

BIO E NANOTECNOLOGIA: ANÁLISE DA CONVERGÊNCIA TECNOLÓGICA PELAS PATENTES¹

Daniel Francisco Nagao Menezes²

Resumo: Este artigo propõe uma reflexão sobre uma possível rota metodológica para começar a entender de maneira plausível as implicações da convergência em tecnologias convergentes, como a bio e a nanotecnologia. Para isso, é retomada a metodologia proposta por Jeong, Kim e Choi (2015) para a mensuração da convergência por meio de patentes. Além disso, são propostas adaptações, que abrangem o uso de outras fontes de informação e as classificações tecnológicas que definem a bio e a nanotecnologia. Observa-se que há uma convergência reduzida entre os setores mencionados, como sublinha a principal literatura sobre o assunto (Roco et al., 2013); por fim, essa convergência é caracterizada em termos de tecnologias e empresas.

Palavras-Chave: convergência, biotecnologia, nanotecnologia, patentes.

BIO AND NANOTECHNOLOGY: ANALYSIS OF TECHNOLOGICAL CONVERGENCE BY PATENTS

¹ O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001. Processo 88881.310388/2018-01 – PRINT/CAPES (Infraestrutura Jurídica da Nanotecnologia).

² Graduação em Direito (PUC-Campinas), Especializações em Direito Constitucional e Direito Processual Civil (PUC-Campinas), em Didática e Prática Pedagógica no Ensino Superior (Centro Universitário Padre Anchieta), Mestre e Doutor em Direito Político e Econômico (Universidade Presbiteriana Mackenzie-SP), Pós-Doutor em Direito (FADUSP). Professor do Programa de Pós-Graduação em Direito Político e Econômico da Faculdade de Direito da Universidade Presbiteriana Mackenzie. Membro do CIRIEC-Brasil.

Abstract: This article proposes a reflection on a possible methodological route in order to begin to understand, in a plausible manner, the implications of convergent technologies such as bio and nanotechnology. The methodology proposed by Jeong, Kim and Choi (2015) for the measurement of convergence through patent is retaken. In addition, adaptations are proposed, which cover the use of other sources of information, and the technical classifications that define bio and nanotechnology. It is observed that there is reduced convergence between the mentioned sectors, as the main literature on the subject underlines (Roco et al., 2013). Finally, the convergence is characterized in terms of technologies and companies.

Keywords: Convergence, biotechnology, nanotechnology, patents.

1. INTRODUÇÃO



questão da convergência tecnológica começou a ser discutida sob muitas perspectivas diferentes. Em alguns casos, serviu para identificar os processos através dos quais a conjunção de várias ciências e/ou tecnologias contribui para a resolução de problemas de natureza muito variada, que inclui aspectos relacionados à saúde, ao meio ambiente, à economia, indústria e vida social em geral. É cada vez mais comum ouvir grupos multi, inter ou transdisciplinares que colaboram de diferentes maneiras na geração de conhecimento, tecnologia ou inovações.

É nessa perspectiva que o presente trabalho propõe uma reflexão sobre uma possível rota metodológica para começar a entender de maneira plausível as implicações da convergência em tecnologias emergentes como a bio e a nanotecnologia. Estes foram tomados como unidades de análise, uma vez que são

exemplos representativos cada um e juntos dos processos de convergência.

Ainda são poucos os trabalhos que, além da discussão teórica, propõem um mecanismo para abordar o tema da convergência tecnológica, motivo pelo qual este artigo tem como objetivo fundamental seguir a metodologia existente através do uso de patentes para identificar os seguintes elementos : a) convergência e coincidência em relação ao esforço inventivo (número de patentes); b) principais agentes que realizam o esforço inventivo; c) principais campos de tecnologias convergentes e; d) regiões geográficas onde a convergência está ocorrendo.

O uso de patentes para o estudo da convergência se concentra principalmente no nível de convergência tecnológica, uma vez que as patentes representam uma oportunidade real de introdução de novos produtos e processos no mercado; embora também expresse indiretamente a convergência cognitiva e científica que deve prevalecer como elemento articulador dos desenvolvimentos tecnológicos.

Como a questão da convergência está em processo de desenvolvimento, a metodologia é limitativa, mas, apesar disso, considera-se que o trabalho mantém achados que permitem observar uma convergência reduzida nos campos, além de caracterizá-la com possíveis tendências.

O artigo procura responder às seguintes perguntas: existe algum tipo de convergência e coincidência em relação ao esforço inventivo (número de patentes)? Quais são os principais agentes que realizam o esforço inventivo e os principais campos convergentes? E quais são as regiões geográficas onde a convergência está ocorrendo? Para isso, divide-se em cinco seções; na primeira, expõe-se uma abordagem à convergência do conhecimento; na segunda, expõe-se como as patentes ajudam a reconhecer novas tendências em atividade inventiva e inovação; a seguir, a metodologia é exposta; os principais resultados são apresentados no quarto; finalmente, são apresentadas as

considerações finais.

2. SOBRE O CONCEITO DE CONVERGÊNCIA TECNOLÓGICA

Embora a ideia de “convergência” contenha várias referências conceituais e analíticas, este trabalho se refere a uma interpretação recente que surgiu da chamada iniciativa de Nanotecnologia, Biotecnologia, Informática e Ciências Cognitivas (NBCI), financiado pelo governo dos Estados Unidos no início do século.

Essa iniciativa manteve o objetivo principal de unificar os campos científicos emergentes de nanotecnologia, biotecnologia, informática e ciências cognitivas, com o objetivo de gerar novas tecnologias que potencializassem as capacidades humanas e melhorassem sua qualidade de vida (Roco, Bainbridge, 2003). Essa primeira interpretação foi modificada gradualmente, dando à ideia original mais complexidade em termos de escopo e conteúdo.

Atualmente, o processo de convergência é definido como a interação cumulativa e transformadora que ocorre entre diferentes disciplinas científicas, desenvolvimentos tecnológicos e as comunidades que os geram, com o objetivo de alcançar maior integração, objetivos compartilhados e maior sinergia em sua aplicação e implementação. Um segundo objetivo vinculado ao anterior é a criação de valor por meio da geração de novos produtos e mercados (Roco *et al.*, 2013). Além disso, os processos de convergência permitem uma aceleração considerável na geração de conhecimento coletivo, o que, por sua vez, tem um impacto positivo no aumento da velocidade com que as inovações tecnológicas são realizadas (Morales, Villavicencio, 2015).

Segundo Stezano (2016), a essência do conceito de convergência a partir da perspectiva mencionada implica o desenvolvimento de pesquisas interdisciplinares, ou seja, a integração

cognitiva de diferentes disciplinas científicas e tecnológicas baseadas na constituição de objetivos comuns. É necessária a construção de uma linguagem compartilhada que tenda a identificar as múltiplas interseções possíveis entre as diferentes disciplinas, e que faça dessas interseções um objeto de estudo em si. No final, trata-se de promover a combinação ou convergência entre disciplinas científicas que tendem a se tornar organismos semi-auto-suficientes.

No entanto, esse processo de convergência ocorre em vários níveis: a) convergência científica, na qual diferentes disciplinas são misturadas para gerar um novo campo de conhecimento; b) convergência tecnológica, que combina diversas tecnologias aplicadas em diferentes áreas, combinando-as e desenvolvendo com elas novas unidades de tecnologia, e; c) convergência industrial, na qual diferentes empresas se unem a diferentes tecnologias, mercados e estratégias, para formar uma nova unidade de negócios unificada (Curran, Leker, 2011).

Cabe ressaltar que este trabalho se concentra na convergência entre bio e nanotecnologia, que pode ser definida como resultado de atividades que utilizam ferramentas de ambos os setores para solucionar novos problemas que inextricavelmente cobrem o entendimento de ambas as disciplinas. Supõe-se que essa convergência inclua os aspectos científicos, técnicos e industriais, porque a bio e a nanotecnologia evoluíram principalmente através da cobertura das necessidades sociais e de mercado, para que a ciência, a tecnologia e a produção estejam totalmente ligadas. Por fim, a convergência pode ou não ser o resultado de uma intenção que busca ocupar as atividades mencionadas, mas que, em qualquer caso, são capazes de gerar um novo setor que pode ser diferenciado dos previamente existentes.

Tanto a bio quanto a nanotecnologia são tecnologias convergentes em seu interior (intra-setorial), pois cada uma exige a combinação de diferentes áreas do conhecimento para se

desenvolver. A biotecnologia de última geração é uma atividade multidisciplinar baseada no conhecimento de disciplinas científicas como biologia molecular, engenharia bioquímica, microbiologia, genômica, imunologia e outras relacionadas à análise de organismos vivos (Amaro, Morales, 2016). Essa conjugação permite resolver problemas específicos, mas que requerem a participação de vários especialistas. Por seu lado, a nanotecnologia também utiliza várias disciplinas científicas e tecnológicas, como química orgânica, biologia molecular, física de semicondutores, micro manufatura, biotecnologia, matemática e ciência da computação, entre outras. Como se observa, ambas as tecnologias são setores que, por sua natureza, refletem o processo de convergência, pois a multidisciplinaridade é necessária para seu desenvolvimento.

3. O USO DE PATENTES COMO FERRAMENTA DE ANÁLISE DA CONVERGÊNCIA TECNOLÓGICA

Como mencionado, a convergência ocorre em vários níveis; como industrial, tecnológico e de mercado (Curran, Leker, 2011). Nesse sentido, uma primeira abordagem para analisar a convergência tecnológica são as patentes, porque elas refletem o esforço inventivo de agentes que têm a expectativa de trazer novos produtos ao mercado e obter benefícios (transformar invenções em inovações). A seguir, o uso de patentes será descrito como um indicador que expressa a atividade inventiva de empresas e outras organizações e o uso das informações nelas contidas para estudar a convergência tecnológica entre bio e nanotecnologia.

O uso de patentes como um indicador que representa esforços inventivos tem uma longa história, existe desde 1886, quando Kintner usou informações do Escritório de Patentes dos Estados Unidos (ainda não o Instituto de Marcas e Patentes dos Estados Unidos USPTO) para narrar a história dos equipamentos

elétricos e seus avanços. No entanto, o primeiro trabalho de patente “estatística” foi preparado por Schmockler (1979), que pretendia determinar que a demanda afeta a atividade inventiva. Os estudos que se seguiram a este trabalho tomaram patentes como uma medida de mudança tecnológica e atividade inventiva (Comanor, Sherer, 1969), no nível da empresa (Sanders, Roman e Harris, 1959; Sherer, 1965), ou tentando relacionar gastos e patentes em pesquisa e desenvolvimento (Hall, Griliches e Hausman, 1986; Pakes, 1985). Em particular, é o trabalho realizado por Griliches (1979) que tem a maior contribuição, propondo uma função de produção de conhecimento baseada em *spillovers* (ou mais conhecidas como externalidades positivas das quais agentes que não investem na geração de conhecimento são favorecidos).

Até o início dos anos 80, havia pouco progresso no uso de patentes como indicador tecnológico, quando Pavitt (1984) desenvolveu uma taxonomia que descrevia os setores tecnológicos da seguinte forma: a) domínio de fornecedores; b) intensivo em escala; c) informações intensivas; d) baseado na ciência e; e) oferta especializada. A contribuição que ele fez foi classificar as invenções incorporadas nas patentes de acordo com essa taxonomia, que teve um enorme impacto nos estudos setoriais e de inovação, principalmente nas análises desenvolvidas pela Escola de Sussex, com grande impacto na teoria econômica de inovação

Até então, o uso de patentes como um indicador que representa a atividade inventiva era baseado principalmente em contagens estatísticas ou correlações com outras variáveis. Com o desenvolvimento dos computadores, foi possível organizar sistematicamente os dados contidos nas próprias patentes, que se tornaram muito mais acessíveis e gerenciáveis, deixando de lado o tédio de coletar os dados, revendo patente por patente. O exposto acima representou um salto quantitativo e qualitativo para o uso de patentes como um indicador da atividade inventiva; essa nova metodologia foi proposta pelo grupo do Bureau

Nacional de Pesquisa Econômica dos Estados Unidos (NBER).

As principais contribuições foram a obtenção de patentes como representação dos fluxos de conhecimento entre regiões, empresas e inventores. Ou seja, a patente serve para medir os fluxos de conhecimento ou informação tecnológica entre as várias organizações envolvidas (empresas, universidades, centros de pesquisa, entre outras).

Nesse sentido, Jaffe (1986) detectou, por meio de citações de patentes, os *spillovers* no nível da empresa, que foi um dos primeiros trabalhos desse tipo (usando citações). Trajtenberg (1990), por sua vez, estudou as patentes e seu peso ou valor relativo, considerando suas citações. Da mesma forma, os estudos de Jaffe, Trajtenberg e Henderson (1992) observaram que as patentes dos Estados Unidos são citadas com mais frequência por patentes do mesmo país. Jaffe e Trajtenberg (1998), exploraram o padrão de citações entre patentes de inventores dos Estados Unidos, Reino Unido, França, Alemanha e Japão constatando que as patentes da mesma empresa têm maior probabilidade de se citar e, essas citações aparecem com mais frequência do que as citadas por outras empresas. O uso de citações também permitiu o mapeamento de redes entre empresas, como Verspagen (2000) ou Fleming, King III e Juda (2007), que usaram patentes para verificar se as relações de inventores da Califórnia formavam uma pequena rede mundial, que é uma alta densidade de cluster e poucos saltos para passar de um nó para outro.

Na convergência e no uso de patentes, uma primeira abordagem foi feita por Fleming e Sorenson (2001), bem como Sorenson, Rivkin e Fleming (2006), afirmando que a complexidade do conhecimento tecnológico pode ser conhecida, determinando a possível combinação entre diferentes classes tecnológicas, essa metodologia ajudaria a identificar a intensidade da combinação entre diferentes classes de patentes; e daria origem ao reconhecimento de diferentes níveis de convergência.

Por outro lado, alguns outros autores utilizaram

classificações de patentes para medir a diversidade tecnológica (Suzuki e Kodama, 2004; Reyes, 2016), o que pode ser entendido como divergência. Acima, usando indicadores de entropia e informações mútuas, indicadores que vêm da teoria da informação.

Pelo exposto, pode-se observar que as patentes não foram apenas usadas como uma medida de esforço inventivo, mas também que a metodologia de medição evoluiu ao longo do tempo.

4. METODOLOGIA E MATERIAIS

O que é proposto neste artigo é que as patentes também permitem medir a convergência tecnológica entre dois setores ou campos tecnológicos. Embora, na seção anterior, tenham sido mencionadas algumas abordagens para entender a convergência por meio de patentes, é realmente pelo menos até Curran e Leker (2011) que é proposta uma contagem específica que retoma o conceito de convergência e o uso de patentes. O exposto acima, por meio de classificações, especificamente nos setores de telecomunicações e alimentos.

Karvonen e Kässi (2013) desenvolveram uma medida de convergência por meio de citações de patentes, uma vez que certas patentes são selecionadas, elas são retomadas a quem citam e por quem são citadas, e as subclasses às quais pertencem são ponderadas. No entanto, um dos principais problemas desse método para medir a convergência tecnológica é que as consultas podem ser designadas por um examinador.

Por outro lado, Jeong *et al.* (2015) propõem uma medida de convergência baseada no uso de patentes com base no trabalho de Curran e Leker (2011); Geum *et al.* (2012) e Jeong (2014). Esta proposta é abordada neste trabalho. Existem dois setores tecnológicos, neste caso os setores de biotecnologia e nanotecnologia (Setor B e N, respectivamente). Dentro de cada

setor, existem subclasses definidas como campos (Jeong *et al.*, 2015) e, esse número de subclasses representa todas as subclasses de patentes para cada setor (que podem variar de acordo com o setor e a instituição que executa a classificação). Em cada um dos setores existem patentes que tratam das subclasses permitindo a identificação da convergência em dois níveis: intersetorial e interclasse. A convergência intersetorial representa a convergência que poderia existir entre biotecnologia e nanotecnologia.

Por outro lado, a convergência entre classes é definida como a convergência entre subclasses dentro de cada setor. Uma patente que foi classificada ao mesmo tempo no setor de biotecnologia e nanotecnologia possui uma alta probabilidade de que contenha conhecimento científico de ambos os setores e que sua implementação implique o entrelaçamento de tecnologias que também vêm de ambos os setores.

Cabe mencionar que, neste trabalho, verificou-se que no caso da Coréia do Sul, houve uma convergência crescente para as áreas de tecnologia, tecnologia da informação, nanotecnologia e biotecnologia. Uma vantagem desse método é a precisão para delimitar as subclasses e saber mais de perto se esses setores estão convergindo.

Considerando o exposto, é possível trabalhar de maneira simples a convergência tecnológica com o uso das informações contidas nas patentes. A seguir, o tipo de informação utilizada para verificar a existência de convergência, diferente da proposta por Jeong *et al.* (2015) porque a base dos EUA é usada aqui e porque a classificação da Organização para Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE) para biotecnologia e o USPTO (Instituto de Marcas e Patentes dos Estados Unidos por sua sigla em inglês) para nanotecnologia.

As informações coletadas para este trabalho consideraram patentes concedidas no período de 1975 a 2018, nas subclasses tecnológicas correspondentes aos setores de

biotecnologia e nanotecnologia. As classificações feitas correspondem a diferentes propostas. No caso da biotecnologia, foi considerada a classificação proposta por Van Beuzekom (2001), Devlin (2003) e OCDE (2005), onde pelo menos 30 subclasses da Classificação Internacional de Patentes (CIP) definidas pela Organização Mundial da Propriedade Intelectual (OMPI). Dentro deste conjunto de subclasses, podem ser identificadas subclasses de biotecnologia, focadas em setores como agricultura, pecuária, ambiental e farmacêutico, entre os principais (Amaro, Morales, 2016). Por outro lado, para determinar as patentes da nanotecnologia, foi identificada a proposta do USPTO em que a classe 977 que possui 263 subclasses foi identificada (explicitamente a classe 977 refere-se à nanotecnologia).

No caso das patentes de biotecnologia, foram utilizadas 163.996 patentes concedidas entre 1976 e 2015. No entanto, como uma patente pode ser definida por uma ou mais subclasses. No caso da nanotecnologia, foram encontradas 11.017 patentes. Uma vez determinado o universo de patentes a serem utilizadas, foram extraídas as informações bibliográficas, as subclasses mais importantes, os agentes mais representativos e sua localização geográfica, com o objetivo de encontrar patentes nas quais há convergência tecnológica entre os dois setores analisados.

5. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Esta seção mostra os principais resultados; em princípio, considerou-se revisar quais eram as classes ou subclasses tecnológicas nas quais mais esforços inventivos estão incorporados nas patentes concedidas no USPTO. No caso da biotecnologia, são considerados pelo menos quatro: a) C12N Microrganismos ou enzimas usados para produzir biocidas, fertilizantes, propagadores de culturas e também são refletidos nas técnicas de mutação genética nas plantas; b) C12Q Medição, reagentes, processos para preparar microorganismos; c) Processos de fermentação

C12P e; d) A61K38 Preparações para uso médico.

Como mencionado, uma patente pode ser colocada em uma ou mais subclasses tecnológicas. Pode-se observar que na subclasse C12N é onde mais patentes foram concedidas, desde 2015 foram concedidas 4.546 patentes, crescendo a uma taxa média anual (TCPA) de 8,68%. É seguido pela subclasse C12Q com 2.155 patentes desde 2015 e com um TCPA de 8,95%. Em terceiro e quarto lugar, estão as subclasses C12P e A61K38 com 1.700 e 1080 patentes, respectivamente. Por outro lado, entre o período 1976-1999, há um aumento substancial na concessão de patentes, no entanto, está em declínio (este trabalho é desconhecido por causa) para o ano de 2008 e depois aumentou substancialmente até 2015.

Um papel importante dessas subclasses pode ser apreciado, uma vez que essas classes ocupam totalmente o número de patentes atribuídas em biotecnologia, as outras 26 subclasses, embora tenham atribuído patentes, são encontradas com menos frequência do que as quatro mencionadas.

Por outro lado, as subclasses representativas em nanotecnologia são 6: 977/773 Nanoestruturas de 3 dimensões, nas quais 1.160 patentes foram concedidas no período de 1980 a 2017; 977/742 Nanotubos de carbono, dos quais 1.170 patentes foram concedidas; O cabo 977/762 Quantum possui 634 patentes, 977/775 flocos em pó e nanométricos com 430 patentes; finalmente 977/842 e 977/734 Fulerenos e nanotubos de fulerenos (terceira forma estável de carbono, depois de grafite e diamantes) com 428 e 410 patentes, respectivamente.

A evolução nos últimos 35 anos do esforço inventivo em nanotecnologia segue a mesma tendência, uma recuperação em 2003, mas imediatamente após uma queda com um rápido aumento em 2013; no entanto, a queda dos últimos dois anos é muito perceptível. Essa tendência é muito semelhante à da biotecnologia, mas a diferença mais importante é que, em termos absolutos, o número de patentes concedidas em biotecnologia é

muito maior do que na nanotecnologia.

A diferença substancial no número de patentes entre bio e nanotecnologia é ainda mais evidente quando agrupadas em cada setor e comparadas (gráfico 3). A diferença é notável: enquanto antes de 1980 em nanotecnologia uma patente mal era registrada, já havia 646 patentes biotecnológicas. Para 1999, uma diferença marcante ainda está presente: 7.294 patentes em biotecnologia e 432 em nanotecnologia, para 2015 a história repete 11.441 e 1.106 patentes, respectivamente.

As patentes pertencentes aos setores tecnológicos e as patentes conjuntas que podem representar convergência tecnológica. As diferenças substanciais mencionadas acima entre os dois setores são observadas, mas também o fato de que as patentes de convergência representam uma porcentagem insignificante. Por exemplo, em 2003, foram concedidas 730 patentes de nanotecnologia, enquanto 6.103 para biotecnologia, das quais apenas 115 são patentes nas quais há convergência tecnológica. Em termos relativos, a convergência tecnológica representa 15,75% das patentes de nanotecnologia naquele ano, no entanto, para a biotecnologia, apenas 1,88%. É verdade que isso se deve ao grande número de patentes consideradas para biotecnologia, mas ainda assim a diferença é muito grande. Para 2014, as patentes de convergência representavam 20% do total de patentes em nanotecnologia, mas o percentual de convergência em relação à biotecnologia aumentou marginalmente em relação a 2003 (1,9%).

Uma conclusão importante extraída desses dados é que o desenvolvimento da nanotecnologia pode estar intimamente ligado aos avanços no campo da biotecnologia. Através da análise de patentes é possível formular a hipótese de que a nanotecnologia mantém uma importante relação cognitiva e tecnológica com a biotecnologia, portanto a convergência existe em pelo menos 20% de suas aplicações tecnológicas. Por outro lado, o mesmo não pode ser dito sobre a biotecnologia em relação à

nanotecnologia. De acordo com os dados obtidos, a biotecnologia segue seu próprio canal cognitivo e tecnológico, no qual as questões de convergência com a nanotecnologia continuam sendo uma pequena proporção de todo o conhecimento gerado e registrado nas patentes.

Uma vez estabelecida a tendência de patenteamento, serão apresentadas as principais características da convergência tecnológica entre nano e biotecnologia. No total, foram encontradas 1.113 patentes ao longo do período do estudo, encontradas nos setores de biotecnologia e nanotecnologia, ou seja, patentes para convergência tecnológica, conforme discutido aqui. Dessas patentes, 1.112 foram designadas como qualquer subclasse de tecnologia primária do setor de biotecnologia. Uma subclasse primária é atribuída quando o assunto patenteável tem sua reivindicação principal na referida subclasse. Isso pode significar que essas patentes têm aplicações principais em biotecnologia, e não em nanotecnologia. Nesse sentido, destaca-se que 33,06% das patentes correspondem à biologia molecular, 21,46% correspondem a medicamentos. Por outro lado, considerando as subclasses de nanotecnologia dessas 1.112 patentes, pode-se observar que 78% possuem aplicações para uso médico, 15,58% para aplicações optoeletrônicas.

A partir desses dados, estabelece-se que a direção do relacionamento entre os setores de bio e nanotecnologia está se desenvolvendo com maior frequência a partir do primeiro para o segundo. Ou seja, alguns dos desenvolvimentos tecnológicos em biotecnologia requerem conhecimentos e técnicas desenvolvidas pelo campo da nanotecnologia, por esse motivo, para fazer desenvolvimentos tecnológicos cuja aplicação principal seja a biotecnologia (sendo sua principal reivindicação), é necessário incorporar técnicas ou conhecimentos que Eles são desenvolvidos no outro setor. Embora do ponto de vista da biotecnologia esses desenvolvimentos tecnológicos ainda sejam marginais em relação ao total, do ponto de vista da nanotecnologia eles

representam um subsetor de grande importância relativa.

Portanto, pode-se concluir que parte importante do desenvolvimento atual da nanotecnologia é construída a partir da biotecnologia, o que representa um amplo campo para o desenvolvimento futuro da convergência tecnológica.

Por outro lado, são identificados os 10 agentes com o maior número de patentes de convergência, onde a IBM é a empresa com mais patentes, 31 de 1.113; seguida pela Universidade da Califórnia com 26. Esses 10 agentes possuem 14% da patente total de convergência, o que mostra pouca concentração.

Destaca o fato de que das 1.113 patentes 279 são de universidades, o que implica que grande parte da atividade inventiva que envolve a convergência tecnológica entre essas duas áreas ainda está em estágio de desenvolvimento científico.

Embora em termos de empresas não exista concentração de atividade inventiva, existem áreas geográficas bem definidas nas quais são realizadas atividades de convergência. Quanto à localização geográfica dos agentes proprietários das patentes (empresas, universidades e inventores independentes), 66% são de origem americana. Por sua vez, agentes fora dos Estados Unidos estão concentrados na Coreia do Sul e Japão (32%), na França e na Alemanha (20%), Canadá (9%) e China e Taiwan (14%).

O que é importante destacar a partir desses dados é que, dos agentes dos EUA (que concentram 66% das patentes de convergência), 25% estão na Califórnia. Essas informações são úteis para explorar a configuração inicial de um possível cluster cognitivo e tecnológico de convergência entre bio e nanotecnologia nessa área geográfica. No entanto, a análise do papel dos agentes identificados na formação desse cluster, bem como suas interações com outros agentes do sistema de inovação, é uma questão de trabalho futuro.

CONCLUSÕES

Neste trabalho, o processo de convergência tecnológica foi definido como a interação cumulativa e transformadora que ocorre entre diferentes disciplinas, tecnologias e comunidades, com o objetivo de alcançar compatibilidade, objetivos compartilhados, sinergia e integração entre eles. Isso é especialmente relevante hoje, porque a criação de valor depende cada vez mais da colaboração e integração de conhecimentos de diferentes disciplinas, que resultam em novos processos e produtos para o mercado, para a sociedade e em termos gerais, permitem o acesso a novos nichos de mercado ou, às vezes, para criá-los.

Os processos de convergência promovem o conhecimento coletivo, versus o individual, e isso promove a inovação, uma vez que a resolução de problemas específicos e complexos é complementada pelas várias disciplinas e sua convergência.

Os setores emergentes são, sem dúvida, um exemplo de convergência, porque a maneira como o conhecimento é produzido avançou rapidamente em direção a mecanismos em que a interação multidisciplinar desempenha um papel relevante, uma vez que o fato da complexidade dos problemas é reconhecido. É sob a premissa anterior que, neste trabalho, foi utilizado como um indicador de convergência para patentes e sua relação entre citações e a interconexão analisada entre as classes e subclasses que compartilham.

A exploração foi realizada em bio e nanotecnologia, dois campos do conhecimento que, por si só, representam uma alternativa de ruptura tecnológica que pode afetar o cenário econômico nos próximos anos. Embora toda revolução tecnológica represente a convergência de várias tecnologias existentes, a relação que esses dois campos podem ter é crucial para o desenvolvimento tecnológico futuro.

Embora as patentes não reflitam toda a atividade inventiva de uma economia ou de um setor econômico, em termos de indicadores, elas representam uma das melhores abordagens

para analisar a conformação e o desenvolvimento de setores disruptivos intensivos em conhecimento, uma vez que a carreira tecnológica se expressa em grande medida no registro de novas descobertas científicas e técnicas.

Quatro descobertas importantes marcam essa primeira abordagem apresentada neste trabalho:

a) Existe baixa convergência entre os dois setores, com as limitações que uma análise de patentes contém, expressando apenas uma parte do conhecimento desenvolvido nos dois setores;

b) Quase 100% das patentes de convergência tecnológica entre esses dois setores têm sua principal reivindicação em biotecnologia, o que implica que elas sejam originalmente formuladas como projetos para o desenvolvimento de produtos biotecnológicos (principalmente para o setor da saúde) e que exijam certos conhecimentos ou técnicas desenvolvidas no campo da nanotecnologia, para que se possa hipotetizar que a convergência tem uma certa direcionalidade;

c) Embora as patentes de convergência representem uma proporção marginal em todas as patentes de biotecnologia, no entanto, na nanotecnologia elas representam uma porcentagem considerável. Isso implica que uma proporção considerável do desenvolvimento futuro da nanotecnologia encontra suas bases na biotecnologia, o que implica que existe um subsetor de convergência "natural" entre as disciplinas;

d) Há uma importante concentração geográfica na geração de patentes de convergência, o que implica que um possível cluster tecnológico esteja em estágio inicial e gestacional.

Essas quatro descobertas se tornam uma hipótese de trabalho para análises futuras, para que seu aprofundamento seja incorporado à agenda de pesquisa sobre questões de convergência tecnológica.

Isso confirma que a biotecnologia é uma tecnologia consolidada em comparação à nanotecnologia, e a última poderia

ser considerada na fase de expansão. Isso, em certo sentido, justifica o fato de que, de acordo com os dados apresentados, para a nanotecnologia o conhecimento que vem da biotecnologia é mais relevante do que vice-versa, de alguma forma a nanotecnologia se alimenta do conhecimento que surge da biotecnologia.

Outro resultado interessante é que, das classes primárias que convergem em patentes bio-nano, a maior concentração está localizada na área da biologia molecular e, em segundo lugar, nas drogas que causam efeito biológico, isso dá pistas sobre que tipo de conhecimento é necessário. Útil para ambas as tecnologias. Considerando as subclasses da nanotecnologia, percebe-se que a maioria delas está localizada em aplicações médicas pertencentes à área da saúde, uso imunológico, o que expressa que é nessa área em que existe maior convergência de conhecimentos.

Analisando os agentes com o maior número de patentes, observa-se que a IBM é a empresa que reporta o maior número de patentes com conhecimento convergente e é seguida pela Universidade da Califórnia. E, embora não esteja claro que exista uma concentração clara, se enfatizar que há uma presença importante de universidades, o que pode refletir que grande parte da atividade em torno da convergência vem do desenvolvimento científico e não de aplicações tecnológicas.

Finalmente, em relação às áreas geográficas, considerando a localização geográfica dos agentes proprietários das patentes (empresas, universidades, inventores independentes), se uma forte concentração pode ser observada nos Estados Unidos da América, o que os coloca em o centro do desenvolvimento convergente de conhecimento entre nanotecnologia e biotecnologia em todo o mundo.

Embora os resultados mostrados aqui ainda sejam exploratórios, eles permitem analisar como o conhecimento converge com outros tipos de conhecimento e podem tecnologicamente representar novas áreas de oportunidade. Cabe ressaltar que o

estudo aqui apresentado utiliza principalmente a metodologia de Jeong et al. (2015) fazendo adaptações de pelo menos duas maneiras, a fonte de informação (aqui as informações do USPTO são usadas enquanto os autores referidos usam as informações da base de patentes coreana), bem como a classificação, já que aqui combinação da proposta da OCDE e o mesmo USPTO que define as classes de bio e nanotecnologia.

Por fim, o uso de indicadores como patentes pode ser insuficiente para dar conta da dinâmica existente no processo de convergência, mas é uma abordagem metodológica proposta para começar a explorar essa questão, mas o fato de poder ser insuficiente para analisar um processo complexo como a convergência, mas como mencionado anteriormente, trata-se de uma estrada em construção.



REFERÊNCIAS

- Amaro, M. y Morales, A. (2016). Sistema sectorial de innovación biotecnológica en México: Análisis y caracterización de sus principales componentes. *Revista Redes*, 22 (42), 13-40.
- Comanor, W.S. y Scherer, F. M. (1969). Patent statistics as a measure of technical change. *Journal of Political Economy*, 77 (3), 392-398.
- Curran, C-S. y Leker, J. (2011). Patent indicators for monitoring convergence - examples from NFF and ICT. *Technological Forecasting and Social Change*, 78 (2), 256-273.
- Devlin, A. (2003). An Overview of Biotechnology Statistics in Selected Countries. *OECD Science, Technology and Industry Working Papers*, 2003/13, OECD, 1-74.
- Fleming, L., King III, Ch. y Juda, A. I. (2007). *Small Worlds*

- and Regional Innovation. *Organization Science*, 18 (6), 938-954
- Fleming, L. y Sorenson, O. (2001). Technology as a complex adaptive system: Evidence from patent data. *Research Policy*, 30, 1019-1039.
- Geum, Y., Kim, Ch., Lee, S. y Kim, M-S. (2012). Technological convergence of IT and BT: Evidence from patent analysis. *ETRI Journal*, 34 (3), 439–449.
- Griliches, Z. (1979). Issues in assessing the contribution of research and development to productivity growth. *Bell Journal of Economics*, 10 (1), 92–116.
- Hall, B., Griliches, Z. y Hausman, J. (1986). Patents and R and D: Is there a Lag? *International Economic Review*, 27 (2), 265-83.
- Jaffe, A. (1986). Technological opportunity and spillovers of R&D: evidence from firms' patents, profits, and market value. *American Economic Review*, 76, 984-1001.
- Jaffe, A. y Trajtenberg, M. (1998). *International Knowledge Flows: Evidence From Patent Citations*. NBER Ed. Cambridge.
- Jaffe, A., Trajtenberg, M. y Henderson, R. (1992). Geographic Localization of Knowledge spillovers as evidence by patent citations. NBER Working papers series, 3993, 1-42.
- Jeong, S. (2014). Strategic collaboration of R&D entities for technology convergence: exploring organizational differences within the triple helix. *Journal of Management and Organization*, 20 (2), 227–249.
- Jeong, S., Kim, J. Ch. y Choi, J. Y. (2015). Technology convergence: What developmental stage are we in? *Scientometrics*, 104 (3), 1-31.
- Karvonen, M. y Kässi, T. (2013). Patent citations as a tool for analysing the early stages of convergence. *Technological Forecasting and Social Change*, 80, 1094–1107
- Kintner, C. J. (1886). *History of the electric art in the United*

- States Patent Office. Journal of the Franklin Institute, 121, 377-396.
- Morales, M. y Villavicencio, D. (2015). Convergencia de capacidades científicas y tecnológicas en el sector de la biotecnología farmacéutica en México. En Morales M., De Gortari R. y Stezano F. (Coords.), *Convergencia de conocimiento para beneficio de la sociedad. Tendencias, perspectivas, debates y desafíos* (pp. 139-161). México: Conacyt - Red Convergencia.
- Organization for Economic Cooperation and Development [OECD]. (2005). *Compendium of patent statistics*. París: OECD .
- Pakes, A. (1985). On patents, R&D, and the stock market rate of return. *Journal of Political Economy*, 93, 390–409.
- Pavitt, K. (1984). Sectoral patterns of technical change: Towards a taxonomy and a theory, *Research Policy*, 13, 343-373.
- Reyes, J. (2016). Diversidad tecnológica en el sector de baterías. *Economía Informa*, 401, 60-84.
- Roco, M., y Bainbridge, W. S. (2003). *Converging technologies for improving human performance. Nanotechnology, biotechnology, information technology and cognitive science*. NSF/DOC-sponsored report. Virginia: Science Foundation.
- Roco, M., Bainbridge, W. S., Tomn, B. y Whitesides, G. (2013). *Executive Resume*. En Roco, M., Bainbridge, W. S. Tomn, B. y Whitesides, G. (Coords.), *Convergence of Knowledge, Technology, and Society. Beyond Convergence of Nano-Bio-Info-Cognitive Technologies* (pp.7-32). Dordrecht, Heidelberg, Nueva York, Londres: Springer.
- Sanders, B. S., Rosman, J. y Harris, L.J. (1958). \square e Economic Impact of Patents. *Trademark and Copyright Journal*, 2 (2), 340-362.
- Schmookler, J. (1979). Fuentes económicas de la actividad

- inventiva. En Rosenberg, N., *Economía del Cambio Tecnológico* (pp.107-126). México: FCE.
- Scherer, F. M. (1965). Firm Size, Market Structure, Opportunity, and the Output of Patent Inventions. *American Economic Review*, 55 (5), 1097-1125.
- Sorenson, O., Rivkin, J. W. y Fleming, L. (2006). Complexity, Networks and Knowledge Flow. *Research Policy*, 2 (9), 994-1017.
- Stezano, F. (2016). Prólogo. En Federico Stezano (coord.), *Perspectivas y enfoques de la convergencia*. México: Conacyt, Lania, Red Convergencia de Conocimiento para Beneficio de la Sociedad.
- Suzuki, J. y Kodama, F. (2004). Technological diversity of persistent innovators in Japan. Two case studies of large Japanese firms. *Research Policy*, 33, 531– 549.
- Trajtenberg, M. (1990). A penny for you quotes: Patent Citations. *Rand Journal Economic*, 21, 172-187
- United States Patent and Trademark Office [USPTO]. (2016). Recuperado de: <https://www.uspto.gov/patent>
- Verspagen, B. (2000). The role of large multinationals in the dutch technology infrastructure. A patent citation analysis. *Scientometrics*, 47 (2), 427-448.
- Van Beuzekom, B. (2001). *Biotechnology statistics in OECD member countries: Compendium of existing national statistics*. OECD Science, Technology and Industry W.P., 2001/06, París: OECD Publishing.