



## Midiendo la incertidumbre en sistemas de innovación de Triple Hélice

GUTIÉRREZ ORTEGA, ARMANDO

Universidad Autónoma de Baja California (México)

Correo electrónico: armando.gutierrez@uabc.edu.mx

MUNGARAY LAGARDA, ALEJANDRO

Universidad de Sonora (México)

Correo electrónico: mungaray@uabc.edu.mx

OSORIO NOVELA, GERMÁN

Universidad Autónoma de Baja California (México)

Correo electrónico: gosorio@uabc.edu.mx

### RESUMEN

El presente trabajo compara la interacción Universidad-Industria-Gobierno del sistema de innovación aeroespacial del Sur de California con el del Noroeste de Inglaterra; utilizando la metodología para medir la incertidumbre propuesta por Leydesdorf, Park y Lengynel (2013). Con información de diversas fuentes que privilegian los fondos de inversión sobre las patentes, el Sur de California mostró interacciones mayores en comparación con el Noroeste de Inglaterra. El impacto que los fondos públicos y las políticas gubernamentales sobre la industria, la transformación de la dinámica académica, el avance del campo de investigación, el desarrollo de innovaciones y el mercado, indican que este tipo de metodologías pueden ayudar la toma de decisiones en países en vías de desarrollo, a condición de que las fuentes de información y su disponibilidad mejoren.

**Palabras clave:** triple hélice, sistemas de innovación, innovación tecnológica, industria aeroespacial, Estados Unidos, Inglaterra.

**Clasificación JEL:** O18; O32; O38; O51; O52.

**MSC2010:** 91B44; 94A17.

## Measuring uncertainty in Triple Helix innovation systems

### ABSTRACT

The present work compares the University-Industry-Government interaction of the Southern California aerospace innovation system with that of the North West of England; using the methodology to measure the uncertainty proposed by Leydesdorf, Park and Lengynel (2013). Using information from various sources that prioritize investment funds over patents, Southern California showed greater interactions compared to North West England. The impact that public funds and government policies on the industry, the transformation of academic dynamics, the advancement of the field of research, the development of innovations and the market, indicate that this type of methodologies can help decision-making in developing countries, provided that information sources and their availability improve.

**Keywords:** triple helix, innovation systems, technology innovation, aerospace industry, USA, England.

**JEL classification:** O18; O32; O38; O51; O52.

**MSC2010:** 91B44; 94A17.



## 1. Introducción

Las condiciones históricas, económicas, políticas y socioculturales de California y Noroeste de Inglaterra, han consolidado a estas regiones como polos relevantes de innovación de la industria aeroespacial en el mundo. Ambos modelos de innovación descansan en el liderazgo de las instituciones académicas como generadoras de capital humano, conocimiento basado en la investigación científica y desarrollo de innovaciones (Islam, 2010; Dosi et al., 2003; Etzkowitz & Leydesdorff, 2000). En ambas regiones se observan Universidades bien colocadas en el ranking de programas de ingeniería aeroespacial (QS World University Rankings, 2014); operan con modelos de interacción Universidad-Industria-Gobierno para la industria aeroespacial; y representan polos internacionales de atracción y desarrollo de proyectos de R&D+d, así como de concurrencia de fondos gubernamentales y privados.

Con el fin de entender hasta dónde ambos modelos de interacciones son expandibles a otras realidades, el objetivo de este trabajo es estimar y analizar, de manera comparada, el grado de interacción entre Universidad-Industria-Gobierno en cada sistema, que permita controlar los niveles de incertidumbre del proceso de innovación. Para ello, sin entrar en el análisis de los sistemas regionales de innovación, se utiliza la metodología de funcionamiento de la Triple Hélice (TH) propuesta por Leydesdorff et al. (2013), con el fin de comparar el tipo de interacción que resulta cuando Industria o Gobierno, asumen el liderazgo en un sistema regional de alto nivel de innovación. Esta metodología suele medir la incertidumbre o entropía probabilística, usando variables de resultados generadas de manera individual o recíproca, como patentes o publicaciones científicas. Sin embargo, en este trabajo se utilizan variables de esfuerzo, como inversiones en proyectos de investigación, desarrollo y diseño de innovación para la industria aeroespacial, principalmente porque en países en vías de desarrollo, la variable crítica es la inversión, debido a que la gestión requerida para incentivarla y gestionarla, es más fuerte y relevante que la gestión por las patentes, cuyo registro por secreto industrial ante la competencia, es limitado y no refleja el ritmo de la innovación. Por ello se presenta una aplicación estadística que correlaciona programas educativos, proyectos de investigación y desarrollo, agencias gestoras o administradoras de recursos financieros y capital humano, con el fin de tener una medida de incertidumbre del flujo de recursos involucrados con los procesos de innovación, más relacionada con entornos de países en vías de desarrollo.

En este contexto, después de la introducción se analizan las aportaciones sobre los mecanismos de interacción entre Universidad, Industria y Gobierno. En el tercer apartado se discute la utilidad de la metodología y la disponibilidad de datos, para presentar los resultados y su discusión, seguida por las conclusiones para tomar decisiones en la promoción y evaluación de sistemas de innovación de triple hélice.

## 2. Revisión de literatura.

Ranga y Etzkowitz (2013) definen la TH como la evolución de un sistema de producción industrial, que pasa de la diada industria-gobierno a una relación crecientemente tripartita entre universidad, industria y gobierno. La primera versión del modelo fue desarrollada a principios de la década de 1990 por Etzkowitz y Leydesdorff (2000) tomando como referencia el trabajo de Lowe (1982), Sabato et al. (1982). Su principal argumento es que:

El potencial de la innovación y el desarrollo económico en una sociedad del conocimiento, reside en el papel cada vez más prominente de la universidad y en la hibridación de elementos de la universidad, la industria y el gobierno, para generar nuevos formatos institucionales y sociales para la producción, transferencia y aplicación del conocimiento. (Ranga & Etzkowitz, 2013, p.238).

En términos generales, el modelo TH está compuesto por tres agentes institucionales que interactúan de acuerdo a tres condiciones: (a) relaciones relativamente simétricas entre ellas, con un rol destacado de la universidad en el proceso de producción de innovaciones; (b) colaboración a través de

políticas para la innovación, derivadas de la interacción recíproca y no del tradicional ejercicio vertical de los organismos gubernamentales; (c) multifuncionalidad para que cada agente institucional cumpla con sus funciones específicas, al tiempo en que asume la de otros para reasignarse nuevos roles e incrementar su potencial de innovación (Human Sciences and Technologies Advanced Research Institute, 2011).

En versiones más recientes, Etzkowitz y Zhou (2007) introducen los elementos campo y circulación. El campo es utilizado para explicar procesos aparentemente antagónicos de superposición e independencia entre las hélices, y se asume como la fuerza movilizadora del modelo en general. La circulación se emplea para ayudar a determinar la dinámica de interacción entre las hélices.

El capital intelectual y el desarrollo de innovación tecnológica son considerados las claves que otorgan valor adicional a los procesos de producción industrial, independientemente del volumen de inversión en recursos materiales. Nuevas prácticas, industrias, disciplinas académicas, regulaciones y formas de conocimiento, surgen como consecuencia de esta fase de avance científico y técnico. La creatividad e innovación son dos de los componentes intangibles más relevantes para la economía del conocimiento (Powell & Snellman, 2004), la cual se puede caracterizar por tres rasgos distintivos: sus procesos son acelerados y complejos, tanto al interior como al exterior de las redes de sistemas y subsistemas públicos o privados, capaces de catalizar la creación, producción, retención y depreciación del conocimiento (Aghion & Howitt, 1990; Hermens, 1941; Schumpeter, 1934; Avaro, 2011). Un segundo rasgo son las transformaciones profundas en los modelos de producción y gestión de nuevas formas de capital que se generan y caducan a ritmos que desbordan las previsiones de quienes los proyectan (Avaro, 2011). El tercero es la migración conceptual permanente de las redes multilineales de información, hacia sistemas multidimensionales de interacción y determinación recíproca, que dependen de la innovación para establecer vínculos entre el uso global del capital intelectual y una sociedad conformada por nuevos tipos de ciudadanos y consumidores (Hauge, 2008; Castells, 2006; Etzkowitz, 2003; Adler, 2001).

La innovación es uno de los resultados más valiosos de la economía del conocimiento, pues se anticipa a la evolución y transformación de los procesos de producción y preferencias del mercado, encausa tendencias y prevé soluciones a problemas que aún no han surgido. Para concebir la innovación, es necesaria la confluencia de diversos factores como (a) políticas generales y normas; (b) activos intelectuales pertinentes, suficientes y adaptables; (c) industria y mercados basada en el desarrollo y aplicación del conocimiento; y (d) vínculos de interacción entre este conjunto de factores.

Hay una diversidad amplia de enfoques para entender la economía del conocimiento. Un conjunto relativamente heterogéneo de escuelas, coinciden en reconocerla como un sistema integrado por tres esferas institucionales, cuyas estructuras y funciones, autónomas en su origen, establecen una relación de interdependencia recíproca: (a) industria, cuya función es la generación de riqueza mediante la aplicación del conocimiento; (b) academia, que se orienta en producir y gestionar conocimiento e innovación; y (c) gobierno, responsable de regular, proteger y fomentar esta producción. Este modelo de TH depende del nivel de interacción en que se vinculan: 1. Las condiciones, recursos y capitales disponibles que ofrecen un entorno propicio para la dinámica de producción de bienes y servicios, basados en la aplicación intensiva del conocimiento (Rohrbeck et al., 2009; Adner, 2006; Moore, 2006); 2. Los proyectos específicos de innovación, capaces de generar nuevas espirales en el modelo (Martínez-Castro, 2008; Feldman, 2001, 2007); 3. Los procesos de retención e intercambio de información entre las esferas institucionales, orientados a estabilizar la incertidumbre en niveles óptimos de expectativas (Leydesdorff et al., 2013; Leydesdorff et al., 2006; Leydesdorff & Meyer, 2006); 4. La transformación recíproca de las hélices, sus núcleos, estructuras y funciones, como resultado de su interacción (Etzkowitz, 2003; Peters & Etzkowitz, 1990).

Leydesdorff elaboró un modelo de estudio que permite identificar las interacciones de los núcleos institucionales de la TH, para desarrollar una versión más realista y actualizada de su funcionamiento. La forma en que el modelo opera y controla los niveles de incertidumbre entre sus elementos, genera un subsistema que moviliza, impulsa y transforma a las hélices a partir de nuevas sub-dinámicas de

interacción y producción (David & Foray, 2002; Etzkowitz & Leydesdorff, 2000). Las aplicaciones de Leydesdorff han sido exitosas en investigaciones de distinta naturaleza (Etzkowitz & Ranga, 2010; Ivanova & Leydesdorff, 2014; Leydesdorff et al., 2006), demostrando dos cualidades sobresalientes:

1. Solidez como herramienta para definir cómo es que los cambios en las funciones de las hélices generan una transformación en beneficio de la totalidad del modelo (Etzkowitz & Leydesdorff, 2000);
2. Versatilidad, ya que ha permitido incorporar información operativa y confiable en relación a variables como la dispersión geográfica, naturaleza de las firmas, número de patentes, coautoría de artículos científicos, entre otras (Leydesdorff et al., 2013; 2006).

Feldman (2001) identifica un subsistema derivado de la interacción intensa de las hélices, al que denomina Espacio Creativo, equivalente a Centros de Innovación (CI). Éstos se definen como un producto del crecimiento armónico, sistemático y organizado de los procesos creativos, en donde concurren los capitales adecuados para mantenerlos en operación, con recursos humanos, institucionales y tecnológicos. Están orientados al desarrollo de innovaciones para reconocer proyectos, empresas e instituciones educativas relevantes, financiables con recursos públicos y privados. Por ello son organizaciones diversas que se interrelacionan en un entorno o ecosistema de innovación propicio; en torno a proyectos específicos que les permiten generar procesos de aprendizaje recíproco y organizacional.

La creatividad puede considerarse un recurso que permite transformar el capital intelectual en valor y riqueza; y representa una de las bases de los proyectos, valiosos para la economía del conocimiento. Las propuestas metodológicas empleadas con mayor frecuencia para evaluar el desempeño y productividad de los espacios creativos y estudiar su impacto en el entorno, puede ofrecer un marco de referencia más preciso para su comprensión y definición de los indicadores de la creatividad como una variable objetiva (Feldman, 2001, 2007).

Las investigaciones sobre los procesos de producción de innovación, coinciden en considerarla como una confluencia multivariada de elementos, tanto en su condición dinámica de interacción, como en el tipo y número de ejes (Leydesdorff & Meyer, 2006; Etzkowitz & Leydesdorff, 2000). En este contexto, es común que las distintas disciplinas académicas intenten definir en qué condiciones, con qué tipo de agentes y cómo van a interactuar los elementos en un entorno que facilita la sinergia, denominado ecosistema de innovación. Este ecosistema es al mismo tiempo generador y resultado de la confluencia de políticas públicas que promuevan la producción, gestión y disseminación del conocimiento; de programas académicos institucionales de generación y desarrollo de investigación e innovación; y de la integración de los recursos de la innovación a la producción industrial y el mercado (Moore, 2006; Adner, 2006).

Si el motor de la economía contemporánea está cada vez más integrado a la producción de elevados niveles de riqueza a partir del valor del conocimiento, la posibilidad de desarrollo para las economías emergentes crecerá en función directa de la eficacia de sus políticas públicas para desarrollar capital humano, y que las empresas se oriente sobre la base de la aplicación del conocimiento (Etzkowitz & Klofsten, 2005).

### **3. Metodología para la medición y estimación de la incertidumbre**

#### **3.1. El modelo**

La metodología desarrollada por Leydesdorff et al. (2013) para describir el nivel de interacción de los componentes de un sistema de innovación, incluye tres unidades o núcleos que son regularmente Universidad, Gobierno e Industria. Modifican el segundo teorema de la teoría de la información de Shannon (1948), pensada para sistemas binarios, para establecer el nivel de incertidumbre o entropía de los componentes de un sistema de tres dimensiones, con al menos tres conjuntos de variables

independientes, que permitieran describir la relación de intercambio de información en escalas comprensibles y objetivas.

Elegir una información en particular, depende tanto de la frecuencia de la misma en una secuencia finita, como de su frecuencia relativa en el conjunto de secuencias. Por ello, la medida en una elección  $P_i$  se encuentra en la probabilidad de mantenerse en estado  $i$  y, simultáneamente, en la posibilidad de transitar al estado  $j$ , es decir  $P_i(j)$ , lo que se puede describir de la siguiente forma:

$$P_j = \sum_i P_i p_i(j)$$

A partir de esta representación, Shanon elabora un sistema de medición en términos de rango, con lo que la producción de información se observa en un proceso. Para ello considera un conjunto de posibles eventos  $(p_1, p_2, \dots, p_n)$ , de los que se conocen cada una de las probabilidades de ocurrencia, pero se ignora cuál de ellos ocurrirá. Prever el evento implica conocer el volumen de incertidumbre de cada una de las posibilidades, lo que se expresa como  $H(p_1, p_2, \dots, p_n)$  (Shanon, 1948; MacKay, 2003).

Para cumplir con el cálculo de la incertidumbre se necesitan tres propiedades:

1. Continuidad de  $H$  en  $p_i$ .
2. Si las razones de " $p_i$  son iguales,  $p_i = 1/n$ , la incertidumbre ( $H$ ) deberá ser una función monótonica creciente de  $n$ " (Shanon, 1948, p.10). Ello significa que una mayor cantidad de eventos probables, genera mayor incertidumbre.
3. Si una elección se bifurca en dos elecciones sucesivas, la incertidumbre general deberá ser la suma ponderada de los valores individuales de las incertidumbres individuales.

De estas propiedades se deriva el teorema de la incertidumbre:

$$H = -K \sum_{i=1}^n p_i \log p_i$$

donde  $K$  es una constante de valor positivo y  $H$  es la forma de entropía definida estadísticamente, y  $p_i$  representa la probabilidad de que un sistema se encuentre en la celda  $i$  en un momento específico. La incertidumbre en el caso de dos posibilidades  $p$  y  $q$ , se representa como:

$$H = -(p \log p + q \log q)$$

Sin embargo, para que el teorema de la incertidumbre o entropía funcione en la comprensión de la interacción de un sistema de TH, es necesario modificar al menos dos condiciones de la propuesta de Shanon: (1) extender el modelo de matriz bidimensional a dimensiones adicionales que logren captar selecciones de cada uno de los tres elementos de la Hélice; y (2) abrir la posibilidad de que el resultado de las incertidumbres probabilísticas de cada variable, puedan medirse no sólo en unidades positivas distintas a cero, sino en valores iguales o menores a cero, para mostrar de forma precisa el grado interacción de las variables del sistema (Leydesdorff et al., 2013; Park et al., 2005; Carlsson, 2006; Cohen & Levinthal, 1990).

Leydesdorff retoma la propuesta de información mutua desarrollada por Ulanowicz en 1986, para evidenciar la sistematicidad en al menos tres conjuntos independientes de datos y distinguir el nivel de interacción nacional de las instituciones vinculadas con los sistemas de TH. Para ello empleó las direcciones postales de universidades, industria y gobierno que provee el Índice de Citación Científica (SCI), a lo que llama sinergia, que "es considerada como la reducción de incertidumbre entre las relaciones universidad-Industria-Gobierno" (Leydesdorff et al., 2013, p.13).

La información mutua en más de dos dimensiones puede surgir de la modificación de los teoremas de Shanon tal y como lo hizo Yeung (2008), pero no podrá considerarse una entropía de Shanon, ya que su valor puede expresarse en unidades positivas, negativas o iguales a cero, mientras los valores de Shanon han de ser necesariamente positivos por encima de cero (Theil, 1972). Para Abramson (1963) y McGill (1954), el valor total de esta información mutua o transmisión, es resultado de la sumatoria de la incertidumbre ( $H$ ) de cada variable independiente (universidad ( $u$ ), industria ( $i$ ) y gobierno ( $g$ )), menos la incertidumbre de la información mutua de la combinación de las variables en sólo dos dimensiones (universidad/industria ( $ui$ ), universidad/gobierno ( $ug$ ), industria/gobierno ( $ig$ )), más la incertidumbre de información mutua en las tres dimensiones del sistema (universidad/industria/gobierno), representada en la siguiente forma:

$$T_{XYZ} = H_X + H_Y + H_Z - H_{XY} - H_{XZ} - H_{YZ} + H_{XYZ}$$

El valor de la incertidumbre probabilística para una ( $H_x = -\sum P_x \log_2(p_x)$ ) o más variables ( $H_{xy} = -\sum P_{xy} \log_2(p_{xy})$ ) emplea el logaritmo con base 2 para expresarla en bits de información. Si el valor de transmisión de las entropías probabilísticas ( $TH$ ) es negativo, se traduce como un exceso de redundancia del sistema. Para medir el valor de  $TH$  se utilizan siete variables relevantes: Universidad ( $u$ ), Industria ( $i$ ), Gobierno ( $g$ ), Universidad/Industria ( $ui$ ), Universidad/Gobierno ( $ug$ ), Industria/Gobierno ( $ig$ ) y Universidad/Industria/Gobierno ( $uig$ ).

La incertidumbre estadística o entropía para cada una de las dimensiones, se obtiene utilizando la sumatoria ponderada de la distribución de las unidades de análisis como sigue:

<b>Dimensión</b>	<b>Expresión de entropía</b>
Industria sin relación	$H_i = -\sum_i \log_2 i$
Universidad sin relación	$H_u = -\sum_u \log_2 u$
Gobierno sin relación	$H_g = -\sum_g \log_2 g$
Industria/Universidad	$H_{iu} = -\sum_{iu} \log_2 iu$
Industria/Gobierno	$H_{ig} = -\sum_{ig} \log_2 ig$
Gobierno/Industria	$H_{gu} = -\sum_{gu} \log_2 gu$
Industria/Universidad/Gobierno	$H_{iug} = -\sum_{iug} \log_2 iug$

Este modelo estadístico ha sido utilizado con buenos resultados en estudios que miden la producción científica de un país en proyectos de investigación que utilizan datos de los sistemas de patentes nacionales o de la SCI como unidades de análisis (Ye et al., 2013; Park & Leydesdorff, 2010; Park et al., 2005); y en estudios econométricos donde las unidades de análisis están integradas por empresas segmentadas por su tamaño, clasificación tecnológica y domicilio, que fueron empleados como proxis de las dimensiones económica, tecnológica y gubernamental en Holanda (Leydesdorff et al., 2006), Alemania (Leydesdorff & Fritsch, 2006), Hungría (Lengyel & Leydesdorff, 2011), Noruega (Strand & Leydesdorff, 2013), Suecia (Leydesdorff & Strand, 2013) y Rusia (Perevodchikov et al., 2013).

### 3.2. Los datos

Para probar la utilidad del modelo, se utilizaron datos estadísticos de 2012 relacionados con la actividad económica del sector aeroespacial, debido a la plena disposición de información. Los rubros en que se concentraron fueron: (1) los programas con fondos para la investigación, desarrollo, diseño y producción en el sector aeroespacial civil o militar; (2) el origen institucional de los fondos; y (3) los correos postales de las firmas aeroespaciales y las universidades con programas de ingeniería aeroespacial. De acuerdo a la región del estudio, los datos provienen de las siguientes fuentes:

1. Para el sur de California, del Censo Económico de los Estados Unidos, el Reporte del Gasto Federal, la base de datos de los proveedores del Departamento Defensa de los Estados Unidos y la Agencia Nacional Aeronáutica y Espacial, el Buró para el Análisis Económico de los Estados Unidos, la Asociación de la Sector aeroespacial, la Cámara de Comercio de San Diego, la Cámara de Comercio del condado de Los Angeles, los reportes del Centro Nacional de Estadística para la Ciencia y la Ingeniería de la Fundación de la Ciencia Nacional de los Estados Unidos, así como reportes privados elaborados por Deloitte y AT Kearney. Del presupuesto ejercido por el Departamento de Defensa (Department Of Defense, DOD), sólo se incluyeron los contratos efectuados por el Departamento de la Fuerza Aérea (Department of the Air Force, DOAF), la Agencia de Proyectos de Investigación Avanzada de la Defensa (Defense Advanced Research Projects Agency, DARPA) y la Agencia de Defensa de Misiles (Missile Defense Agency).
2. Para Inglaterra, del Censo Económico del Reino Unido, reporte del Gasto del Reino Unido, reportes del Sistema Aeroespacial británico, la Oficina Europea de Estadística, los reportes privados elaborados por Deloitte y KPMG, los informes generales del presupuesto, así como el reporte de inversiones públicas para investigación y desarrollo de la Cámara de los Comunes.
3. Los reportes anuales disponibles de las firmas industriales dedicadas a la industria aeroespacial en ambos países.
4. Los informes anuales de las Universidades Públicas, Colegios Comunitarios y Universidades Privadas que cuentan con programas académicos relacionados con la industria aeroespacial y proyectos de vinculación, investigación y desarrollo con el sector aeroespacial público y privado en ambos países.

Como criterio de selección de las empresas aeroespaciales, se recurrió a los códigos de identificación de actividades económicas de cada una de las dos regiones, donde mientras la versión norteamericana es más exhaustiva en desagregar las actividades industriales, la nomenclatura europea tiende hacia su generalización.

1. Para el sur de California se utilizó el Sistema de Clasificación Industrial de América del Norte, y se consideraron aquellas empresas con las siguientes actividades: Fabricación de Sistema de Búsqueda, Detección, Navegación, Orientación, Aeronáutica, Náutica e Instrumentos (NAICS 334511); Fabricación de Aviones (NAICS 336411); Fabricación de Motores y Motores para Aeronaves (NAICS 336412); Fabricación de Otras Partes de Aeronaves y Equipos Auxiliares (NAICS 336413); Fabricación de Misiles Guiados y Vehículos Espaciales (NAICS 336414); Fabricación de Unidades de Propulsión Guiada de Misiles y Piezas de Propulsión (NAICS 225415); Fabricación de Otras Partes de Vehículos y Misiles Guiados y de Vehículos Auxiliares (NAICS 226419).
2. Para Inglaterra se usó la Nomenclatura de Actividades Económicas dentro de la Comunidad Europea, seleccionando las empresas cuya principal actividad sea: Fabricación de Aeronaves, Vehículos Espaciales y Maquinaria Relacionada (NACE 30.3.0) y Fabricación de Vehículos Militares de Combate (NACE 30.4.0).

Los datos a considerar para definir la incertidumbre de la información mutua, son: (1) proyectos o contratos de las firmas, universidades y gobierno sin relación con el resto de los componentes de la hélice, (2) contratos del gobierno federal con la industria aeroespacial, (3) subsidios federales a universidades y (4) programas de vinculación entre universidad e industria correspondientes a las dimensiones industria (i), universidad (u), gobierno (g), industria/universidad (iu), industria/gobierno (ig), gobierno/universidad (gu) e industria/universidad/gobierno (iug). Como proxi se utilizó la distribución geográfica (zc), utilizando los códigos postales de la industria, universidad y departamento o agencia federal de la región. Se considera además: (1) que los proyectos de vinculación serán sólo aquellos que aportan fondos públicos o privados para actividades de investigación, desarrollo y/o diseño, así como los contratos públicos o privados para la manufactura de productos finales o partes de productos para el mercado aeroespacial; (2) que los programas universitarios son sólo aquellos programas de ingeniería aeroespacial que cuentan con un plan de estudios propio, de modo que una misma institución puede tener uno o varios programas siguiendo este criterio; (3) que las agencias

gubernamentales son las que operan fondos fiscales federales o estatales, cuyas funciones primarias se relacionan con el sector aeroespacial.

#### 4. Resultados

De los 2,156 contratos, subsidios, proyectos de investigación y desarrollo y proyectos de vinculación de la industria, universidades y gobierno federal de las nueve regiones económicas de California, el porcentaje que corresponde a unidades sin información recíproca son: 14.05% a industria, 0.46% a gobierno y 1.3% a universidades. Los porcentajes correspondientes a binomios de unidades son: 42.53% a gobierno-industria, 25.46% a gobierno-universidad y 11.5% a universidad-industria; y 4.68% corresponde a unidades con relación gobierno-industria-universidad.

**Cuadro 1. Resultados para el Sur de California.**

<b>Programas</b>	<b>#</b>					
Industria sin relación	303					
Gobierno sin relación	10	<b>DOD</b>	<b>NASA</b>	<b>NSF</b>	<b>Univ.</b>	
Universidades sin relación	28	<b>Contratos</b>	<b>Contratos</b>	<b>Subv.</b>	<b>Subv.</b>	<b>Vinculación+ R&amp;D</b>
Gobierno-Industria	917	591	293	29	4	0
Gobierno-Universidad	549	7	5	535	2	0
Universidad-Industria	248	0	0	0	0	248
Gob-Ind-Univ	101	67	0	14	0	20
Suma	2156	665	298	578	6	268

Fuente: Elaboración propia.

De las 332 interacciones de los componentes de la TH en los principales condados del Noroeste de Inglaterra, considerando las mismas fuentes, el porcentaje que corresponde a unidades sin información recíproca son: 31.6% a industria, 1.2% a gobierno y 1.8% a universidades. Los porcentajes correspondientes a binomios de unidades son: 44% a gobierno-industria, 6.6% a gobierno-universidad, 6.9% a universidad-industria; y 7.8% corresponde a unidades con relación gobierno-industria-universidad.

**Cuadro 2. Resultados del Noroeste de Inglaterra.**

<b>Programas</b>	<b>#</b>		
Industria sin relación	105		
Gobierno sin relación	4	<b>Departamento de Negocios, Energía y Estrategia Industrial</b>	<b>Univ.</b>
Universidades sin relación	6	<b>Fondos de financiación</b>	<b>Vinculación+ R&amp;D</b>
Gobierno-Industria	146	146	NA
Gobierno-Universidad	22	22	NA
Universidad-Industria	23	23	NA
Gob-Ind-Univ	26	26	NA
Suma	332		NA

Fuente: Elaboración propia.

El cálculo del valor de la incertidumbre probabilística de cada unidad de análisis, así como el valor de transmisión de todo el sistema de innovación aeroespacial en el Sur de California, estimado por la expresión  $T_{gui} = H_i + H_g + H_u - H_{gi} - H_{gu} - H_{ui} + H_{gui}$  es -0.6639. Esto significa bajos niveles de incertidumbre probabilística (entropía) y altos niveles de interacción entre los componentes del sistema de innovación de TH. Por el contrario, el valor de la incertidumbre probabilística en el Noroeste de Inglaterra, es -0.0530, por lo que su sistema de innovación tiene un menor nivel de interacción.

**Cuadro 3. Valor de la incertidumbre del sistema.**

Programas	Sumatoria $\sum p_i$		Incertidumbre probabilística $(-)\sum p_i \text{Log}_2 p_i$		Unidad de observación
	SCalifornia	NO Inglaterra	SCalifornia	NO Inglaterra	
<b>Industria sin relación</b>	-0.1405	-0.3162	0.3978	0.5252	$H_i$
<b>Gobierno sin relación</b>	-0.0046	-0.0120	0.0359	0.0768	$H_g$
<b>Universidades sin relación</b>	-0.0129	-0.0180	0.0813	0.1046	$H_u$
<b>Gobierno-Industria</b>	-0.4253	-0.4397	-0.5245	-0.5212	$H_{gi}$
<b>Gobierno-Universidad</b>	-0.2546	-0.0662	-0.5025	-0.2594	$H_{gu}$
<b>Universidad-Industria</b>	-0.1150	-0.0692	-0.3588	-0.2668	$H_{ui}$
<b>Gob-Ind-Univ</b>	-0.0468	-0.0783	0.2068	0.2877	$H_{gui}$
<b>Suma</b>	-1	-1	<b>-0.6639</b>	<b>-0.0530</b>	<b><math>T_{gui}</math></b>

Fuente: Elaboración propia.

A mayor detalle, la aportación específica de cada región económica del Sur de California en la interacción entre dos de los tres ejes del modelo, indica que Southern California es la región que mayor interacción tiene en el binomio gobierno-industria, con el 26.25% del total de las relaciones, seguida de Southern Border con 23.97 y Bay Area con el 23.36%. Igual ocurre con la aportación a la interacción entre industria y universidad en Southern California, con el 26.4%, en tanto que Southern Border, con el 24.66% y Bay Area, con el 21.02%, aportan el segundo y tercer mayor nivel de interacción. Del mismo modo ocurre en la interacción del binomio gobierno-universidad, donde Southern California aporta el 32.94% de la interacción total, aunque se invierte la aportación entre Bay Area y Southern Border con el 32.82% y el 20.84% de la interacción. Finalmente, en la interacción de tres ejes del modelo, Bay Area tiene la mayor aportación al sistema con el 33.11% de las interacciones, seguida de Southern California con 29.44% y Southern Border con 24.87%.

En el Noroeste de Inglaterra, Greater Manchester es el condado con la mayor aportación en el binomio Gobierno-Industria, con el 36.5% del total, seguido por Lancashire con 32.8% y Merseyside con 30.75%. Lo mismo ocurre en la interacción Industria-Universidad, donde el clúster más grande de Inglaterra, Greater Manchester, encabeza la participación con 46.1%, mientras que Lancashire lo hace con el 27.4% y Merseyside con el 26.48%. El nivel de relación más estrecha entre Gobierno e Industria la aporta Greater Manchester con 49%, mientras que Merseyside participa con 42.4% y Lancashire con el 8.5%. En la interacción de la TH, es Lancashire el condado con la mayor aportación del conjunto con 45.6%, seguido de Greater Manchester con el 30.32% y Merseyside con 24.08%.

**Cuadro 4. Incertidumbres probabilísticas por región en California NO de Inglaterra.**

Región	Gobierno-Industria		Industria-Universidad		Gobierno-Universidad		Gob-Ind-Univ	
	Entropía	% Pa.	Entropía	% Pa.	Entropía	% Pa.	Entropía	% Pa.
<b>California</b>								
Southern Border	-0.4383	23.97 %	-0.457	24.67 %	-0.3325	20.84 %	-0.3651	24.87 %
Southern California	-0.4801	26.25 %	-0.4893	26.4 %	-0.5255	32.94 %	-0.4322	29.44 %
Central Coast	-0.318	17.39 %	-0.1465	7.9 %	-0.2137	13.4%	-0.1845	12.57 %
Bay Area	-0.4272	23.36 %	-0.3897	21.02 %	-0.5235	32.82 %	-0.4861	33.11 %
Greater Sacramento	-0.1457	7.97 %	-0.371	20.01 %	SC	SC	SC	SC
San Joaquin	-0.0193	1.05 %	SC	SC	SC	SC	SC	SC
<b>Noroeste Inglaterra</b>								
Greater Manchester	-0.5269	36.51 %	-0.1776	27.41 %	-0.4643	49.09 %	-0.2160	30.32 %
Lancashire	-0.4736	32.82 %	-0.2987	46.10 %	-0.0805	8.51 %	-0.3248	45.59 %
Merseyside	-0.4438	30.75 %	-0.1716	26.48 %	-0.4010	42.39 %	-0.1716	24.08 %

NOTAS: Gob-Ind-Univ: interacción entre Gobierno, Industria y Universidad.

% Ap: porcentaje de participación del total de interacciones.

SC: sin casos suficientes como para que sea relevante.

Fuente: Elaboración propia.

## 5. Discutiendo la interacción en sistemas de innovación de TH eroespacial

De acuerdo a lo planteado en la revisión de literatura y la metodología, los resultados menores, incluyendo los números negativos, son indicativo de mayores niveles de entropía, que reducen la incertidumbre en los procesos de interacción de las unidades analizadas. Ambos sistemas de TH del Sur de California y del Noroeste de Inglaterra, obtuvieron entropías negativas, -0.6639 y -0.0530 respectivamente, lo que significa que ambos tienen niveles de incertidumbre reducidos y, por tanto, sus procesos de circulación del recurso humano, información y productos son óptimos, de acuerdo con estimaciones realizadas en otras regiones (Strand & Leydesdorff, 2013; Pervodchikov et al., 2013; Leydesdorff & Strand, 2013; Lengyel & Leydesdorff, 2011; Leydesdorff et al., 2006; Leydesdorff & Fritsch, 2006).

**Cuadro 5. Comparación de entropías en sistemas regionales de innovación.**

Unidades de análisis	Incertidumbres Probabilística	
	Sur de California	Noroeste de Inglaterra
Industria sin relación	<b>0.3978</b>	0.5252
Gobierno sin relación	<b>0.0359</b>	0.0768
Universidades sin relación	<b>0.0813</b>	0.1046
Gobierno-Industria	<b>-0.5245</b>	-0.5212
Gobierno-Universidad	<b>-0.5025</b>	-0.2594
Universidad-Industria	<b>-0.3588</b>	-0.2668
Gob-Ind-Univ	<b>0.2068</b>	0.2877
Suma	<b>-0.6639</b>	<b>-0.0530</b>

Fuente: Elaboración propia.

En la comparación de incertidumbre, el sistema de innovación aeroespacial inglés tiene niveles de incertidumbre significativamente superiores al de California. En dos de los tres condados que forman parte de este estudio, la entropía tiene valores positivos, por lo que los niveles de incertidumbre en el sistema son elevados, aún cuando el sistema regional en general se mantiene dentro de los parámetros con valores inferiores a cero. Al comparar el valor de las incertidumbres de las Unidades de Análisis de cada uno de estos sistemas, en el Noroeste de Inglaterra todas las unidades sin relación tienen valores más altos de incertidumbre que las del sistema californiano. Esto se explica por el menor número de organizaciones e interacciones que participan en el proceso de innovación. Al ser California el centro aeroespacial más grande del mundo, la cantidad de firmas y universidades es significativamente más alto que Inglaterra.

En el caso de los programas gubernamentales, en Estados Unidos se operan mediante fondos públicos por separado, entre los que se incluye el Departamento de Defensa (DOD), la Agencia Aéreo Espacial Nacional (NASA) y la Fundación Nacional para la Ciencia (NSF). Por su parte, el gobierno inglés concentra todos los recursos en un solo fondo administrado por el Departamento de Negocios, Energía y Estrategia Industrial (BEIS), incluidos aquellos recursos del Ministerio de Defensa. La reducción del número de participantes e interacciones, explica que California tenga niveles de incertidumbre más bajos que Inglaterra en las interacciones Universidad-Industria, Industria-Gobierno, y una diferencia particularmente alta en Universidad-Gobierno.

Los fondos gubernamentales para investigación y desarrollo de la industria aeroespacial en el Sur de California, provienen tanto de contratos directos del DOD y la NASA, como de subsidios para la investigación otorgados por la NSF y la NASA, lo que incrementa y diversifica el número de participantes e interacciones. Adicionalmente, las universidades estatales del Sur de California desarrollan programas de vinculación con el sector privado. Esto les ha permitido organizar Centros de Investigación con líneas de investigación orientadas a resolver problemas particulares de la industria.

En el sistema de innovación del Noroeste de Inglaterra, la interacción más sólida es la del binomio Industria-Gobierno, debido a que los fondos para subsidios y contratos operados por el BEIS, se gestionan en forma directa y en su gran mayoría (80%) con las industrias, siendo éstas las que definen si los desarrollos se realizarán con la participación de las Universidades. El país tiene recursos del Departamento de Educación, dedicado al fortalecimiento de los programas educativos y la investigación en las Universidades apoyando proyectos e infraestructura escolar para el desarrollo de programas de investigación y desarrollo. En consecuencia, estos centros de investigación financiados no requieren de fondos concurrentes privados, por lo que la interacción Universidad-Industria representa una de las áreas de oportunidad que empiezan a aprovecharse en Reino Unido.

## **6. Conclusiones**

Al comparar la interacción entre las tres Unidades de Análisis, Universidad-Industria-Gobierno, se observa que en el Noroeste de Inglaterra tienen mayores niveles de incertidumbre que en el Sur de California. Solo Greater Manchester tiene valores negativos de entropía, por lo que en ese condado el proceso de interacción es substancialmente más eficiente que en el resto de la región. Esto permite mantener los valores óptimos de incertidumbre en el resto del sistema de innovación inglés. Esto es resultado de la dinámica establecida por los CI de las Universidades del condado, los proyectos de investigación y desarrollo, así como los programas de vinculación con la industria, lo que permite que las Universidades puedan atraer recursos que ajustan el proceso de interacción a valores más eficientes del proceso de innovación de TH.

En el caso de California, todas las regiones económicas tienen niveles reducidos de entropía, por lo que los procesos de interacción son adecuados al ciclo de innovación planteado. De acuerdo con estos valores, la circulación de recursos humanos, información y productos, está integrada de forma más eficiente. Los programas de prácticas en la industria incluyen la concurrencia de académicos

vinculados, no sólo con los procesos de formación de estudiantes, sino a proyectos de investigación. A este recurso humano se le promueve para realizar estancias parciales o totales en las firmas del sector, lo que permite desarrollar capital humano con las competencias óptimas para interactuar eficientemente en las tres hélices, identificar de forma directa las problemáticas en la interacción y proponer soluciones.

En ambos casos, los procesos de intercambio de información entre las hélices son muy eficientes y mantienen canales intra e inter institucionales abiertos, efectivos y seguros para la aglomeración, disposición y análisis de datos necesarios para la toma de decisiones. No obstante, los resultados son diferenciados. Esto sugiere que debido a la dinámica de la industria aeroespacial, la evolución de la tecnología para el desarrollo de productos y servicios finales, y la sofisticación de los procesos de producción, este trabajo debe considerarse como un insumo para explorar nuevas metodologías que permitan complementar sus alcances en una perspectiva de sistemas regionales de innovación, que involucre más que los componentes asociados a la triple hélice, a partir de mejorar los sistemas de información necesarios para ello.

Los resultados no ofrecen un índice que permita medir el desempeño absoluto de la TH y predecir su evolución o resultados. Sin embargo, facilita el desarrollo de parámetros que describen el estado del modelo en un momento específico en el tiempo. Para mejorarlo, sería necesario anualizar mediciones como la presente, para entender los procesos evolutivos que dan razón al modelo inicial propuesto por Leydesdorff & Etzkowitz (1998), y cómo han influido las políticas públicas en la industria, la transformación de la dinámica académica, el avance del campo de investigación y los requerimientos del mercado.

Por otro lado, es necesario avanzar en procedimientos complementarios que ayuden a predecir el comportamiento de la evolución del modelo y permitan un desarrollo más armonioso y dinámico del proceso de producción de innovaciones. Al respecto se están explorando procedimientos de mínimos cuadrados ordinarios y se empiezan a desarrollar metodologías para la investigación de redes que faciliten la comprensión de los sistemas de interacción y circulación, dentro y fuera del ecosistema (Leydesdorff et al., 2013, 2017).

Conviene insistir en ajustar las unidades de análisis, para evitar la asimetría en la disposición de la información entre los distintos países y regiones. Mientras el código industrial utilizado en Norteamérica (NAIC), es más exhaustivo al desglosar actividades industriales y de servicios, los códigos europeos (NACE) o internacional de la OMC, suelen ser mucho más generales en su sistema de clasificación. Durante la Conferencia Internacional de la Triple Hélice celebrada en Manchester en 2019, Loet Leydesdorff revisó los resultados descritos en este trabajo y expresó lo preocupante que resulta la insuficiencia o poca disponibilidad de las bases de datos necesarias para hacerlo en países en vías en desarrollo. A futuro, será la mejora en la información y en su disponibilidad, la que permita avanzar en la investigación sobre la interacción en los sistemas de innovación.

## Referencias

- Abramson, N. (1963). *Information theory and codin*. Nueva York: McGraw-Hill.
- Adler, P. (2001). Market, Hierarchy, and Trust: The Knowledge Economy and the Future of Capitalism. *Organization Science*, 12, 15-234.
- Adner, R. (2006). Match Your Innovation Strategy to Your Innovation Ecosystem. *Harvard Business Review*, 4(84), 1-11.
- Aghion, P. & Howitt, P. (1990). A Model of Growth Through Creative Destruction. *NBER Working Paper Series*, 2, 323-351. <https://doi.org/10.2307/2951599>

- Avaro, D. (2011). Ciencia, universidades e investigadores: agendas, desafíos y prácticas, Ciencia, universidades e investigadores: agendas, desafíos y prácticas. <http://www.cloud.7tres.com/P037b.pdf>
- Carlsson, B. (2006). *Internationalization of Innovation Systems: A Survey of the Literature*, Conference in honor of Keith Pavitt: What Do We Know about Innovation? Sussex, UK: Science & Technology Policy Research. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0048733305001757>
- Castells, M.C. (2006). *The network society: From knowledge to policy*. Washington, DC: Johns Hopkins Center for Transatlantic Relations.
- Cohen, W.M., & Levinthal, D. A. (1990). Absorptive capacity: A new perspective on learning and innovation. *Administrative science quarterly*, 1(35), 128-152. <https://doi.org/10.2307/2393553>
- David, P.A., & Foray, D. (2002). An introduction to the economy of the knowledge society. *International Social Science Journal*, 171(54), 9-23. <https://doi.org/10.1111/1468-2451.00355>
- Dosi, G., Marengo, L., & Fagiolo, G. (2003). Learning in evolutionary environments. *LEM Working Paper Series*.
- Etzkowitz, H. (2003). Innovation in Innovation: The Triple Helix of University-Industry-Government Relations. *Social Science Information*, 3(42), 293-337.
- Etzkowitz, H., & Klofsten, M. (2005). The innovating region: toward a theory of knowledge-based regional development. *R&D Management*, 3(35), 243-255. <https://doi.org/10.1111/j.1467-9310.2005.00387.x>
- Etzkowitz, H., & Leydesdorff, L. (2000). The dynamics of innovation: from National Systems and Mode 2 to a Triple Helix of university–industry–government relations. *Research Policy*, 2(29), 109-123.
- Etzkowitz, H., & Ranga, M. (2010). A Triple Helix system for knowledge-based regional development: from spheres to spaces, VIII Triple Helix Conference (pág. 129), Triple Helix Association.
- Etzkowitz, H., & Zhou, C. (2007). Regional innovation initiator: the entrepreneurial university in various triple helix models, Triple Helix 6th Conference theme paper, Singapore, Singapur.
- Feldman, J.M. (2001). Towards the post-university: Centres of higher learning and creative spaces as economic development and social change agents. *Economic and Industrial Democracy*, 1(22), 99-142. <https://doi.org/10.1177/0143831X01221005>
- Feldman, J.M. (2007). The managerial equation and innovation platforms: the case of Linköping and Berzelius science park. *European Planning Studies*, 8(15), 1027-1045. <https://doi.org/10.1080/09654310701448162>
- Hauge, A. (2008). Knowledge economies: innovation, organization and location by Wilfred Dolfsma. *Journal of Economic Geography*, 9, 285-287. <https://doi.org/10.1093/jeg/lbn037>
- Hermens, F. (1941). Democracy or anarchy? A study of proportional representation. Notre Dame: Review of politics, University of Natre Dame.

- Human Sciences and Technologies Advanced Research Institute (2011). The Triple Helix concept | Triple Helix IX International Conference 11-14 July 2011. <http://www.triplehelixconference.org/th/9/the-triple-helix-concept.html>
- Islam, R. (2010). Human capital composition, proximity to technology frontier and productivity growth. *Department of Economics, discussion paper*, 10(23), 1-41.
- Ivanova, I.A., & Leydesdorff, L. (2014). Rotational symmetry and the transformation of innovation systems in a Triple Helix of university-industry-government relations. *Technological Forecasting and Social Change*, 86, 143-156. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2013.08.022>
- Lengyel, B., & Leydesdorff, L. (2011). Regional innovation systems in Hungary: the failing synergy at the national level. *Regional Studies*, 5(45), 677-693. <https://doi.org/10.1080/00343401003614274>
- Leydesdorff, L., & Etzkowitz, H. (1998). The triple helix as a model for innovation studies. *Science and public policy*, 3(25), 195-203.
- Leydesdorff, L., & Fritsch, M. (2006). Measuring the knowledge base of regional innovation systems in Germany in terms of a Triple Helix dynamics. *Research Policy*, 10(35), 1538-1553. <https://doi.org/10.1016/j.respol.2006.09.027>
- Leydesdorff, L., & Meyer, M. (2006). Triple Helix indicators of knowledge-based innovation systems: Introduction to the special issue. *Research Policy*, 10(35), 1441-1449. <https://doi.org/10.1016/j.respol.2006.09.016>
- Leydesdorff, L., & Strand, Ø. (2013). The Swedish System of Innovation: Regional Synergies in a Knowledge Based Economy. *Journal of the Association for Information Science and Technology*, 9(64), 1890–1902. <https://doi.org/10.1002/asi.22895>
- Leydesdorff, L., Dolfsma, W., & Van der Panne, G. (2006). Measuring the knowledge base of an economy in terms of triple-helix relations among technology, organization, and territory. *Research Policy*, 2(35), 181-199. <https://doi.org/10.1016/j.respol.2005.09.001>
- Leydesdorff, L., Etzkowitz, H., Ivanova, I., & Meyer, M. (2017). The Measurement of Synergy in Innovation Systems: Redundancy Generation in a Triple Helix of University-Industry-Government Relations, *SPRU Working Paper Series*, 1-52. <https://doi.org/10.2139/ssrn.2937647>
- Leydesdorff, L., Park, H.W., & Lengyel, B. (2013). A routine for measuring synergy in university–industry–government relations: mutual information as a Triple-Helix and Quadruple-Helix indicator. *Scientometrics*, 1(99), 27-35. <https://doi.org/10.1007/s11192-013-1079-4>
- Lowe, C.U. (1982). The triple helix-NIH, industry, and the academic world. *The Yale Journal of Biology and Medicine*, 3(5), 239-246.
- MacKay, D.J. (2003). *Information theory, inference and learning algorithms*. Cambridge University press.
- Martin-de-Castro, G.L. (2008). Processes of knowledge creation in knowledge-intensive firms: Empirical evidence from Boston's Route 128 and Spain. *Technovation*, 4(28), 222-230. <https://doi.org/10.1016/j.technovation.2007.10.002>
- McGill, W.J. (1954). Multivariate information transmission. In Transactions of the IRE Professional Group on Information Theory. *Psychometrika*, 19, 97-116. <https://doi.org/10.1109/TIT.1954.1057469>

- Moore, J. (2006). Business ecosystems and the view from the firm. *Antitrust Bulletin*, 1(51), 51-75.
- Park, H.W., & Leydesdorff, L. (2010). Longitudinal trends in networks of university–industry–government relations in South Korea: The role of programmatic incentives. *Research Policy*, 5(39), 640-649. <https://doi.org/10.1016/j.respol.2010.02.009>
- Park, H.W., Hong, H.D., & Leydesdorff, L. (2005). A comparison of the knowledge-based innovation systems in the economies of South Korea and the Netherlands using Triple Helix indicators. *Scientometrics*, 2(25), 3-27. <https://doi.org/10.1007/s11192-005-0257-4>
- Perevodchikov, E., Uvarov, A., & Leydesdorff, L. (2013). Measuring synergy in the Russian innovation system, 12th international conference about the triple helix of university-industry-government relations. Londres.
- Peters, L., & Etzkowitz, H. (1990). University-industry connections and academic values. *Technology in Society*, 4(12), 427-440. [https://doi.org/10.1016/0160-791X\(90\)90013-3](https://doi.org/10.1016/0160-791X(90)90013-3)
- Powell, W., & Snellman, K. (2004). The Knowledge Economy. *Annual Review of Sociology*, 30, 199-220. <https://doi.org/10.1146/annurev.soc.29.010202.100037>
- QS World University Rankings (2014). QS World University Rankings by Subject 2014-Engineering-Mechanical, Aeronautical & Manufacturing. Top Universities. QS World University Rankings.
- Ranga, M., & Etzkowitz, H. (2013). Triple Helix systems: an analytical framework for innovation policy and practice in the Knowledge Society. *Industry and Higher Education*, 4(27), 237-262. <https://doi.org/10.5367/ihe.2013.0165>
- Rohrbeck, R., Hölzle, K., & Gemünden, H.G. (2009). Opening up for competitive advantage. How Deutsche Telekom creates an open innovation ecosystem. *R&D Management*, 4(39), 420-430. <https://doi.org/10.1111/j.1467-9310.2009.00568.x>
- Sabato, J., Makenzie, M., Brown, L., Mosher, A., Murmis, M., Bengoa, J., et al. (1982). La producción de tecnología: autónoma o transnacional. Mexico, D.F.: Instituto Latinoamericano de Estudios Transnacionales.
- Schumpeter, J.A. (1934). *Essays of JA Schumpeter*. Boston: Adisson -Wesley Press.
- Shanon, C. (1948). A mathematical theory of communication. *The Bell systems technical journal*, 27, 379-423. <https://doi.org/10.1002/j.1538-7305.1948.tb01338.x>
- Strand, Ø., & Leydesdorff, L. (2013). Where is synergy indicated in the Norwegian innovation system? Triple-Helix relations among technology, organization, and geography. *Technological Forecasting and Social Change*, 3(80), 471-484. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2012.08.010>
- Theil, H. (1972). *Statistical decomposition analysis with applications in the social and administrative sciences (4)*. Londres, Inglaterra: London North-Holland.
- Ye, F.Y., Yu, S.S., & Leydesdorff, L. (2013). The Triple Helix of University Industry Government Relations at the Country Level, and its Dynamic Evolution under the Pressures of Globalization. *Journal of the American Society for Information Science and Technology*, 11(64), 2317-2325. <https://doi.org/10.1002/asi.22931>
- Yeung, R.W. (2008). *Information theory and network coding*. New York: Springer Science & Business Media.