

Lusíada



Repositório das Universidades Lusíada

Universidades Lusíada

Abreu, Ricardo

**Determinantes na formação de redes
sociotécnicas de inovação : uma análise
inferencial através de modelos grafos
exponenciais (ERGM)**

<http://hdl.handle.net/11067/7050>

<https://doi.org/10.34628/e8yg-zs89>

Metadados

Data de Publicação

2023

Tipo

bookPart

Esta página foi gerada automaticamente em 2024-05-06T07:49:18Z com
informação proveniente do Repositório

4.

Determinantes na formação de redes sociotécnicas de inovação: uma análise inferencial através de modelos grafos exponenciais (ERGM)

Determinants in the formation of sociotechnical innovation networks: an inferential analysis using exponential graph models (ERGM)

RICARDO ABREU

Doutoramento. Instituto Superior de Ciências do Trabalho e da Empresa
(Iscte-IUL) – Portugal.

ricardo_joao_abreu@iscte-iul.pt

<https://doi.org/10.34628/e8yg-zs89>

Resumo: Os sistemas de inovação são construtos sociotécnicos complexos onde diversos participantes interagem entre si em ambientes institucionais, políticos e científicos. Os estudos sociais de inovação contemplam a análise de sistemas complexos de colaboração científica em rede, com o objetivo de compreender os fenómenos latentes na construção dessas redes de inovação. Esta investigação propõe um modelo de análise na perspetiva institucional aos sistemas de inovação emergentes dos projetos de investigação na área da nanotecnologia. Numa abordagem, sui generis ao neo-institucionalismo, com recurso à família de grafos aleatórios exponenciais (i.e. Exponential Random Graph Models ou ergms), foi possível identificar três dimensões institucionais impactantes dos sistemas de inovação: a dimensão socioeconómica; político-económica; tecno sociológica. Os resultados, demonstram ainda que a introdução de técnicas avançadas em Análise de Redes Sociais (i.e ergms), permitem a compreensão dos fenómenos de interação entre atores dos sistemas de inovação e a avaliação das políticas públicas, ao nível institucional.

Palavras-chave: nanotecnologia; inovação; políticas públicas; análise de redes sociais; ERGM.

Abstract: *Innovation systems are complex socio-technical constructs, where diverse participants interact with each other in institutional, political and scientific environments. Social studies of innovation contemplate the analysis of complex systems of scientific collaboration networks, with the aim of understanding the latent phenomena in the construction of these innovation networks. This research proposes a model of analysis from the institutional perspective to the innovation systems, emerging from research projects in the area of nanotechnology. In an, sui generis, approach to the neo-institutionalism, with the use of the family of exponential random graphs (i.e. Exponential Random Graph Models or ergms), it was possible to identify three institutional dimensions impacting on innovation systems: the socio-economic dimension; political-economic dimension; techno-sociological dimension. The results also demonstrate that the introduction of advanced techniques in Social Network Analysis (i.e. Ergms), allow the understanding of the phenomena of interaction between actors of innovation systems and the evaluation of public policies, at the institutional level.*

Keywords: *nanotechnology; innovation; public policy; social network analysis; ERGM.*

Introdução

Apesar do conceito de tecnologias emergentes ainda ser mote de debate no meio acadêmico, diversos autores referem que esta “emergência” está associada ao conceito de transformação radical da ciência (Porter et al., 2019; Rotolo et al., 2015). A nanotecnologia surge aqui como resultado de uma preocupação para desenvolver novos e eficientes materiais e tecnologias para diversos desafios sociais. A sua característica disruptiva de elevado impacto socioeconómico e convergência científica, coloca-a no patamar das tecnologias emergentes.

No contexto dos sistemas de inovação o conceito de emergência emana da procura de soluções para os problemas sociotécnicos, através da interação das políticas públicas e seus programas operacionais. Neste sentido, as políticas públicas incutem

no Espaço Europeu de investigação a formação de redes colaboração científica e tecnológica entre instituições tão diversas, como Universidades, empresas, centros de investigação e agências governamentais, numa interação multidimensional institucional.

A nanotecnologia tem o seu lugar neste “Espaço” do desenvolvimento da política científica e tecnológica europeia (Bhat, 2003). Assim sendo, somos interpelados a questionar sobre o impacto dos diversos fatores institucionais na formação dessas redes de colaboração científica. Com estas premissas, esta investigação tem a pretensão de compreender os determinantes político-institucionais na formação de redes de inovação em tecnologias emergentes no âmbito do 7.º PQ para a nanotecnologia. Para isso, considerou-se três abordagens de enquadramento teórico que sustentam a investigação:

A abordagem sistémica à inovação defendida sobretudo pela teoria económica desde os anos 50, serviu de guia durante as últimas décadas às políticas de inovação nas nações mais desenvolvidas. Dos modelos lineares em que a inovação é um processo de estágios sequenciais da descoberta científica à disseminação, passando pelos modelos de interação em cadeia entre a ciência e o mercado e finalizando já nos anos 2000 com um modelo cíclico onde os todos atores dos sistemas de inovação interagem de forma cíclica no processo de inovação.

O conceito de sistemas de inovação foi cunhado nos finais dos anos 80, pelos trabalhos de vários economistas como Christopher Freeman (1987), Richard Nelson (1993) ou Lundvall (2010), que contribuiram para o desenvolvimento de um quadro teórico sobre os sistemas de inovação adotado por organizações como a OCDE. Pode-se ainda olhar os sistemas de inovação com várias lentes: uma visão dos Sistemas Nacionais de Inovação; Os sistemas Regionais ou Setoriais de inovação; e pelos Sistemas Tecnológicos de Inovação. Em suma, a abordagem sistémica à inovação tem como objetivo a análise das relações entre quem produz e utiliza a inovação, centrando a empresa ou organização como ator principal, repleta de interdependências, mais ou menos complexas, com a sua envolvente socioeconómica.

A abordagem institucional à inovação, invoca a teoria do institucionalismo em particular o neo-institucionalismo. Este novo institucionalismo reclamado inicialmente por autores como March & Olsen (2006), constitui um pensamento político multidimensional, no qual se pretende compreender as normas institucionais e como estas influenciam o comportamento dos atores socioeconómicos. Por exemplo, as introduções de políticas públicas europeias nos sistemas de inovação nacionais promovem determinadas dinâmicas interorganizacionais nestes

sistemas, influenciando a forma como se processam as atividades inovadoras. Segundo os autores Peter Hall e Rosemary Taylor (2018), o novo-institucionalismo pode ser analisado por três perspectivas: institucionalismo histórico; institucionalismo da escolha racional; institucionalismo sociológico. A abordagem institucional, em particular o novo-institucionalismo, define um quadro de análise complementar aos sistemas de inovação. A observação das dinâmicas institucionais, podem contribuir para interpretar a formação de redes sociotécnicas induzidas pelas políticas públicas para desenvolvimento de tecnologias emergentes.

Por fim a abordagem institucionalista aos sistemas de inovação, que segundo a visão de Raymond Werle (2005), esta pode ser analisada através de um modelo analítico que recupera as perspectivas económicas e políticas da inovação, organizados em três dimensões ou tipos de institucionalismo: O socioeconómico; o político-económico e o tecno-económico.

O primeiro o institucionalismo socioeconómico, Werle (2005) introduz o conceito de sistemas de inovação nas suas várias realidades, geográficas e tecnológicas. E encontramos nesta dimensão as propostas analíticas das teorias económicas já referidas anteriormente, por exemplo o investimento publico e privado na I&D ou os resultados da inovação através de patentes. Em suma, pode-se afirmar que as condições institucionais do vários países e setores podem influenciar o processo inovativo dos mesmos.

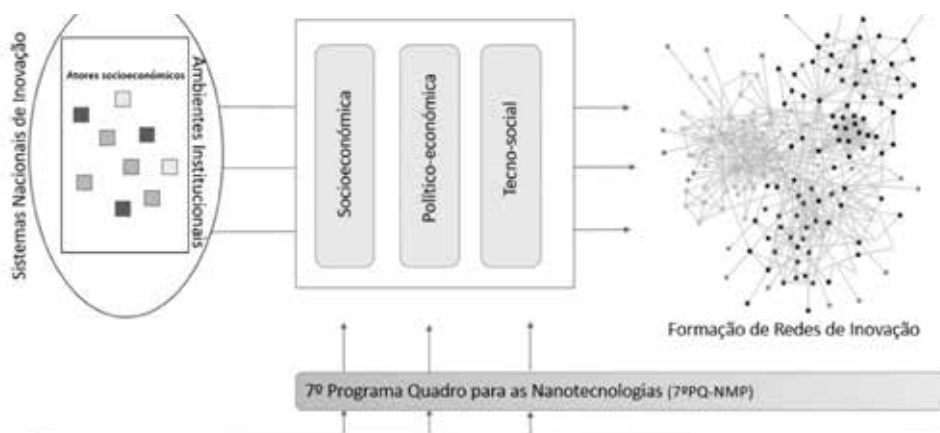
Na dimensão político-económico, o autor invoca os estudos das Variedade de Capitalismo cunhados por Peter Hall e Soskice (2001), que neste contexto tornam-se relevantes. Segundo as VdC, as interações dos atores socioeconómicos e institucionais nos sistemas de produção nacionais moldam as regras do enquadramento institucional. Por fim, o institucionalismo tecno-sociológico recupera a visão sociológica à inovação através dos estudos dos Grandes Sistemas Tecnológicos iniciados pelo historiador Hughes (1987) nos anos 80. Estes estudos colocam as instituições no centro de resolução dos problemas de coordenação e regulação que emergem durante o processo de desenvolvimento de infraestruturas tecnológicas.

Estas três perspectivas institucionais aos sistemas de inovação (socioeconómica, político-económica e tecno-sociológica) integram em si as abordagens sistémicas e institucionais referidas anteriormente. Considera-se assim a sua pertinência para compreender o fenómeno da formação de redes de inovação no contexto das políticas públicas europeias

Metodologia

Tendo em conta o que foi explanado anteriormente nas perspetivas teóricas aos sistemas de inovação, em particular à análise institucional sugerida por Raymond Werle (2005), sugere-se um modelo conceptual para determinar os fatores político institucionais na formação de redes de inovação do 7.ºPQ para a nanotecnologia (figura 1). De forma resumida pode-se identificar neste modelo que os atores dos sistemas nacionais de inovação estão envolvidos em ambientes institucionais promovidos pelas políticas europeias e nacionais para a ciência, tecnologia e inovação. E que as colaborações promovidas pelo 7.ºPQ para a nanotecnologia podem ser influenciadas por dimensões institucionalistas dos sistemas de inovação, que definem determinadas formações em rede.

Figura 1 – Modelo conceptual.



Fonte: elaborado pelo autor

Partindo deste modelo conceptual propomos de forma resumida quatro principais hipóteses para investigação empírica:

H1. Os atores com o mesmo perfil institucional (p.e., Universidade, Centro de Investigação, Empresa), constituintes dos sistemas nacionais de inovação tendem formar ligações preferenciais entre si (i.e. homofilia institucional).

H2. Os fatores socioeconómicos que caracterizam os sistemas nacionais de inovação determinam positivamente a formação de redes de inovação em projetos de I&D em nanotecnologia.

H3. Os fatores político-económicos que caracterizam atores dos sistemas nacionais de inovação determinam positivamente a formação de redes de inovação em projetos de I&D em nanotecnologia.

H4. Os fatores tecno-sociológicos que caracterizam atores dos sistemas nacionais de inovação determinam positivamente a formação de redes de inovação em projetos de I&D em nanotecnologia.

Com o objetivo de compreender a importância dos atributos dos atores socioeconómicos na formação de redes de inovação, optamos nesta investigação utilizar modelos estocásticos referidos como os Modelos dos Grafos Aleatórios Exponenciais (ERGM).

O ERGM tem sido utilizado por vários autores em estudos sobre modelos de difusão de inovação. Temos por exemplo, investigações sobre topologias nas redes de inovação para otimizar os fluxos de conhecimento. Estudos sobre o impacto da proximidade geográfica das organizações na formação de redes preferenciais, ou outro tipo de proximidades, como a cognitiva, organizacional, social institucional no processo de difusão e partilha de conhecimento. Optou-se por este modelo porque permite analisar as estruturas das redes e elaborar inferências sobre os padrões estruturais das mesmas tendo em conta as ligações entre as unidades da rede. Estes modelos partem da premissa de que a formação de ligações entre pares de vértices não é feita aleatoriamente e que existem fatores de dimensão quantitativa e qualitativa inerentes à estrutura e aos atributos dos vértices, originando ligações preferenciais entre os vértices. Wasserman e Pattison (1996), com base nos trabalhos de Frank e Strauss (1986) sobre as distribuições de grafos Markov, desenvolveram os modelos p^* , uma generalização da família de grafos aleatórios exponenciais. A probabilidade de distribuição dos ERGM pode ser definida por:

Equação 1 – Modelo de probabilidade ERGM (p^*)

$$P_{\theta}(Y = y) = \frac{\exp\{\theta' S(X)\}}{C(\theta)}$$

onde, $S(X)$ são as estatísticas do dígrafo de covariáveis observáveis; θ é o vetor dos parâmetros estatísticos; e, $C(\theta)$ é o fator de normalização para assegurar que a probabilidade máxima é 1 (i.e., soma de todos os parâmetros).

A modelação de dados relacionais consistiu em três fases para a estimação dos modelos ERGM:

A especificação de um modelo compreende atribuir às diversas estatísticas e parâmetros do modelo. Baseado nos modelos de dependência de Markov, é ainda possível introduzir na especificação do modelo ERGM, configurações estruturais em estrela como k-stars ou configurações que permitem averiguar as ligações geometricamente ponderadas de díades com terceiros vértices como o GWESP (geometrically weighted edgewise shared partner) (Robins & Daraganova, 2013; Skvoretz & Faust, 1999; Snijders et al., 2006; Wang et al., 2013).

A estimação de um modelo compreende a identificação dos parâmetros que maximizem verisimilhança de um grafo. Estudos recentes demonstram que a estimação dos modelos ERGM, por via dos algoritmos de Monte Carlo, baseados em Cadeias de Markov (MCMC), providenciam bons resultados nos estimadores de máxima-verossimilhança (MLEs). A estimação MCMC-MLEs consiste em produzir um elevado número de amostras Monte Carlo (MC) de grafos aleatórios com o objetivo de aproximar os parâmetros obtidos aos parâmetros da máxima-verossimilhança (Anderson et al., 1999; Handcock et al., 2003; Snijders, 2002).

E a qualidade de ajustamento consiste então em procurar o conjunto de melhores estimadores para qualificar ou caracterizar os dados observáveis (i.e grafo ou rede inicial). Se o modelo ajustado resultante da simulação for o suficiente para explicar os dados observados, é expectável que os estimadores associados às características da estrutura do grafo, não sejam extremos na função distribuição do grafo (Hunter et al., 2008; Robins, 2011; Robins et al., 2005).

Com a intenção de corroborar o modelo concetual, foi proposto um desenho de pesquisa, baseado na recolha massiva de dados quantitativos e qualitativos de diversas bases de dados disponíveis para consulta gratuita (e.g. Scopus[®], Esp@cent, NanoTechMap, Statnano, NanoWerk). A recolha de dados relacionais recaiu sobre os projetos de I&D subjacentes ao 7.º PQ NMP durante o período de 2007 a 2013. Estes dados foram recolhidos através da antiga base de dados CORDIS e a mais recente portal de dados abertos da EU (CORDIS, 2017; EU ODP, 2017). Para identificar os atributos dos participantes destes projetos foram recolhidos dados em bases de dados

de foro científico e tecnológico e especializadas em nanotecnologia. Como uma parte significativa dos dados sobre o tipo de organização científica a que pertencem os participantes estava indisponível, foi necessário classificá-los através da consulta aos seus sites online e aplicar o critério de decisão referido no manual de Frascati (OECD, 2015).

Resultados

Os modelos ERGM representam processos de formação de ligações preferenciais entre os vários vértices, através da introdução de atributos, ou seja, parâmetros estatísticos especificados pela investigação que neste caso sugerem as dimensões institucionais propostas no modelo conceptual. Para compreender melhor os efeitos adjacentes à formação de ligações e consequente rede, a modelação foi dividida em cinco modelos parciais que dão forma às hipóteses lançadas anteriormente (ver tabela I).

Os modelos A e B concentram as variáveis endógenas (ou estruturais) que não são influenciadas pelos atributos dos vértices, neste caso o primeiro indica a tendência de criação de díades, ou seja a probabilidade de existir ligações entre pares de participantes, o fato de apresentar um valor negativo significa que estas ligações não são aleatórias existindo então outros fatores que podem influenciar estas ligações. Neste segundo modelo, ou seja, formações de configurações em estrela e também tríades indicam que existe uma tendência para se formarem este tipo de estruturas, mesmo com a influência de outros fatores. Os parâmetros do modelo C, que verificam a H1, sugerem que o tipo de organização científica pode ser um fator de ligação preferencial, contudo numa análise paralela foi possível identificar entre as diversas tipologias, só as instituições governamentais tem uma tendência de se ligarem entre si. Os modelos D e E são também modelos parciais que incluem parte das dimensões institucionais dos sistemas de inovação. Ao averiguar o modelo E concluímos que a dimensão socio económica dos sistemas de inovação tem maior impacto na formação das redes quando analisada em conjunto com a dimensão político-económica. Por fim o modelo F, que inclui as hipóteses 2 à 4 e representa o modelo institucional dos sistemas de inovação em nanotecnologia, permite averiguar o impacto de todas as dimensões na formação das redes e corroborar as hipóteses lançadas anteriormente. Encontra-se então,

evidências que a dimensão institucional dos sistemas de inovação representados pelas hipóteses 2 à 4 tem um impacto misto na formação de redes de inovação.

Tabela I – Modelos ERGM da rede de inovação em nanotecnologia

Variáveis	Modelo A	Modelo B	Modelo C	Modelo D	Modelo E	Modelo F
Edges	-5,06	-30,40	-168,90	-127,60	-148,90	-35,42
Ligações entre 2 participantes (díades)	(0,004)	(0,003)	(0,01)	(0,085)	(0,104)	(0,224)
2-star		0,003	0,02	0,02	0,06	0,06
formação de estruturas em estrelas		(0,000)	(0,000)	(0,000)	(0,000)	(0,000)
gwesp.fixed.2.5		21,29	126,30	131,6	132,50	132,80
formação de estruturas triangulares (tríades)		(0,000)	(0,02)	(0,003)	(0,002)	(0,002)
Tipologia de Participante (t)			3,89	-0,36	-9,35	0,22
Nodematch.Type			(0,02)	(0,16)	(0,012)	(0,015)
Produção Científica (SI)				-6,09	9,13	-8,09
nodecov.SOC_Si_Sci				(0,023)	(0,033)	(0,037)
Produção de Inovação (SI)				-12,47	0,15	8,76
nodecov.SOC_Si_Inov				(0,016)	(0,018)	(0,023)
Despesa Pública I&D (%PIB)				-4,60	18,35	-11,35
nodecov.SOC_GBORD				(0,020)	(0,022)	(0,022)
Empresas setor Nano (#)				-0,23	0,36	0,32
nodecov.SOC_BUS				(0,003)	(0,002)	(0,001)
Nano Produtos (#)				0,03	0,03	0,04
nodecov.SOC_PROD				(0,000)	(0,000)	(0,000)
Políticas Públicas p/Nano (t)					3,30	-1,35
nodematch.POL_SP					(0,012)	(0,017)
Regimes Político-econômicos (t)					-8,03	7,97
nodematch.POL_VOC					(0,015)	(0,013)
Políticas Educação Nano (#)					-0,43	-0,33
nodecov.POL_DEGR					(0,002)	(0,002)
Infraestruturas Nacionais I&D (#)						0,06
nodecov.TEC_FP7INFR						(0,000)
Infraestruturas Nacionais Nano (#)						1,88
nodecov.TEC_ESFRInano						(0,005)
Cobertura nacional de Internet (%)						-0,91
nodecov.TEC_NET						(0,001)
	AIC 876124	AIC 838696	AIC 658700	AIC 702124	AIC 773040	AIC 829497
	BIC 876138	BIC838739	BIC 658756	BIC702250	BIC773208	BIC 829707

Notas: Os modelos foram ajustados pelo MCMC-MPL, pelo método “stochastic approximation”. Todos os valores estimados são significativos (p-value <0,001). Foram utilizados as seguintes análises comparativas: Critério de Informação de Akaike (AIC); Critério de Informação Bayesiano (BIC). Variáveis contínuas: (SI)-Índice de especialização; (#) – quantidade em número; (%) – percentagem. Variáveis categóricas: (t)- tipologias.

Discussão

Os resultados da modulação da rede de inovação foram conclusivos. A rede de inovação em nanotecnologia formada a partir dos projetos de I&D do 7.ºPQ é uma rede pouco densa e a probabilidade de dois participantes estarem ligados por via de um ou mais projetos é de 0,63 %. Estes valores seguem o fenómeno associado às redes reais do dia à dia, onde a maior parte dos participantes possuem poucas ligações e um numero finito destes possuem muitas ligações, a que designamos “redes sem escala” (Barabási & Albert, 1999; Watts & Strogatz, 1998). Os resultados da modulação da rede de inovação podem ser interpretados segundo duas perspetivas analíticas: a perspetiva da estrutura interna da rede, ou seja, as ligações simples (díades) ou outras configurações (p.e. em estrela, triângulo); e a perspetiva dos atributos dos vértices, por outras palavras as variáveis das dimensões institucionais).

Também se verificou através dos parâmetros estruturais que a formação de estruturas em estrela e triangulares é positiva, o que indica alguma coerência com as premissas dos projetos do 7.ºPQ, terem no mínimo a participação de organizações de 3 estados-membros. Por outro lado, a introdução dos atributos institucionais de cada participante na modelação trouxe-nos a possibilidade de avaliar o impacto das dimensões institucionais dos sistemas de inovação na formação das redes de inovação. Os resultados revelam que o tipo de organização científica é um fator determinante na formação de ligações preferenciais, em particular o fato as organizações governamentais estarem presentes em projetos comuns, o que nos leva a afirmar que os estados-membros tem estratégias concertadas para o desenvolvimento da nanotecnologia europeia. No caso dos participantes privados como empresas, centros de investigação e das Universidades, estes não procuram firmar ligações com organizações do mesmo tipo, mais uma vez, este resultado é coerente com os objetivos primordiais do 7.ºPQ que é a diversidade institucional nos projetos de I&D (Abreu, 2020). A par dos atributos de tipologia, foram também introduzidos os atributos associados às dimensões propostas no modelo conceitual. Recordo a dimensão institucional socioeconómica, político-económica e tecno-sociológica.

O resultado desta análise indica que todas as dimensões no geral têm fatores que influenciam a formação das redes. A perspetiva socioeconómica revela que

existe uma tendência para os participantes de sistemas de inovação nacionais com o mesmo nível de produção de inovação, nível de empresas e produtos associados à nanotecnologia estarem a participar nos mesmos Projetos. Na perspetiva político-económica concluímos que a proximidade em termos de regime económico é um fator determinante na formação de ligações preferenciais, parece surgir aqui alguma convergência política no seio da União Europeia. Por fim, na perspetiva tecno-sociológica, os resultados revelam que além de existir discrepância em termos de aposta em infraestruturas de I&D e de nanotecnologia, os participantes com o mesmo nível de investimento em infraestruturas para a nanotecnologia tendem a participar em projetos comuns.

Em suma, os modelos ERGM consistem num processo de estimar uma série de parâmetros que explicam a formação de redes entre vértices (p.e., participantes), através da simulação de grafos aleatórios, por métodos avançados de máxima verosimilhança (p.e., Markov Chain Monte Carlo). De uma forma mais simples, os ERGM são regressões estatísticas que avaliam o impacto de cada variável independente (variáveis das respetivas dimensões institucionais), na variável dependente, ou seja, na possibilidade (i.e., log-odds) de existir a formação de uma ligação entre dois participantes num projeto.

Em conclusão a análise estrutural das dimensões institucionais da rede formada através dos projetos de I&D do 7.ºPQ-NMP permite afirmar que existem parâmetros dos modelos que contribuem positivamente para a formação de ligações. Também se pode concluir que há outros modelos que contribuem de forma negativa, ou seja, com menor propensão para a formação de ligações.

Referências

- Abreu, R. J. L. de. (2020). *Determinantes político-institucionais na formação de redes de inovação em tecnologias emergentes*.
- Anderson, C. J., Wasserman, S., & Crouch, B. (1999). A p* primer: Logit models for social networks. *Social Networks*, 21(1), 37–66.
- Barabási, A.-L., & Albert, R. (1999). Emergence of scaling in random networks. *Science*, 286(5439), 509–512.

- Bhat, J. S. A. (2003). Concerns of new technology based industries: The case of nanotechnology. *Technovation Doi 101016jtechnovation09001*, 25(5), 457–462.
- CORDIS. (2017). *CORDIS (Projects & Results)*. http://cordis.europa.eu/projects/home_en.html
- EU ODP. (2017). *EU Open Data Portal*. https://data.europa.eu/euodp/en/data/dataset?q=cordis&text_boolean=all&sort=views_total+desc
- Frank, O., & Strauss, D. (1986). Markov graphs. *Journal of the American Statistical Association*, 81(395), 832–842.
- Freeman, C. (1987). *Technology, policy, and economic performance: lessons from Japan: Pinter Publishers*.
- Hall, P A, & Soskice, D. W. (2001). *Introduction to Varieties of Capitalism Varieties of capitalism: The institutional foundations of comparative advantage (Vol. 8): Wiley Online Library*.
- Hall, Peter A. (2018). Varieties of capitalism in light of the euro crisis. *Journal of European Public Policy*, 25(1), 7–30.
- Handcock, M. S., Robins, G., Snijders, T., Moody, J., & Besag, J. (2003). *Assessing degeneracy in statistical models of social networks*. Citeseer.
- Hughes, T. P. (1987). The evolution of large technological systems. *The Social Construction of Technological Systems: New Directions in the Sociology and History of Technology*, 51–82.
- Hunter, D. R., Goodreau, S. M., & Handcock, M. S. (2008). Goodness of fit of social network models. *Journal of the American Statistical Association*, 103(481), 248–258.
- Lundvall, B. (2010). *Introduction to National System of Innovation National Systems of Innovation: Toward a Theory of Innovation and Interactive Learning (pp.): Anthem Press*. 1–17.
- March, J. G., & Olsen, J. P. (2006). Elaborating the “new institutionalism.” In *The Oxford handbook of political institutions* (Vol. 5, pp. 3–20). Oxford University Press Oxford.
- Nelson, R. R. (1993). National Systems Of Innovation: A Comparative Analysis. In *Oxford University Press*. Oxford University Press.
- OECD. (2015). *Frascati Manual 2015: Guidelines for Collecting and Reporting Data on Research and Experimental Development*. OECD Publishing.
- Porter, A. L., Garner, J., Carley, S. F., & Newman, N. C. (2019). Emergence scoring to identify frontier R&D topics and key players. *Technological Forecasting and Social Change*, 146, 628–643.

- Robins, G. (2011). Exponential random graph models for social networks. *Handbook of Social Network Analysis*. Sage.
- Robins, G., & Daraganova, G. (2013). Social Selection, Dyadic Covariates, and Geospatial Effects. In D. Lusher, J. Koskinen, & G. Robins (Eds.), *Exponential random graph models for social networks: Theory, methods, and applications*. Cambridge University Press.
- Robins, G., Pattison, P., & Woolcock, J. (2005). Small and other worlds: Global network structures from local processes. *American Journal of Sociology*, 110(4), 894–936.
- Rotolo, D., Hicks, D., & Martin, B. (2015). What Is an Emerging Technology? *Research Policy*, 44, 1827–1843. <https://doi.org/10.1016/j.respol.2015.06.006>
- Skvoretz, J., & Faust, K. (1999). Logit models for affiliation networks. *Sociological Methodology*, 29(1), 253–280.
- Snijders, T. A. B. (2002). Markov chain Monte Carlo estimation of exponential random graph models. *Journal of Social Structure*, 3(2), 1–40.
- Snijders, T. A. B., Pattison, P. E., Robins, G. L., & Handcock, M. S. (2006). New specifications for exponential random graph models. *Sociological Methodology*, 36(1), 99–153.
- Wang, P., Robins, G., Pattison, P., & Lazega, E. (2013). Exponential random graph models for multilevel networks. *Social Networks*, 35(1), 96–115. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.socnet.2013.01.004>
- Wasserman, S., & Pattison, P. (1996). Logit models and logistic regressions for social networks: I. An introduction to Markov graphs andp. *Psychometrika*, 61(3), 401–425.
- Watts, D. J., & Strogatz, S. H. (1998). Collective dynamics of ‘small-world’ networks. *Nature*, 393(6684), 440–442.
- Werle, R. (2005). Institutional analysis of technical innovation. *Institutionelle Analyse Technischer Innovation* 386, 57(2), 308–332.