Thomas (org.). “Converging Technologies for a diverse Europe”. European Commission report. Bruxelas, 2004.

#### AS QUATRO ÁREAS CENTRAIS DA NOVA CONVERGÊNCIA



Desse modo, algumas definições ou significados foram atribuídos a essa nova Convergência Tecnológica, e algumas delas podem ser úteis para compreender as diferentes abordagens que alicerçam as várias discussões que têm ocorrido em torno do tema:

- “Convergência Tecnológica compreende a combinação sinérgica de quatro grandes domínios da ciência e da tecnologia (“NBIC — nano-bio-info-cogno”) que estão se desenvolvendo de forma muito rápida” (National Science Foundation, Estados Unidos, 2002).
- “Convergência se refere às múltiplas formas nas quais as nanotecnologias se combinarão, no futuro, com outras tecnologias, e que refletirão sua genuína natureza interdisciplinar” (The Royal Society & The Royal Academy of Engineering, Inglaterra, 2004<sup>5</sup>).
- “Convergência Tecnológica representa o conjunto de conhecimentos e tecnologias que se associam na busca de um objetivo comum. Esta abordagem foca a necessidade do estabelecimento de agendas ou metas comuns para a convergência” (High Level Expert Group, Comunidade Européia, 2004).
- “O termo Tecnologias Convergentes refere-se ao estudo interdisciplinar das interações entre sistemas vivos e sistemas artificiais para o desenho de novos dispositivos que permitam expandir ou melhorar as capacidades cognitivas e comunicativas, a saúde e a capacidade física das pessoas e, em geral, produzir um maior bem-estar social” (Consejo Superior de Investigaciones Científicas, Espanha, 2005<sup>6</sup>).
- “Convergência Tecnológica é um rótulo atual que aponta para a emergente interação entre áreas de pesquisa e de desenvolvimento tecnológico, anteriormente separadas. Tal mudança resulta em novas possibilidades tecnológicas do ponto de vista qualitativo com impactos potencialmente revolucionários” (Study Centre for Technology Trends, Holanda, 2006<sup>7</sup>).

[5] The Royal Society & The Royal Academy of Engineering. “Nanoscience and nanotechnologies: opportunities and uncertainties”. Londres, 2004.

[6] Consejo Superior de Investigaciones Científicas. “El desafío de la convergencia de las nuevas tecnologías (Nano-Bio-Info-Cogno)”. Barcelona, 2005.

[7] Doorn, Maurits (org.). “Converging Technologies — Innovation patterns and impacts on society”. The Netherlands Study Centre for Technology Trends-report. Haia, 2006.

Independentemente do significado atribuído à Convergência Tecnológica, pode-se considerar a nanotecnologia como aquela cuja contribuição permite e facilita a interação entre os organismos vivos e os dispositivos desenhados pelo ser humano. Os efeitos dessa interação podem se manifestar tanto em nível macroscópico (indivíduos, sensores, sistemas de informação) como na escala nanométrica (material genético, nanotubos). Assim, os dois elementos-chave da Convergência Tecnológica são a noção de interação e o desenho de dispositivos que atuam na interface entre organismos vivos e componentes do processo de informação. Nesse contexto, o termo Convergência Tecnológica

refere-se às tendências ou expectativas de sinergia no desenvolvimento dessas quatro áreas tecnológicas, com o objetivo de reforçá-las e de, ao combiná-las, criar novos campos de aplicação.

Desde sua concepção inicial, a Convergência Tecnológica evoluiu, particularmente no meio científico norte-americano, de uma tendência para um movimento que procura acelerar a unificação das ciências com o objetivo de dar aos seres humanos uma vasta gama de poderosas opções tecnológicas, na medida em que ela não consiste apenas no mero agrupamento de áreas com maior desenvolvimento no ambiente atual de Ciência, Tecnologia e Inovação, mas na formação de um conjunto de teorias e de dispositivos completamente integrados<sup>8</sup>. Entretanto, preocupações relacionadas à aplicação militar da tecnologia NBIC passaram, mais recentemente, a assumir papel significativo nas discussões internas daquele país e revelaram importantes contornos éticos da questão.

A seguir estão colocadas algumas das possíveis aplicações práticas da nova Convergência Tecnológica na perspectiva daquilo que vem sendo amplamente discutido nos ambientes internacionais:

- **Melhoria da saúde e da capacidade física humana:** nanobioprocessadores para a pesquisa e o desenvolvimento de novas estratégias terapêuticas, incluindo aquelas resultantes da bioinformática, da genômica e da proteômica; implantes de base nanotecnológica e biosistemas regenerativos para substituir órgãos humanos ou para monitoração do bem-estar fisiológico; dispositivos em escala nanométrica para a intervenção médica, plataformas multimodais para aumentar a capacidade sensorial, em especial para os indivíduos com déficits visuais e auditivos; interfaces cérebro-cérebro ou cérebro-máquina; ambientes virtuais para o treinamento e a execução de tarefas independentemente da escala física em que estão sendo realizados.
- **Melhoria das relações sociais e de grupos sociais:** remoção das barreiras de comunicação determinadas por incapacidade física, pela diferença de línguas, pela distância geográfica e pelos diferentes níveis de conhecimento, levando, assim, a um aumento na efetividade e na eficiência da cooperação entre ambientes educacionais, corporativos, de governo e outros. Outras áreas de aplicação incluem o aumento da produtividade e da criatividade, a engenharia cognitiva e desenvolvimentos relacionados a uma sociedade interconectada.
- **Segurança Nacional:** devido às alterações radicais na natureza dos conflitos humanos ocorridos recentemente, os serviços de defesa nacionais podem ser fortalecidos a partir da Convergência Tecnológica nas áreas de antecipação de ameaças, na construção

[8] Bainbridge, William S. e Roco, Mihail C. (orgs.). "Managing nanobio-info-cogno innovations — Converging Technologies in society". Dordrecht, Holanda: Springer, 2006.

de veículos de combate teleguiados, na educação e no treinamento para a guerra, na elaboração de respostas adequadas às ameaças químicas, biológicas e físicas; no desenvolvimento de novos sistemas de combate, no tratamento não-medicamentoso para aumentar o desempenho humano e nas aplicações de interfaces entre os seres humanos e instrumentos ou dispositivos.

■ **Unificação da ciência e da educação:** os desafios apresentados pelas novas tecnologias demandam transformações radicais nos ambientes educacionais, desde o nível elementar até a formação de pós-graduados. A convergência de disciplinas previamente isoladas não pode ocorrer sem a emergência de novos tipos de indivíduos capazes de compreender, em profundidade, esses múltiplos campos, e que possam, de forma inteligente, trabalhar para a sua integração. Novos currículos e novas formas de instituições educacionais são necessários.

■ **Expansão da cognição e da comunicação humana:** deve-se atribuir alta prioridade aos esforços multidisciplinares que levam à compreensão da estrutura, das funções e do aprimoramento potencial da mente humana. Além disso, deve-se priorizar o desenvolvimento de dispositivos para a interface sensorial pessoal, o enriquecimento das comunidades através de tecnologias humanizadas, do aprender a aprender, e aperfeiçoar instrumentos que facilitem a criatividade.

Dessa forma, sugere-se às agências governamentais e ao setor privado que assumam como objetivo explorar o potencial da nova Convergência Tecnológica no aprimoramento do desempenho humano e, em consequência, as alterações revolucionárias que sua aplicação poderá ter sobre a economia e a sociedade. Essa é uma oportunidade ímpar na fronteira do conhecimento, que será desenvolvida no ambiente de ciência e tecnologia no decorrer das próximas décadas e que permite antever inúmeras novas conquistas para a humanidade. É nesse aspecto que a Convergência Tecnológica tem sido identificada como o verdadeiro motor das iniciativas recentes de inovação, pois embora ela não se constitua em um verdadeiro programa de financiamento para a ciência e a tecnologia, tem norteados grandes programas nacionais, tais como a Iniciativa Nacional de Inovação do governo americano, aqueles direcionados à nanomedicina e à nanobiotecnologia da Comunidade Européia e, mais recentemente, o programa de financiamento voltado para as interações entre a área da saúde e as tecnologias de comunicação e informação proposto pelo governo canadense.

Por outro lado, e como já observado acima a respeito da presença mais marcante de valores humanísticos e sociais na sociedade européia, vários estudos sobre os aspectos éticos, legais e sociais da Con-

vergência Tecnológica foram e continuam a ser realizados<sup>9</sup>. Especificamente no relatório SIG-II, nota-se uma preocupação particular com o fato de que a nova Convergência Tecnológica não considera apenas os aspectos heurísticos da nanociência, mas oferece um conceito tecnológico do humano e da natureza que implica a quebra das fronteiras entre o humano, a natureza e os artefatos tecnológicos e pressupõe o ideal do aprimoramento — e este aprimoramento do ser humano e da natureza é um grande desafio para a sociedade contemporânea.

Dentre as questões morais e éticas relacionadas à aplicação da nova Convergência Tecnológica destacam-se as preocupações quanto às relações entre o humano e a natureza, entre o corpo, a mente e o “espírito”; à existência e o caráter do livre-arbítrio e seu impacto sobre os conceitos de responsabilidade moral e legal e à delegação dessas mesmas responsabilidades a artefatos tecnológicos; ao relacionamento entre entidades vivas e não-vivas; à manipulação do código genético e suas conseqüências, entre outras.

Tal como apontou Stehr<sup>10</sup>, faz-se necessária a reflexão sobre as conseqüências da proliferação de novos conhecimentos científicos e tecnológicos para a sociedade contemporânea e sobre a possibilidade de controlar o uso e o consumo desses novos conhecimentos. O argumento central desse autor baseia-se na necessidade de um novo campo de atividade política em sociedades modernas e democráticas que objetivem regular o desenvolvimento e o uso do avanço recente da ciência e da tecnologia. Para ele, o uso instantâneo e irrestrito do novo conhecimento não é mais possível — se é que já o foi —, em função de seus possíveis efeitos sobre a vida. Entretanto, o próprio Stehr se questiona sobre “o que”, “como” e “quem” pode estar envolvido nessa regulamentação.

[9] Bibel, W. (org.). “Converging Technologies and the natural, social and cultural world”. European Commission HLEG “Foresighting the New Technology Wave” — Special Interest Group-report. Bruxelas, 2004; Statman, J. (org.). “Ethical, legal and societal aspects of the Converging Technologies (NBIC)”. European Commission HLEG “Foresighting the New Technology Wave” — Special Interest Group II-report. Bruxelas, 2004; Ringland, Gill (org.). “Economic effect of Converging Technologies”. European Commission HLEG “Foresighting the New Technology Wave” — Special Interest Group III-report. Bruxelas, 2004.

[10] Stehr, Nico. “Knowledge politics: governing the consequences of science and technology”. Boulder, Colorado: Paradigm Publishers, 2005.

#### POSSÍVEIS CAMPOS DE APLICAÇÃO DA CONVERGÊNCIA TECNOLÓGICA





[11] Gordijn, Bert. "Converging NBIC Technologies for improving human performance: a critical assessment of the novelty and the prospects of the project". *The Journal of Law, Medicine & Ethics*, vol. 34, n° 4, 2006, pp. 726-32.

Outras visões na agenda da Convergência Tecnológica têm proposto o uso do "princípio da pró-ação" em substituição ao "princípio da precaução" que, atualmente, tem sido invocado na regulação da ciência e da tecnologia. O princípio da pró-ação baseia-se na necessidade de que os benefícios alcançados devem ultrapassar os possíveis danos resultantes do uso da nova Convergência Tecnológica. Neste princípio estariam incluídas as leis de responsabilidade limitada para a aplicação das novas tecnologias e a liberalização das condições que permitem aos indivíduos se apresentarem voluntariamente para tratamentos inovadores. Entretanto, uma das melhores possibilidades para o tratamento adequado do assunto seria, como já anunciado nos documentos europeus, a ocorrência de uma Convergência Tecnológica mais ampla, na qual as ciências naturais, integradas com as ciências humanas e sociais, pudessem trabalhar suas relações éticas e legais desde os estágios mais iniciais de sua elaboração como programa de Ciência, Tecnologia e Inovação. Tal como apontou Gordijn<sup>11</sup>, caso as perspectivas futuras de aplicação da nova Convergência Tecnológica no aprimoramento humano se concretizem, realmente entraremos em uma nova era que testemunhará seu uso generalizado na transformação de nossa biologia, com o propósito de aumentar o nosso desempenho. Especialmente neste caso, como lembra essa autora, a reflexão ética não deverá esperar até que as pesquisas estejam completas e que seus efeitos sejam descobertos na prática.

Em paralelo a essas discussões, outro importante segmento das sociedades desenvolvidas começa a se preparar para essa nova onda que ocorre no ambiente de Ciência, Tecnologia e Inovação e que está relacionado aos novos produtos oriundos da Convergência Tecnológica e seus mercados, seu papel no crescimento econômico, tanto nos países com maior tradição no uso do conhecimento como base da economia bem como naqueles considerados emergentes neste aspecto; ao redirecionamento das indústrias já existentes; ao surgimento de novas modalidades de empresas etc. As novas tecnologias acabam sempre por induzir uma mais vigorosa competitividade entre as empresas, como tem sido observado no recente campo da convergência digital, com o rápido crescimento de produtos e serviços dela resultantes. Embora não seja novo, o fenômeno em sua manifestação mais recente indica o quanto as novas tecnologias são capazes de romper com os limites tradicionais das indústrias ao promoverem uma realocação dramática de segmentos do mercado e ao fazerem com que empresas que anteriormente atendiam a segmentos diferenciados passem a competir pelos mesmos consumidores. Pode-se, portanto, imaginar qual o impacto que a nova Convergência Tecnológica poderá ter nos novos mercados por meio de produtos e serviços não só direcionados para a solução de questões que afligem a humanidade, mas,



principalmente, daqueles que servirão para o aprimoramento de suas funções cognitivas.

As perspectivas abertas pela Convergência Tecnológica são imensas, mas não são menores os temores que ela inspira para os mais pessimistas. Seus desafios parecem atrair, atualmente, os melhores cérebros do mundo e mobilizar paixões intensas, assim como extensos interesses. Estaremos diante de uma ferramenta capaz de tornar o mundo melhor e mais humano ou essa será a versão *hi-tech* que ecoa a tentação bíblica do “sereis como deuses”? Os programas e projetos da nova Convergência Tecnológica e suas aplicações conseguirão que os esforços titânicos de equipes de cientistas consigam, finalmente, pôr em mãos humanas o fogo dos deuses para que o progresso tecnológico seja sinônimo de vidas mais felizes, trazendo assim para a história o mito de Prometeu sem o castigo das correntes, ou correremos o risco de repetir a saga trágica do Dr. Victor Frankenstein criado por Mary Shelley<sup>12</sup>, que, é bom lembrar, escolheu para subtítulo de seu livro “*o moderno Prometeu*”? O certo é que a Convergência Tecnológica abre possibilidades e encerra dilemas éticos importantes demais para que seu monopólio pertença a quem quer que seja, inclusive a cientistas. Deve, portanto, interessar, implicar e mobilizar todos nós. Porque, para além de ser um tema de interesse para a ciência de ponta, certamente pressupõe dimensões de uma nova cidadania planetária.

---

ESPER A. CAVALHEIRO é assessor da presidência do CGEE e professor titular de Neurologia Experimental na Universidade Federal de São Paulo — UNIFESP, Departamento de Neurologia e Neurocirurgia.

[12] Shelley, Mary. *Frankenstein*. Nova York: Oxford University Press, 2001.

---

Recebido para publicação  
em 29 de maio de 2007.

---

**NOVOS ESTUDOS**

CEBRAP

78, julho 2007

pp. 23-30

---