

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA
Facultad de Economía y Relaciones Internacionales
Programa de Doctorado en Estudios del Desarrollo Global



TESIS:
“MODELO COMPARADO DE TRIPLE HÉLICE EN LA INDUSTRIA
AEROSPAIAL DE ESTADOS UNIDOS E INGLATERRA”

PARA OBTENER EL GRADO DE
DOCTOR EN ESTUDIOS DEL DESARROLLO GLOBAL

PRESENTA:
ARMANDO GUTIÉRREZ ORTEGA

DIRECTOR DE TESIS
DR. ALEJANDRO MUNGARAY LAGARDA

Tijuana, Baja California, noviembre de 2018

Agradecimientos:

A la Universidad Autónoma de Baja California y sus autoridades por permitirme ser parte del Programa de Doctorado en Estudios del Desarrollo Global.

A los profesores y tutores del Programa de Posgrado por su dedicación y esfuerzo.

A la Dra. Patricia Moctezuma Hernández por su ejemplo, generosidad, dedicación y entrega.

Al Dr. Alejandro Mungaray Lagarda por su asesoría, su trabajo exhaustivo, responsabilidad y ayuda en todo el proceso final del Proyecto de Tesis y titulación.

A las autoridades de la Facultad de Ciencias Humanas, en especial al Dr. Adolfo Soto Curiel y la Dra. Rosa Heras Modad, por su ayuda y las facilidades que me permitieron concluir este programa.

Dedicatoria:

A mi esposa Eva; por su amor, confianza, generosidad, esfuerzo y paciencia.

Cómplice azul y compañera de vida.

A mis hijos, Montserrat y Alejandro, por permitir que su papá continuara como estudiante en esta aventura. Su amor será siempre mi motor.

A mi mamá, Norma; por su ímpetu, fuerza y ejemplo. Amiga que llenó mi vida de amor incondicional.

A mi abuela, Ana; por toda su generosidad y amor. Sus historias aún resuenan en mi memoria e impulsan mi imaginación.

A mi hermano, Abel; por su amor, amistad sin límites y ejemplo de vida.

A mi papá, Armando; por su ejemplo y consejos.

Al Dr. Santos López Leyva; por llevarme al fascinante mundo de la innovación y la Triple Hélice.

A Patricia Moctezuma, mi asesora original; por su ejemplo de vida, generosidad y amor.

A Alejandro Mungaray, mi director de tesis; por sus consejos, su entrega responsable y asesoría. Difícilmente este proyecto habría encontrado conclusión sin su ayuda.

A mis estudiantes, por su paciencia. Motivo profundo de mi confianza en el talento de la juventud.

1. Introducción

A partir del estudio de la relación entre Universidad, Industria y Gobierno en dos modelos regionales de innovación, se describirán y definirán sus mecanismos de interacción y la forma en que esto contribuye en la formación del capital humano relacionado con los procesos de producción, investigación y desarrollo de innovaciones para el sector aeroespacial.

Los proyectos de investigación que utilizan el modelo de Triple-Hélice para entender los procesos de interacción en los sistemas de innovación aeroespacial, se concentran en el conjunto de variables de información mutua generadas por alguna de las tres hélices del modelo; aunque reconocen que un sistema regional de innovación requiere la confluencia de recursos y capitales que suelen no abordarse a profundidad en los trabajos de investigación subsecuentes.

Si bien es fundamental definir con la mayor precisión y objetividad posible la intensidad en la interacción entre las tres hélices, la descripción estadística debería poder correlacionarse con elementos de índole cualitativo que permitan entender a mayor profundidad el papel que otros elementos del modelo tiene en los sistemas de innovación, como es el caso del capital humano.

De esta forma, aunque las bases fundamentales de este proyecto son la teoría evolucionaria y la teoría de Triple Hélice, será necesario incluir elementos de la teoría del capital humano para elaborar una visión más precisa sobre la influencia que las tres hélices tienen la configuración del capital humano de las personas que se desempeñan dentro del sistema innovación.

Se eligieron dos regiones. El sur de California en los Estados Unidos y Sur/Sureste de Inglaterra debido a tres razones: (a) el número de Universidades mejor colocadas en el ranking de programas de ingeniería aeroespacial están ubicadas en

estas regiones (“QS World University Rankings by Subject 2014 - Engineering - Mechanical, Aeronautical & Manufacturing | Top Universities”, 2014); (b) son ecosistema de innovación cuyos resultados son ejemplos paradigmáticos globales de la interacción universidad-industria-gobierno en el sector aeroespacial; (c) representan polos internacionales de atracción y desarrollo de proyectos de R&D+d así como de concurrencia de fondos gubernamentales orientados a la generación de innovación.

La primera parte del estudio consiste en describir y analizar los componentes de estos dos modelos de triple hélice y definir por región el grado de interacción entre Universidad-Industria-Gobierno que permite a cada uno controlar los niveles de incertidumbre del proceso de innovación. Para esto se utilizará el procedimiento propuesto por Leydesdorff, Park y Lengyel (2013) para determinar la entropía probabilística en la información mutua entre dos o más variables. De esta forma será posible comparar el tipo de sinergia que resulta cuando la Hélice Industria o la Hélice Gobierno asumen el rol de liderazgo en un sistema regional de innovación.

Posteriormente se establecerá cómo esta interacción configura el perfil de competencias del capital humano que participa en los proyectos de innovación del sistema, estableciendo cuál es el conjunto de competencias que más se desarrollan, cómo inciden en el sistema y cuáles son las expectativas en la evolución de las competencias del capital humano. Para ello se utilizará la matriz de análisis del estudio desarrollado por Blom y Saeki (2011). Con esto se busca definir el grado de dependencia de las competencias del capital humano del sistema en relación con el nivel de interacción de las tres hélices del modelo de innovación regional de Triple-Hélice.

1.1. Justificación

Las condiciones históricas, económicas, políticas y socioculturales del Sur de California y Lancashire Inglaterra, han consolidado a estas regiones como polos de innovación de la sector aeroespacial más relevantes y paradigmáticos en el mundo. Los sistemas de innovación desarrollados en ambas regiones poseen cualidades particulares, producto de dinámicas diferenciadas, que han llevado a desarrollar de forma paralela el proceso de desarrollo y producción de innovación. Independientemente a estas especificidades, la capacidad de expansión y rentabilidad de las empresas basadas en el conocimiento, depende significativamente de su relación con instituciones académicas que las proveen de tres recursos fundamentales: (a) capital humano competente; (b) conocimiento basado en la investigación; y (c) proyectos específicos para el desarrollo de la innovación (Islam & others, 2010; Dosi, Marengo, & Fagiolo, 2001; Etzkowitz & Leydesdorff, 2000). Esto es consecuente con los niveles de calificación internacional, las funciones, alcances e influencia de las Universidades asentadas en estas regiones.

En este contexto es necesario identificar los mecanismos de interacción que configuran y mantienen redes de colaboración entre Universidad, Industria y Gobierno, en beneficio de la formación, integración y permanencia de profesionistas en un mercado laboral con altos niveles de exigencia respecto a sus competencias y elevados índices de expansión; y como una forma de incidir positivamente en el desarrollo sostenido de sistemas regionales de innovación.

El proyecto de investigación beneficia a:

1. Egresados de los programas universitarios contratados por las firmas del sector de la innovación aeroespacial, pues permite reconocer aquellos mecanismos implementados por la institución educativa para el desarrollo de un capital humano en armonía con las necesidades específicas para el sostenimiento y expansión del sector.

2. Firmas dedicadas a la innovación aeroespacial, al identificar las prácticas que transfieran parcialmente los procesos de formación y capacitación del capital humano hacia los programas académicos universitarios; además les permitirá evaluar aquellos proyectos que facilitan el intercambio de información con la universidad.

3. Universidades, ya que la evaluación de proyectos específicos de interacción con la industria le brinda referencias sobre el estado actual del campo del conocimiento, así como las necesidades y perspectivas a futuro del sector, lo que le permitirá renovar eficientemente sus programas y proyectos institucionales.

4. Gobierno, otorgándole información que le permitirá valorar el impacto que tiene su participación en fondos dedicados al financiamiento de proyectos de vinculación entre universidad e industria para el desarrollo de un sistema de innovación regional.

1.3. Objetivos

El objetivo general del proyecto es explicar las dinámicas de causalidad que la interacción entre Universidad-Industria-Gobierno provoca en la conformación del capital humano de los ingenieros contratados por la industria de la innovación aeroespacial en dos sistemas de innovación.

Esta investigación tiene cinco objetivos específicos:

1. Identificar y describir de forma general cada uno de los elementos que integran el sistema de innovación regional en un modelo de triple hélice en dos sistemas regionales de innovación.

2. Demostrar el grado de sinergia en la interacción entre Universidad, Industria y Gobierno en el año 2012 en cada uno de los dos sistemas regionales de innovación de triple hélice propuestos; tomando las siguientes variables: (a) los proyectos de investigación, desarrollo y diseño para el sector aeroespacial; (b) los

fondos y contratos gubernamentales para proyectos de investigación, desarrollo y diseño; (b) la ubicación geográfica de las firmas aeroespaciales involucradas.

3. Vincular el grado de interacción entre las hélices Universidad, Industria y Gobierno, con la configuración de las competencias del capital humano que incide en los procesos de innovación en estos sistemas regionales de innovación de la sector aeroespacial.

4. Proponer mejoras a los sistemas de movilidad de recursos informativos y humanos entre universidad, industria y gobierno.

5. Comparar las condiciones particulares de desarrollo de dos modelos de innovación regional y el papel que estos tienen en la formación de capital humano acorde a las proyecciones de desarrollo de la sector aeroespacial global, para proponer lineamientos generales de un sistema de innovación industrial bajacaliforniano que brinde oportunidades de desarrollo para los egresados, las universidades y la región en el mediano y largo plazo.

1.4. Planteamiento de problema

Explicar y evaluar la interacción entre Universidad-Industria-Gobierno y el efecto que tiene en la configuración de las competencias del capital humano en dos sistemas de regionales de innovación de la sector aeroespacial.

¿De qué manera influye la interacción entre Universidad, Industria y Gobierno en la configuración de las competencias del capital humano de dos sistemas regionales de innovación en la sector aeroespacial?

Se proponen las siguientes preguntas de investigación

1. ¿Cómo es la sinergia entre Universidad, Industria y Gobierno en los sistemas regionales de innovación del sector aeroespacial en el sur de California y Lancashire, Inglaterra?

2. ¿Cómo influye la interacción entre Universidad, Industria y Gobierno en la configuración del repertorio de competencias del capital humano de un sistema de innovación regional del sector aeroespacial?

1.5 Resumen del contenido general de los capítulos del proyecto de investigación.

El capítulo 2 define el contexto general de la industria aeroespacial global, para posteriormente describir las condiciones generales en los Estados Unidos y California.

En el capítulo 3 se presenta la revisión de la literatura de las dos perspectivas teóricas que dan sustento al proyecto de investigación: (1) las principales perspectivas de la Teoría del Capital Humano y (2) el modelo para determinar la entropía en sistemas de innovación regional de Triple Hélice.

En el capítulo 4 se detalla la metodología del presente proyecto y se ofrecen los resultados de la aplicación del modelo para determinar el grado de entropía de los dos sistemas regionales que forman parte del estudio.

El capítulo 5 ofrece las conclusiones comparativas del presente proyecto, así como los límites y alcances del mismo.

Contexto

2. El mercado aeroespacial

Desde la perspectiva de los Estados Unidos hay tres tendencias en el mercado aeroespacial global:

1. La primera tendencia está integrada por una combinación cambiante de ventas civiles y militares. A partir del 2012 las ventas globales empezaron a ser cada vez más importantes para los fabricantes aeroespaciales de estadounidenses, ya que buscaron crecer y diversificar su base de clientes. Aunque los envíos globales de sistemas aeroespaciales civiles fueron aproximadamente iguales a los envíos militares en 2010, en los siguientes cinco años, cerca del 86% de las exportaciones aeroespaciales fueron en productos civiles (U.S. Department of Commerce, 2011). Sin embargo esto tuvo una modificación en 2015, aunque las exportaciones de productos y servicios militares aeroespaciales han representado un porcentaje menor de las exportaciones aeroespaciales totales en los últimos años, es probable que se vuelvan más importantes a medida que disminuya el gasto en defensa de los Estados Unidos.
2. La segunda tendencia se relaciona con la creciente demanda de productos y servicios aeroespaciales en los mercados emergentes; la tasa de crecimiento anual promedio de las exportaciones aeroespaciales civiles a los mercados consolidados en los últimos 20 años ha rondado entre el 5 y 10%, mientras que la tasa de crecimiento de las exportaciones civiles a los mercados emergentes ha sido aproximadamente del 50%. Esos niveles de demanda en estos mercados han continuado y posiblemente incluso aumentaran hasta la primera mitad de la siguiente década.

3. La tercera tendencia involucra la creciente capacidad de los nuevos participantes en la comunidad global de fabricación aeroespacial. A menudo se mencionan a Rusia y China, pero también comienzan a aparecer nuevas regiones.

Aunque estas tendencias están sujetas a cambios debido a las condiciones políticas y económicas del entorno, se puede proyectar que es muy probable que continúen como hasta ahora; esto intensificará la batalla por la participación en el mercado mundial y desafiará las posturas convencionales sobre cómo competir en una industria que ya depende de los altos niveles de colaboración transfronteriza.

2.1. Exportaciones aeroespaciales de EE. UU

Las exportaciones de estadounidenses de productos y piezas aeroespaciales alcanzaron su máximo nivel en 2007 con \$97 mil millones de dólares, casi el doble de la década anterior (ver Tabla 8); pero a partir de 2008 empezaron a disminuir. Aún así, son las exportaciones las que continúan brindando a la industria nuevas oportunidades de crecimiento y expansión, lo que se suma una base de clientes diversificada tanto geográficamente como económicamente, lo que amortiguó el impacto de la recesión en algunos sectores de la industria aeroespacial.

Tabla 8. 20 países líderes en recepción de exportaciones de productos y partes aeroespaciales estadounidenses

País	Valor en millones de dólares estadounidenses					% De cambio	% En exportaciones mundiales
	2006	2007	2008	2009	2010		
Mundo	76,400	84,763	85,681	84,478	81,052	6	100
Francia	6,430	7,712	7,326	8,655	7,239	13	9
Reino Unido	5,513	6,615	7,152	6,085	5,995	9	7
China	4,841	5,223	3,917	5,344	5,766	19	7
Alemania	4,362	5,261	5,677	5,515	5,407	24	7
Canadá	5,285	6,799	7,245	5,700	5,359	1	7
Japón	5,954	6,532	6,703	5,700	5,297	-11	7
Brasil	3,273	4,352	5,568	4,681	4,421	35	5
Singapur	4,314	3,717	3,902	2,974	3,878	-10	5
Corea del Sur	3,669	3,495	2,712	2,026	2,648	-28	3
Turquía	1,174	730	1,409	1,240	2,465	110	3
Emiratos Árabes	4,080	2,629	2,775	3,507	1,812	-56	2
Indonesia	146	396	543	910	1,727	1081	2

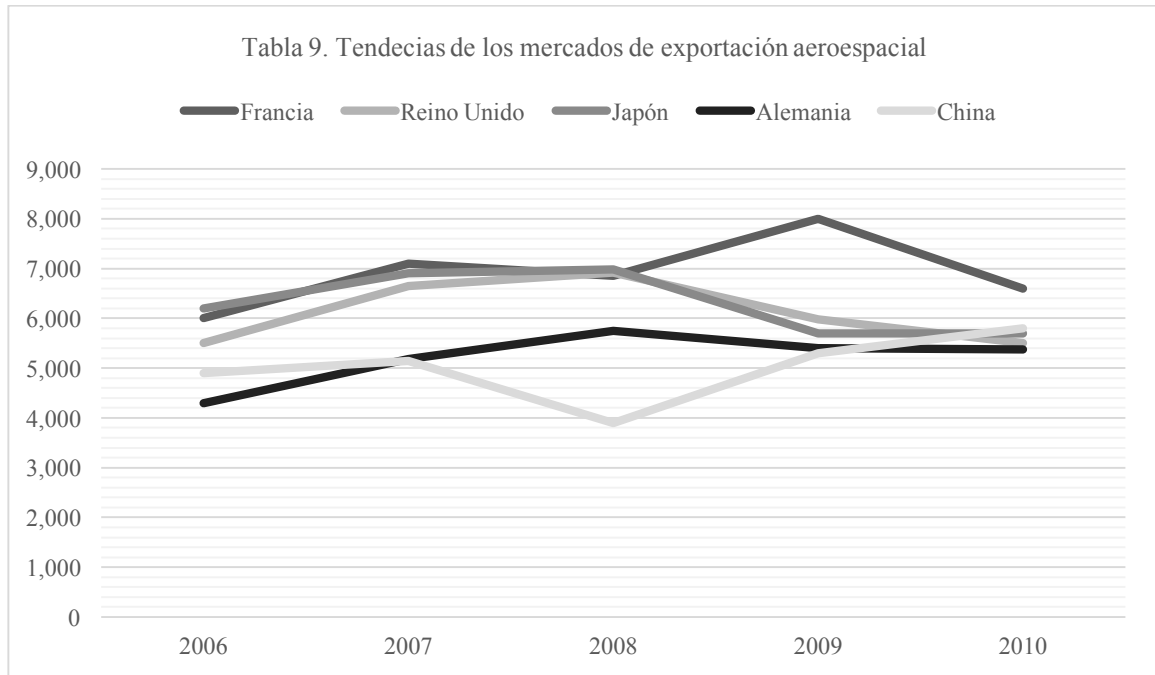
Irlanda	1,206	1,434	1,389	1,903	1,717	42	2
Qatar	158	500	742	1,366	1,702	974	2
Australia	1,526	1,218	1,749	1,797	1,637	7	2
México	1,817	1,210	1,530	1,657	1,617	-11	2
Holanda	1,932	1,781	1,974	1,847	1,529	-21	2
Hong Kong	567	1,263	1,177	2,199	1,408	148	2
Taiwán	1,460	1,517	1,176	806	1,358	-7	2
India	1,449	3,707	1,863	2,302	1,318	-9	2

Fuente: TradeStats Express, International Trade Administration, Departamento de Comercio de Estados Unidos

En 2010, veinte países compraron aproximadamente el 80% del total de las exportaciones aeroespaciales de Estados Unidos. Entre estos, los principales cinco mercados de exportación fueron Francia, el Reino Unido, China, Alemania y Canadá. Esta fue la primera aparición de China entre los cinco primeros, desplazando del lugar que Japón ocupaba desde al menos 4 décadas. Los mercados de más rápido crecimiento para los productos aeroespaciales de Estados Unidos fueron Indonesia, Qatar, Hong Kong, Turquía, Irlanda y Brasil.

La tabla 9 ilustra que Entre los principales mercados de exportación aeroespacial la demanda aumentó en Francia y China entre 2008 y 2009, mientras que la demanda en la mayoría de los principales mercados de exportación disminuyó debido a la recesión mundial. De 2009 a 2010, las exportaciones aeroespaciales a Francia disminuyeron, las exportaciones a Alemania, Japón y el Reino Unido se mantuvieron relativamente estables, mientras que las exportaciones a China siguieron aumentando.

Dado que el PIB crece más rápidamente en los países emergentes que en las economías industrializadas, es probable que las ventas de productos y servicios aeroespaciales estadounidenses a mercados emergentes crezcan más rápido que las ventas a los mercados de economías consolidadas, lo que representa nuevas oportunidades para los fabricantes y proveedores de servicios.



Fuente: Departamento de Comercio de los Estados Unidos. *Cifras en millones de dólares

2.2. La creciente importancia de las exportaciones aeroespaciales militares

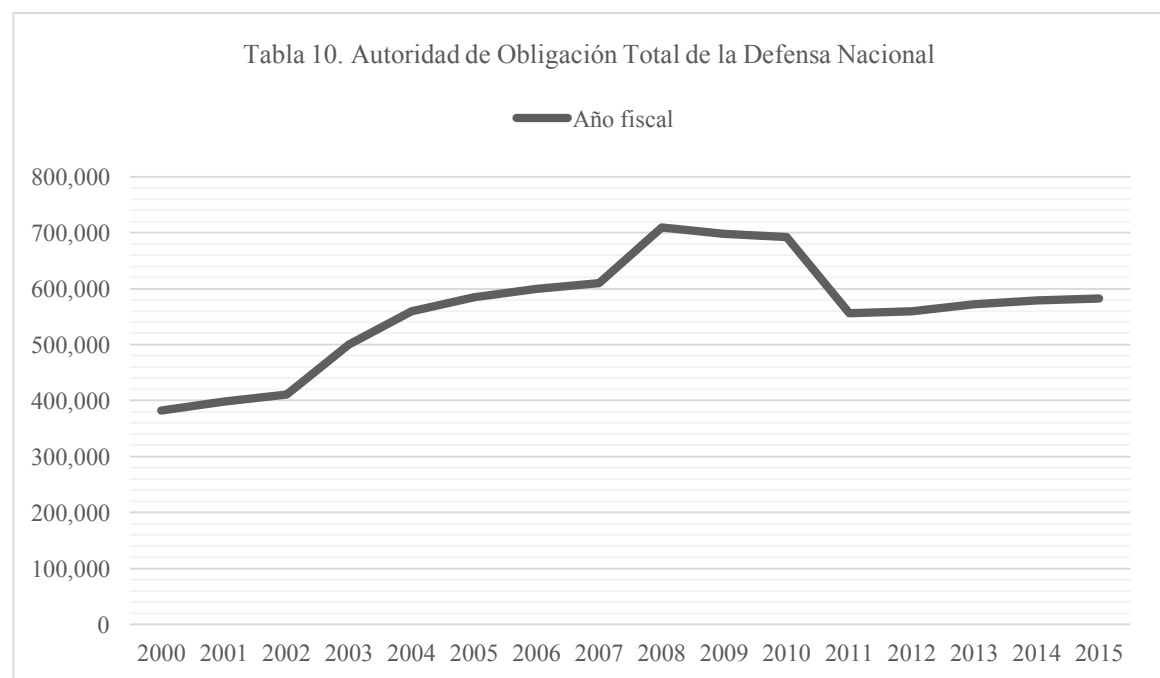
A partir de 2012 las ventas militares en el exterior empezaron a representar un canal adicional para los fabricantes y proveedores de servicios aeroespaciales de Estados Unidos, considerando que el gasto mundial en armamento es significativo. Estados Unidos lidera el mundo en términos del monto total de inversión en defensa, aunque gasta mucho menos como porcentaje del PIB que muchos otros países. De hecho, cuando se mide con respecto al PIB, el nivel de gastos de defensa nacional en los Estados Unidos generalmente se clasifica en el lugar 24 o 25, dependiendo de la metodología utilizada (Central Intelligence Agency, 2012).

El Banco Mundial informó que en 2009, aproximadamente el 2.6 por ciento del PIB mundial se destinó a gastos de defensa (The World Bank, 2012), mientras que aproximadamente \$1.6 miles de millones de dólares se gastaron en el ejército en 2010 (Ringstrom, 2010). Aunque Estados Unidos lidera el mundo en gastos absolutos, la tasa de crecimiento del gasto militar en China y Rusia ahora excede la tasa de

crecimiento en los Estados Unidos (Stockholm International Peace Research Institute, 2014).

La solicitud ejecutiva de presupuesto del año fiscal 2012 del Departamento de Defensa de Estados Unidos fue programada 5% por debajo de la solicitud de presupuesto de 2011. Una gran parte de la reducción fue el resultado de la reducción de tropas en Iraq (Anselmo, 2011). Aunque también hubo recorte en adquisiciones. En consecuencia, a menos que haya un cambio importante que afecte los intereses de seguridad de los Estados Unidos, es probable que la demanda militar de productos aeroespaciales disminuya en el futuro cercano.

La tabla 10 destaca las reducciones planificadas en la Autoridad de Obligación Total del Departamento de Defensa (TOA) durante los próximos años.



Fuente: Presupuesto Nacional de Defensa. *Cifras en millones de dólares EUA

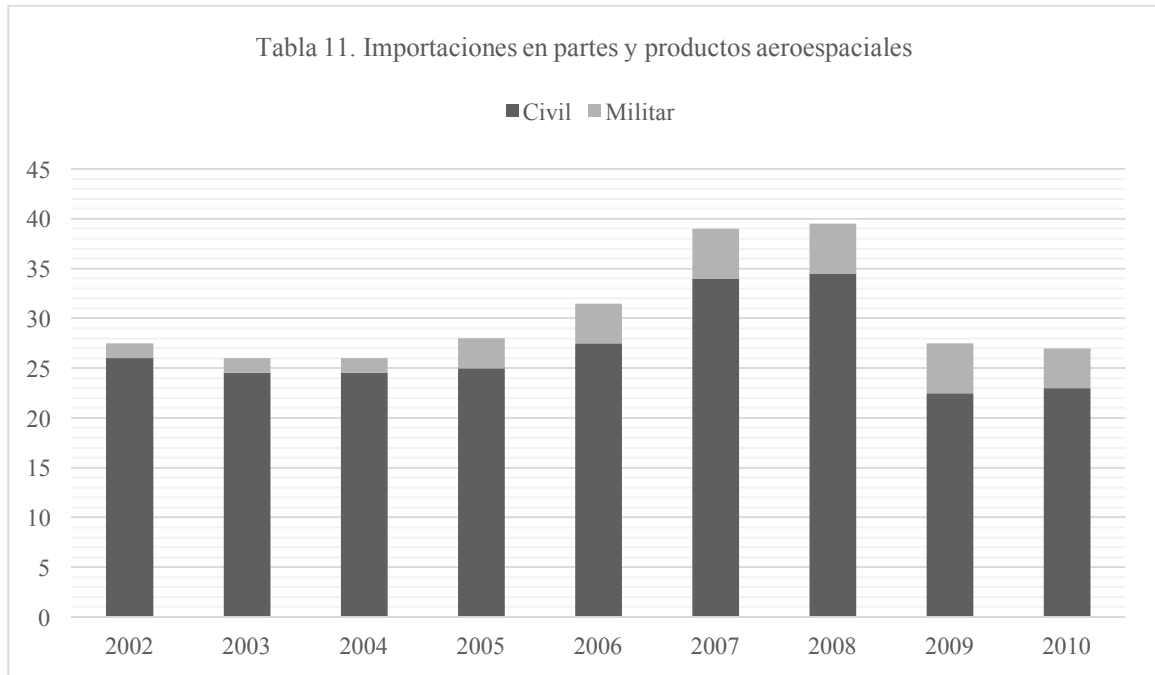
El impacto esperado de las reducciones en el gasto de defensa de Estados Unidos tuvo efectos importantes pero pudo ser mitigado parcialmente por el aumento de la demanda en el exterior. Los conflictos en Medio Oriente y el Norte de África

pueden limitar la demanda de actualizaciones y nuevos sistemas en el corto plazo, pero se estima que las regiones gastarán más de \$63 mil millones hasta 2020.⁸

Arabia Saudita, por ejemplo, planea actualizar 70 F-15 existentes y comprar 84 nuevos aviones G-F-15 SA, 70 helicópteros AH-64D Apache Longbow, 72 helicópteros UH-60 Blackhawk, 36 helicópteros de ataque ligero AH-6i y 12 Helicópteros de entrenamiento ligero MD-530F: por unos \$ 60 mil millones repartidos en varios años. India anunció planes para comprar 10 C-17 Globemaster III en más de \$ 4 mil millones, 9 Emiratos Árabes Unidos planea gastar al menos \$ 1 mil millones en la terminal de defensa de área de gran altitud (THAAD) interceptores de defensa de misiles avanzados, 10 e Israel está contemplando la compra de 100 F-35 Lightning II por un total de al menos \$5 mil millones.¹¹

Estados Unidos casi duplicó sus ventas militares extranjeras en 2011 con casi \$46 mil millones de dólares (Syafputri, 2011). La demanda de aviones como el F-15, F-16, F-35, C-130J y C-17 ayudaron sostener el sector de defensa aeroespacial a medida que los presupuestos nacionales se hacen más estrictos en los próximos años. Del mismo modo, la demanda extranjera de sistemas de defensa antimisiles, aeronaves aéreas no tripuladas y otros sistemas tomó fuerza en el periodo 2010-2014.

2.3. Importaciones aeroespaciales de EE. UU. Las importaciones aeroespaciales de Estados Unidos disminuyeron en 2009 después de cinco años de sólido crecimiento. Sin embargo, las importaciones aeroespaciales aumentaron en 2010 debido a que la producción de muchas de las aeronaves más dependientes de las importaciones se mantuvo estable.



Fuente: Departamento de Comercio de Estados Unidos. *Cifras en miles de millones de dólares EUA

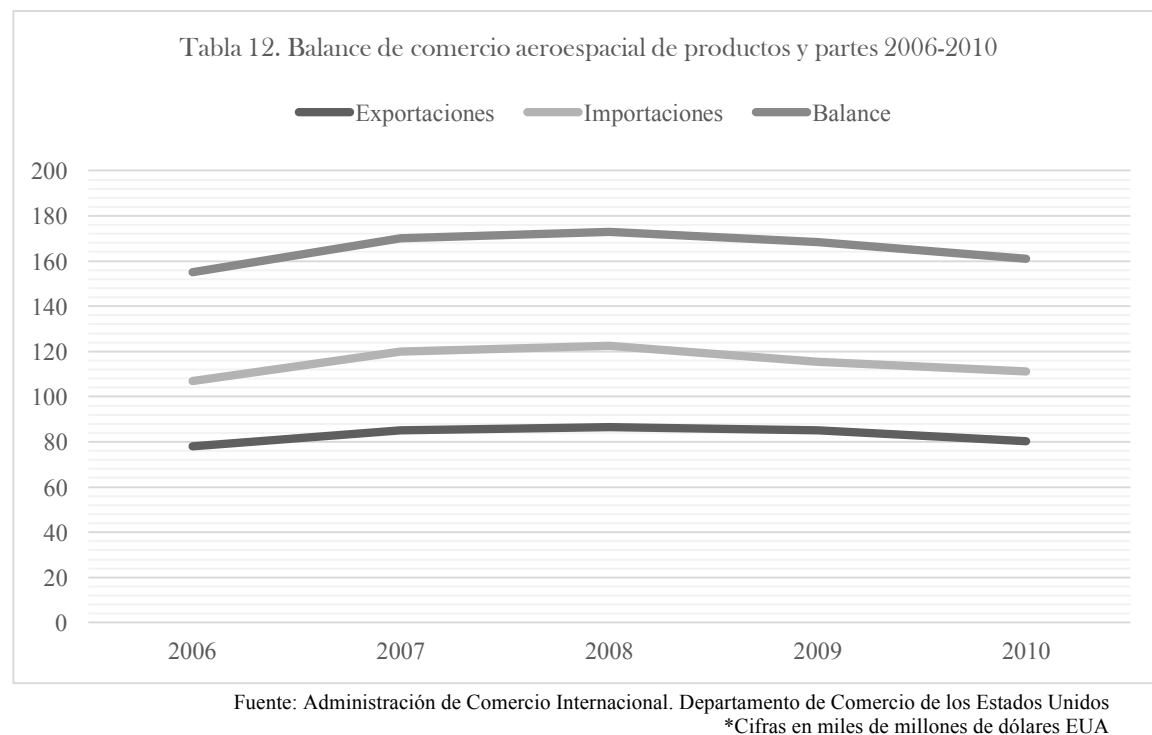
En 2010, Estados Unidos importó la mayoría de los productos y partes aeroespaciales de Francia, Canadá, el Reino Unido, Japón y Alemania. De 2006 a 2010, los países en esta lista que aumentaron las exportaciones a los Estados Unidos con mayor porcentaje fueron México, Rusia, China, Turquía e Italia, respectivamente.

Estados Unidos ha tenido un superávit en la balanza comercial de productos y partes aeroespaciales durante más de 50 años, con una tasa de crecimiento generalmente positiva. Si bien las exportaciones disminuyeron en 2009 y 2010, el saldo comercial global de productos y partes aeroespaciales se mantuvo relativamente estable, Tabla 12).

Resalta el hecho de que la balanza comercial de los Estados Unidos está sostenida principalmente por aviones, motores y partes. Si bien varias clasificaciones agrícolas mantienen superávits comerciales, la industria aeroespacial tiene una importante ventaja sobre otros grupos manufactureros.

Con base en los principales 20 socios comerciales en 2010, casi el 56% de la balanza comercial positiva de Estados Unidos en el sector aeroespacial fue con

naciones de mercados emergentes; en donde casi el 21% provino del comercio con Brasil, India y China. Rusia, el otro país BRIC, no llegó a ser uno de los 20 principales socios comerciales.



2.4. Principales productos finales del mercado aeroespacial

2.4.1. Demanda creciente de aviones comerciales. La demanda mundial de jets ejecutivos y vuelos comerciales está correlacionada con la creación de riqueza que, a su vez, es impulsada en gran medida por el crecimiento económico. En el World Wealth Report 2010, Merrill Lynch y Cap Gemini estiman que la población mundial de individuos de alto valor neto, es decir, personas con activos tendrá incrementos sostenidos hasta el año 2025. Históricamente, estos usuarios y las corporaciones privadas han representado aproximadamente el 75% de las ventas de espacios en aviones comerciales y, por lo tanto, representan un mercado objetivo. En el futuro, gracias a las perspectivas económicas positivas, se puede proyectar una mayor demanda de aviones comerciales; sin embargo, la tasa de crecimiento de la

demanda de aviones de negocios podría ser más lenta en comparación con la de aviones comerciales de gran tamaño y aviones regionales.

El segmento de los grandes aviones comerciales (LCA) está marcado por la rivalidad entre dos compañías: Airbus y Boeing. Sin embargo, en el largo plazo este duopolio puede enfrentar desafíos ya que nuevos participantes buscan mermar la cuota de mercado de estas empresas. Las ofertas rusas, chinas y japonesas pueden comenzar a erosionar parte del mercado de los jugadores tradicionales, particularmente en los mercados nacionales.

Se esperaba que la competencia de Bombardier con su serie C de 100 asientos en el extremo inferior del segmento, así como de los nuevos jugadores que se concentran en (1) naves con capacidad inferior a 100 asientos, o bien, (2) empresas ubicadas en el extremo superior del mercado de alto volumen con aviones de cuerpo estrecho. Sin embargo, Boeing y Airbus han desarrollado y producido modelos de aeronaves de reemplazo que pueden contrarrestar cualquier amenaza a largo plazo, como es el caso del A380 y B787.

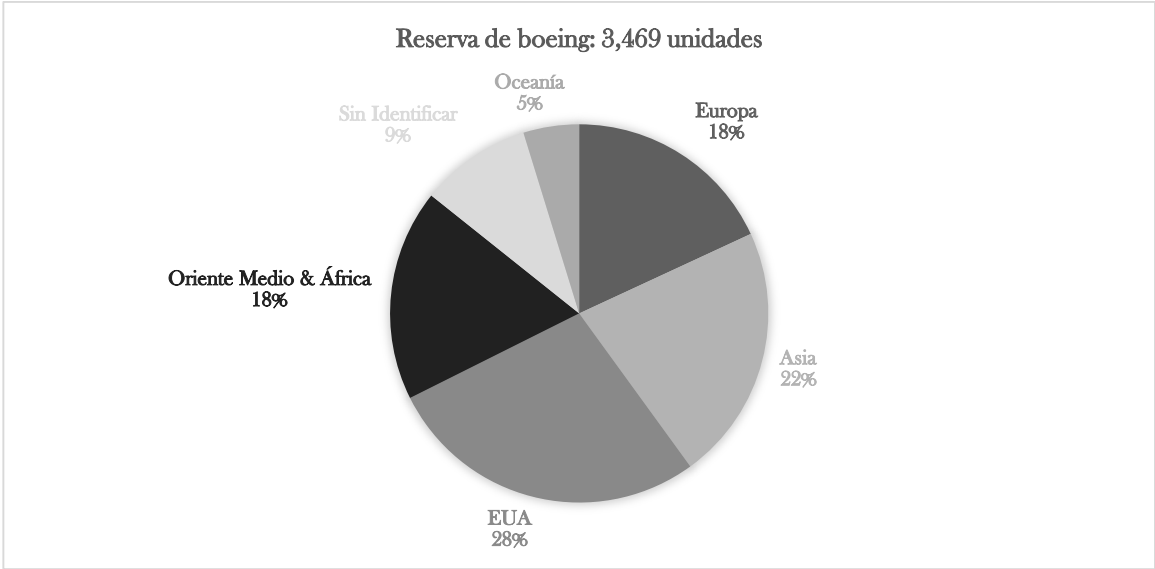
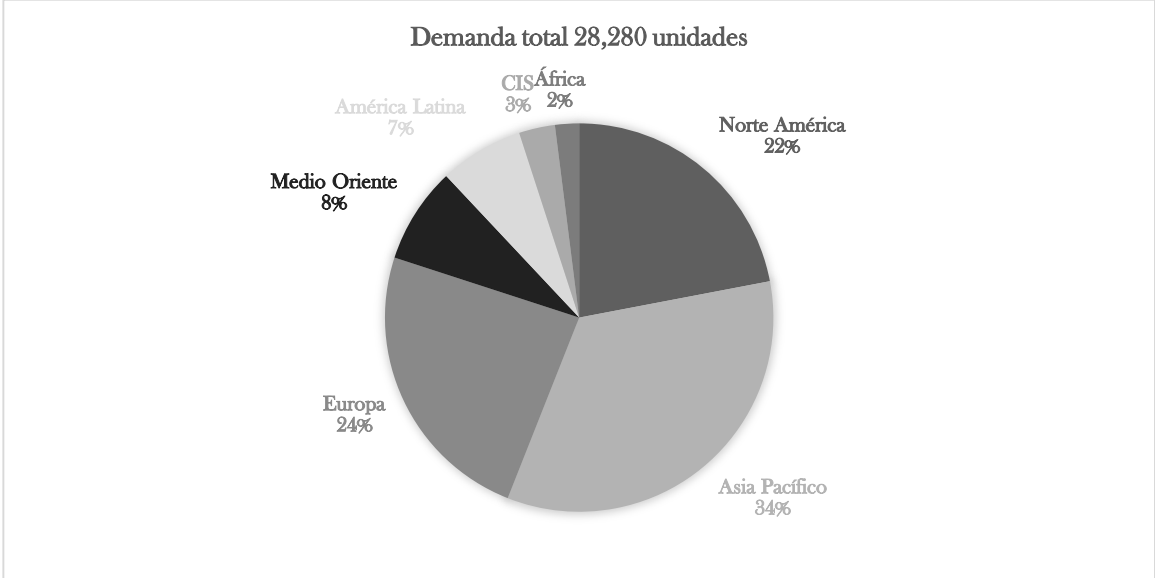
Aunque el 2009 fue un año difícil para el segmento LCA con una caída significativa en los nuevos pedidos en comparación con los dos años anteriores tanto para Boeing como para Airbus. Sin embargo, lograron mantenerse resistentes a pesar de la desaceleración y mantuvieron su tasa de producción gracias al gran retraso de pedidos acumulado a lo largo de los años (especialmente durante el ciclo 2005-07). La cartera de producción combinada para ambas compañías actualmente se sitúa en torno a los siete años, teniendo en cuenta la acumulación total de alrededor de 6,825 aeronaves y la tasa de construcción anual prevista de alrededor de 950 aviones.

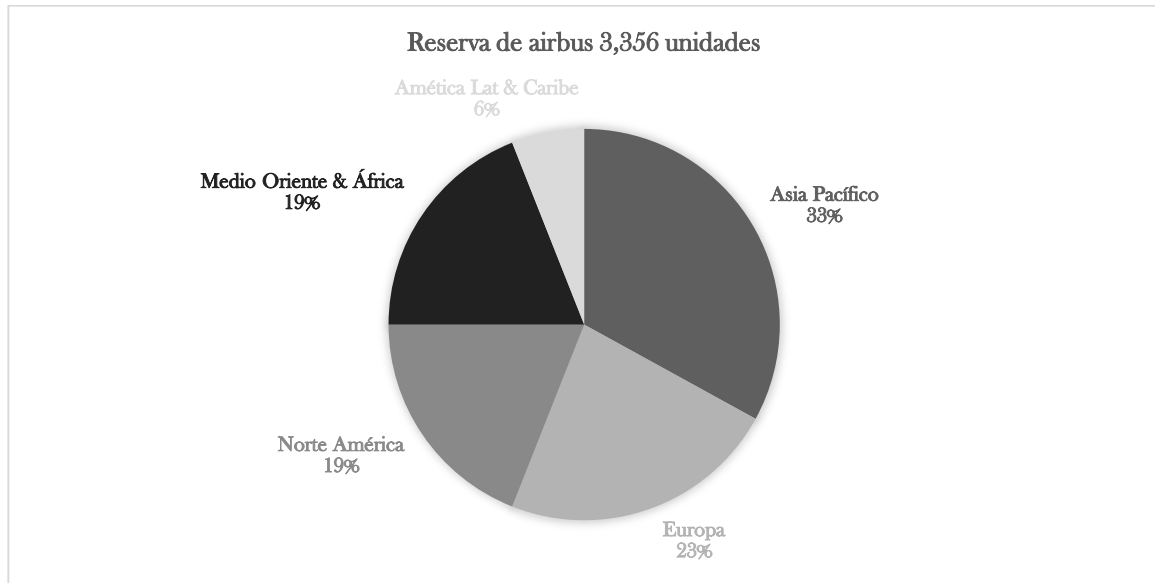
Boeing, en su pronóstico para el mercado 2010-2029 espera una demanda de 28,980 nuevas aeronaves con un valor de alrededor de 3,530 millones de dólares en

los próximos 20 años. Se espera que esta demanda sea impulsada por las economías emergentes debido a las condiciones económicas favorables, lo que impactará en el creciente número de pasajeros de transporte aéreo. En términos de región el 34% de esta demanda se concentrará en Asia-Pacífico, mientras que América del Norte y Europa contribuirán con el 22 y el 24 por ciento, respectivamente. Se prevé que el rápido crecimiento del servicio aéreo dentro de China y otras economías emergentes, junto con la expansión de los modelos de negocios de los operadores de bajo costo (LCC) en todo el mundo, impulsarán aún más esta demanda.

Nuevas empresas tienen posibilidades de participar en los mercados nacionales o regionales debido al acumulado de los pedidos pendientes de ambas compañías; mientras que los atrasos solían estar concentrados en los mercados maduros como Estados Unidos, estos empiezan a ubicarse en las economías emergentes que han experimentado un crecimiento sostenido, con una mayor demanda de viajes aéreos y con solicitudes de nuevas aeronaves. Por otro lado, la demanda de aeronaves de América del Norte y Europa se orientará hacia equipos de bajo consumo de combustible durante los próximos 20 años. La demanda también se derivará de la necesidad de renovar las flotas en estos mercados. La otra área importante de la aviación comercial son los jets regionales, que está dominado por Bombardier y Embraer. Los jets regionales se consideran típicamente aviones comerciales de transporte a reacción con menos de 100 asientos. Sin embargo, esta definición está siendo cuestionada ahora ya que los grandes aviones regionales como los Embraer E190 y E195 y los Bombardier CRJ-900/1000, con una capacidad de hasta 130 pasajeros, se acercan cada vez más a las ofertas más pequeñas de productos Boeing y Airbus.

Tabla 13. Orden de pedidos por región/ Boeing y Airbus (2010-2029)





Fuentes Boeing, Airbus

La demanda en el segmento de aviones regionales vino de la categoría de aviones de 60-120 plazas, ya que ofrecen una mayor capacidad de pasajeros y menores costos de operación por asiento disponible. En el periodo 2000-2010, las naves de 20 a 59 plazas eran el componente más grande dentro del segmento de jets regionales, pero la transformación de la demanda de servicios de la aviación comercial las convirtió en productos muy limitados, de esta modificación en el volumen de pasajeros surgió la necesidad de reemplazar naves obsoletas.

En línea con esta expectativa, ambos fabricantes de jets regionales se empezaron a enfocar en modelos de aviones más grandes. Embraer y Bombardier tienen ofertas en la categoría de más de 100 asientos, que tradicionalmente había estado dominada por Boeing y Airbus. La serie de jets Embraer E, que comprende E170/175/190/195, puede transportar hasta 120 pasajeros. Del mismo modo, la serie Bombardier C, que comprende CS100/300, puede transportar hasta 130 pasajeros.

Los reportes de Embraer corroboraron aún más el importante crecimiento que tuvo lugar en el segmento de grandes jets regionales. La serie de aviones E190 Embraer, que puede albergar hasta 114 pasajeros, representó el 70%, 185 aviones, de

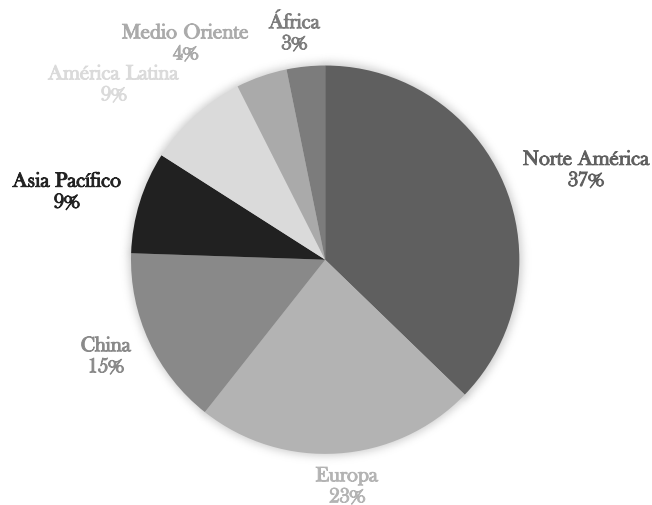
la cartera total de la compañía de 265 aviones al final de 2009 justo al arranque del periodo de recuperación de la rentabilidad de la aviación comercial.

Además, se puede presenciar una mayor competencia en este mercado, con el desarrollo de aviones regionales en cada vez más firmas constructoras y con la aparición de nuevos proyectos en China, Rusia y Japón. El Bombardier C Series y el Mitsubishi MRJ se lanzaron en 2008 y 2009, y el Sukhoi Superjet 100 y el Avic ARJ-21 se subieron a nivel de grandes jets comerciales durante este período, aumentando drásticamente la competencia en el mercado de 80-130 asientos. Sukhoi anunció el Superjet 100 para competir en el mercado de 100 asientos. Sin embargo, pese al impulso inicial, los pedidos para Sukhoi y ARJ-21 se han limitado a sus países de origen o en áreas de influencia comercial como Europa del Este en el caso de Sukhoi y los países asiáticos en el caso del ARJ-21, lo que limita la competitividad de estas firmas y el rompimiento del duopolio de los dos grandes fabricantes de aeronaves.

Embraer en su pronóstico de mercado 2010-2029 anticipa una demanda regional de aviones de aproximadamente 6,875 aeronaves para los próximos 20 años con un valor estimado de \$200 mil millones de dólares. Esto comprende la demanda de 3,495 nuevas aeronaves para la expansión y 3,380 aeronaves de reemplazo. El 93%, 6,400 aviones, de esta demanda son jets regionales grandes que tienen una capacidad de asientos en el rango de 60-120.

Los Estados Unidos han sido generalmente el mercado más grande para entregas de aviones regionales. América del Norte, con una participación esperada del 35% en nuevas entregas, se mantiene en su posición dominante; pero Europa y Rusia con 28% de participación y China con 14% empiezan a configurarse como los próximos grandes mercados en términos de entregas de jets regionales, a pesar de que su cuota de mercado combinada será menor que la de América del Norte.

Tabla 14. Demanda regional de jets (2010-2029)



Fuente: Embraer

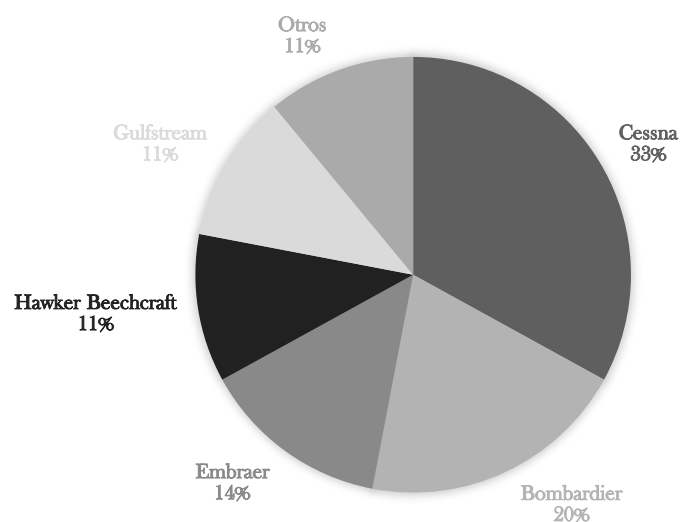
2.4.2. Jets empresariales. El segmento de aviones comerciales es el segmento más sensible desde el punto de vista económico para la industria aeroespacial civil, ya que la demanda y el uso de aviones comerciales están directamente vinculadas con el rendimiento, la capacidad empresarial y el clima económico. Este segmento fue el más afectado por la recesión de 2008 en comparación con los segmentos de grandes comerciales y jets regionales. La recesión tuvo un impacto significativo que condujo a cancelaciones de pedidos y una caída en las tasas de construcción en todos los principales fabricantes.

Los envíos de jets ejecutivos en todo el mundo disminuyeron de 1,313 aeronaves en 2008 a 870 aeronaves en el 2009, un descenso neto del 34%. De hecho, la industria de aviones comerciales privados se vio tan afectada por la recesión que las cancelaciones excedieron los pedidos brutos en 2009 y generaron pedidos netos negativos, significativamente reduciendo los pedidos atrasados en las compañías y como resultado retrasando sus entregas de aeronaves. Los atrasos de los fabricantes de aviones comerciales cayeron desde su punto más alto de 3,000 unidades en 2008 a alrededor de 1,300 unidades para el 2009.

El segmento de jets empresariales incluye firmas como Cessna, Bombardier, Dassault, Gulfstream, Embraer y Hawker-Beech. Cessna históricamente ha dominado este mercado con una participación promedio del 35% de los envíos de jets ejecutivos a nivel mundial en el periodo 1999-2009. Bombardier es el segundo gran participante con un promedio de 21% de los pedidos de jets ejecutivos durante el mismo período.

El conjunto de aviones comerciales privados a nivel mundial en 2009 era de 14,200 aeronaves y se prevé que mantenga una tasa de crecimiento anual del 3.6% para 2029 hasta llegar a aproximadamente 29,000 aeronaves. Durante el período 2000-2009, se colocaron en el mercado 6,500 aviones comerciales, con la expectativa de que este número puede aumentar a 10,500 en 2019 y 15,500 en 2029. Se espera que la colocación total de aviones jet en términos de valor casi se duplique a \$254 millones de dólares en 2019 en comparación con los \$127 millones del 2009. Geográficamente, se espera que en el periodo 2010-2019 América del Norte con el 42% y Europa con el 24% de participación impulsen la demanda mundial. Además, se anticipa que China e India incrementen la demanda con una solicitud anticipada de 600 y 325 jets ejecutivos, respectivamente.

Tabla 15. Participación en el mercado de jets empresariales (2009)



Fuente: GAMA

2.4.3. Mercado de helicópteros. Los helicópteros juegan un papel muy importante no sólo en el transporte, sino también en la construcción, el reabastecimiento, la búsqueda y rescate, y las aplicaciones militares. La recesión también dio un golpe al segmento de helicópteros provocando una caída en su crecimiento hasta llegar al 7% en 2008 y de 5.7% en 2009, comparado con el crecimiento de dos dígitos del 2007.

Los principales actores en el mercado de helicópteros son Eurocopter, Agusta Westland (AGW), Bell Helicopter, Sikorsky, McDonnell Douglas Helicopter Systems (MDHI) y los sistemas Boeing Rotorcraft.

El mercado de helicópteros civiles está actualmente dominado por un par de empresas: Eurocopter y AGW. La participación en el mercado civil de Eurocopter ha sido relativamente estable desde 2005 (ligeramente por encima del 50 por ciento). Por otro lado, el mercado de helicópteros militares tiene una configuración diferente, con Sikorsky dominando la escena con alrededor del 31% de participación, seguido de Eurocopter con cerca del 21% de participación.

En el mercado de helicópteros civiles, Europa es el líder mundial con firmas como Eurocopter y Agusta Westland. Eurocopter es el mayor fabricante europeo de helicópteros y un líder del mercado mundial en la categoría civil del sector. En todo el mundo, hay más de 10,000 helicópteros de Eurocopter que operan para unos 2,800 clientes.

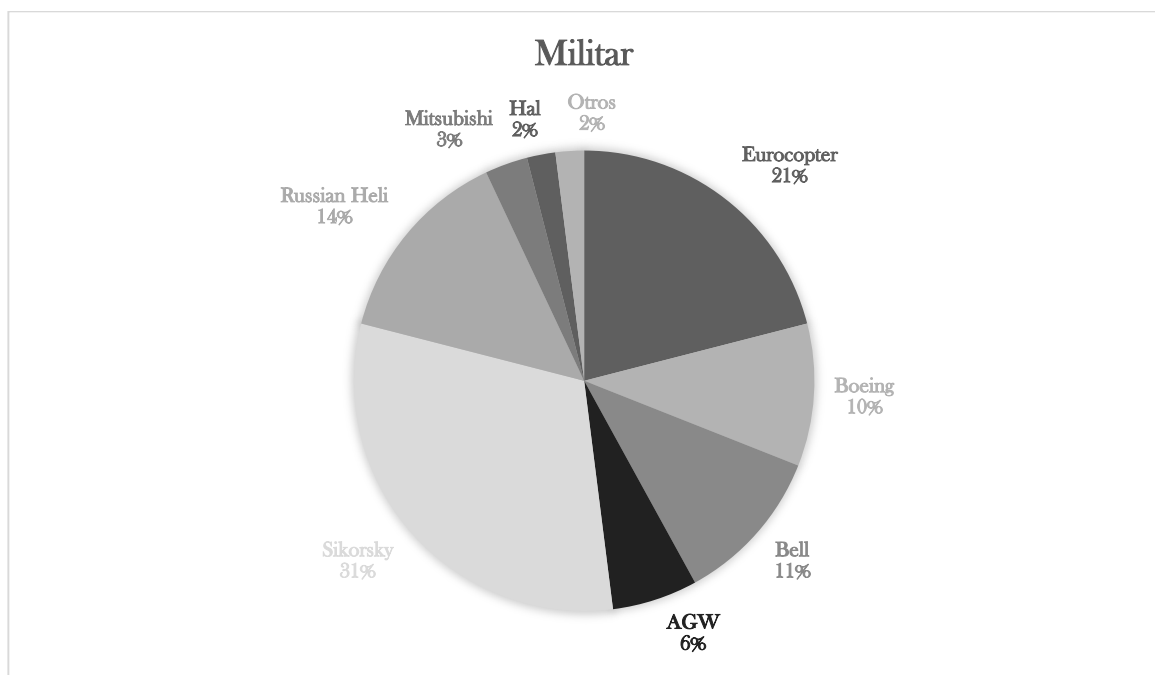
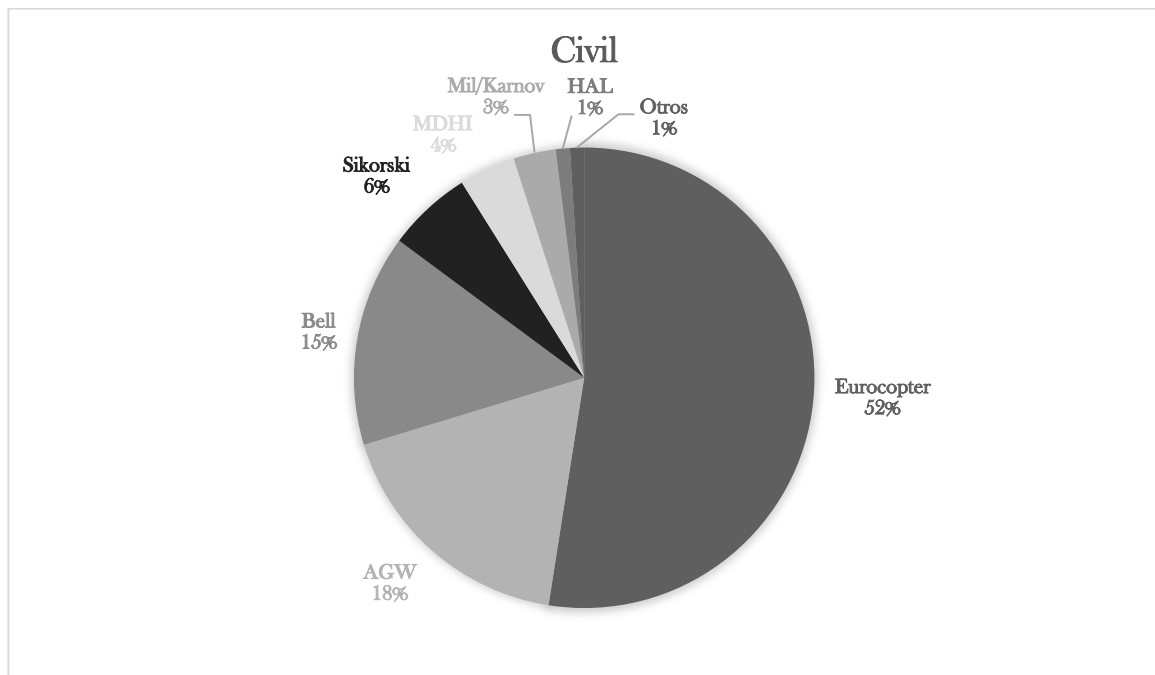
Europa también ha estado a la vanguardia en términos de tecnología. Eurocopter ha introducido tecnologías y componentes nuevos en el segmento de helicópteros civiles para mantener su posición de liderazgo en el mercado. Algunas de estas tecnologías incluyen cabinas 100% de vidrio, sistema de rotor sin cojinetes,

cabina totalmente sintética, tecnología "fly-by-wire" y "fly-by-light", entre otros avances.

El segmento de helicópteros civiles se expandió de 24,625 unidades en 2009 a 36,946 unidades para el 2015. Con un descenso en la demanda y niveles de producción más bajos en 2011 y 2012, pero con crecimientos de dos dígitos a partir de es bienio. Entre el 2010 y 2015 el 22% de los nuevos helicópteros se colocaron con clientes de las regiones Asia-Pacífico, África y Medio Oriente.

2.4.4. Aeronaves civiles. Las ventas civiles aeroespaciales incluyen todas las aeronaves de alas abatibles y ala rotatoria, motores de aeronaves, partes y servicios relacionados vendidos a entidades privadas o a departamentos y agencias gubernamentales civiles (no de defensa) (por ejemplo, la Administración Nacional de Aeronáutica y del Espacio, la Administración Nacional Oceanográfica y Atmosférica, el Departamento de Transporte de los Estados Unidos, la Administración Federal de Aviación y los gobiernos estatales). Las ventas civiles cayeron un 6.4% en 2010 a \$47.9 mil millones, ya que la débil economía continuó arrastrando al mercado aeroespacial. Los envíos disminuyeron en todos los principales sectores de la aviación civil y la aviación general, la industria de helicópteros civiles se vio particularmente afectadas por la demanda decreciente. Aun así, las disminuciones de 2010 en estos dos sectores fueron menos severas que las sufridas en 2009.

Tabla 16. Participación en el mercado mundial de helicópteros (2009)



Fuente: reporte 2009 Eurocopter

Además de las señales de que los mercados generales de aviación y helicópteros civiles se empezaron a estabilizar en 2010, otros signos alentadores fueron evidentes en el mercado de aeronaves civiles: La cartera de transporte civil mejoró a \$ 267 mil millones, con pedidos nacionales aumentando más de 10% a 764 unidades. Los operadores de líneas aéreas mostraban mayor certeza en que lo peor de

la crisis financiera mundial había terminado y que la demanda de viajes aéreos continuaría mejorando.

Las consideraciones financieras, como el acceso al capital, también jugó un papel importante en la demanda de nuevos aviones. Debido a los bajos márgenes operativos y al alto costo, pocos clientes pagan en efectivo por los aviones. Por el contrario, para reducir los costos de capital y los gastos operativos, las líneas aéreas a menudo arrendan aviones comerciales. Los dos arrendadores de aeronaves más grandes del mundo son International Lease Finance Corporation (ILFC) y GE Commercial Aviation Services, una subsidiaria de General Electric.

A partir del 2011, estas condiciones favorecieron al aumento en las ventas de la aviación civil, apalancada por una recuperación estable y duradera sustentada en varios factores como el comportamiento de la economía mundial, el precio del combustible para aviones, la disponibilidad y condiciones de financiamiento de aeronaves, y las reglamentaciones ambientales.

Las regulaciones ambientales, tanto nacionales como internacionales influyen en la venta de aeronaves civiles. Las reglas pragmáticas y predecibles que le dieron a la industria el tiempo suficiente para adaptarse permitirán un crecimiento sostenible de la industria. Por ejemplo, objetivos tales como lograr un crecimiento neutro en carbono dentro de un marco de tiempo razonable impulsaron la innovación de la industria sin frenar su crecimiento. Los ejemplos de resultados positivos incluyen el desarrollo de combustibles alternativos, diseños de aeronaves más eficientes y procesos de fabricación sostenibles.

2.4.5. Aeronaves militares. Las ventas de aviones militares alcanzaron \$64.5 mil millones en 2010, un aumento del 8% con respecto a 2009. Las ventas casi se han triplicado desde 2000, pero es poco probable que este ritmo continúe (ver Figura

3.10). El Departamento de Defensa empezó a reducir el presupuesto base del Pentágono a partir del 2012; por lo que la tasa de crecimiento de las órdenes de aviones militares se redujo considerablemente en el periodo 2012-2016.

En 2010, los pedidos de aviones militares alcanzaron \$ 62.8 mil millones, menos de un aumento anual del 1%. En comparación, la CAGR 2005-2009 para pedidos de aviones militares fue de casi el 21%. La caída en los pedidos significó una disminución en los desembolsos para aviones militares del 2012 al 2016.

En consecuencia, las exportaciones de aviones militares se convirtieron en un componente comercial aún más importante para los fabricantes aeroespaciales de Estados Unidos a partir del 2012.

Las Figuras 3.11 a 3.13 proporcionan información adicional sobre el mercado de aviones militares de los EE. UU.

2.4.6. Espacio. Las ventas del sector espacial fueron relativamente similares en 2010 a las de los años anteriores, totalizando aproximadamente \$45.9 mil millones. En los siguientes 5 años hubo un crecimiento modesto en los ingresos espaciales y los pedidos civiles representaron una proporción creciente a medida que disminuyeron los pedidos del gobierno.

Los desembolsos por actividades espaciales federales crecieron a un ritmo relativamente rápido durante los años fiscales 2001-2008, impulsados por un fuerte gasto del Departamento de Defensa. Pero las restricciones presupuestarias empezaron a nivelar los gastos del Departamento de Defensa y la NASA a partir del año fiscal 2011, aunque la actividad espacial comercial e internacional pudo reemplazar parte de la actividad perdida financiada por el gobierno dentro de la industria espacial.

El presupuesto de la NASA para el año fiscal 2012 muestra un cambio en su orientación, pues pasó de operar el transbordador espacial al desarrollo de la próxima

generación de vehículos pesados de lanzamiento. Se invitó a empresas comerciales a desarrollar y ofrecer servicios privados para el transporte de suministros a la Estación Espacial Internacional. Adicionalmente las ventas de espacio comercial mejoraron sustancialmente en el periodo 2014-2017 pues muchos proveedores de servicios satelitales en todo el mundo reemplazaron sus equipos espaciales envejecidos.

Una ventana de oportunidad se abre en otras áreas de este sector, particularmente por la estrategia de seguridad espacial nacional, lo que le permitirá a la industria ofrecer una nueva generación de satélites para el mercado nacional, así como nuevos desarrollos para el mercado de satélites más pequeños e inversiones significativas en Investigación y Desarrollo.

Tras la crisis de incertidumbre en 2008, la industria espacial de los Estados Unidos orientó sus estrategias de colocación de bienes y servicios en los clientes internacionales. El desarrollo de una base de clientes más diversa no solo ayudó a los Estados Unidos a mantener una sólida base industrial, sino que el desarrollo de oportunidades comerciales relacionadas con el espacio en India, Corea del Sur, Oriente Medio y otros países fortaleció las relaciones con socios estratégicos.

2.4.7. Misiles. El sector de misiles aeroespaciales incluye RDT & E y adquisición de misiles para el DoD, sistemas de defensa de misiles y partes. Entre los componentes del sector se encuentran los propios misiles, los sensores asociados y los sistemas de comando, control, gestión de batalla y comunicaciones.

En 2010, las ventas del sector de misiles aumentaron casi un 1% llegando a \$25.1 mil millones. Durante el período 2004-2009, el sector de misiles registró una CAGR del 7.3%, muy por encima de la mayoría de los demás sectores aeroespaciales reportados. El fuerte crecimiento se debió a los equipos y servicios nuevos y de reemplazo suministrados a las fuerzas de combate en Iraq y Afganistán. Las reservas

internacionales también representan una gran parte del negocio para los fabricantes de misiles de Estados Unidos, con órdenes de defensa de misiles potencialmente grandes que en Arabia Saudita, Turquía, Kuwait, Taiwán e Israel. En 2010 el DoD informó que los desembolsos de misiles aumentaron modestamente en el año fiscal 2010, y el financiamiento total aumentó en poco más del 1% a \$ 8.800 millones. Sin embargo, después del año fiscal 2011, los niveles de gasto fueron inciertos.

2.4.8. Transporte aéreo. Aunque las ganancias operativas de los transportistas estadounidenses alcanzó un récord de \$9.3 mil millones en 2007, el año siguiente tuvo una pérdida de \$3.3 mil millones.⁶ A medida que la crisis económica mundial empeoró, los ingresos operacionales disminuyeron en un 17% a \$ 154.1 mil millones en 2009. Sin embargo, gracias a los gastos de operación proporcionalmente más bajos, los resultados operativos revirtieron el rumbo de nuevo y se movieron a una ganancia de \$ 2.3 mil millones a finales de 2009 y la primera mitad de 2010, debido a que los transportistas tomaron medidas apropiadas, como la reducción rápida de la capacidad de las aerolíneas, para proteger sus resultados.

2.5. Industria aeroespacial en Norteamérica

No se puede explicar el desarrollo de la industria aeroespacial sin el financiamiento gubernamental en R&D como un reflejo de la demanda de operaciones militares a nivel global. La innovación es el rasgo fundamental de la industria aeroespacial y Estado Unidos se mantiene como el líder mundial en gastos absolutos en R&D con un incremento sustancial entre el 2008 y 2011, en este último año la inversión federal fue de 405,300 millones de dólares.

Ante el envejecimiento de las flotas de aviones civiles a finales de la primera década del siglo XXI, la demanda de aviones civiles se ha ido incrementando con lo que se generan nuevas oportunidades de expansión de la industria. Los analistas de la

industria anticipan que la flotas comerciales habrán de agregar nuevas naves durante los próximos 20 años, con una tasa de crecimiento anual del 3 al 5%, para un total de 30,900 nuevos aviones valorados en 3.6 trillones de dólares. Tanto compañías aéreas como los grandes fabricantes aeronáuticos prevén un aumento global de los viajes aéreos de 5% anual.

En este contexto, Norteamérica es una de las regiones que mejor reflejan la dinámica de desarrollo de la industria, debido a la integración de fabricantes, desarrolladores, universidades y gobierno.

Cada estado de los Estados Unidos apoya a la industria aeroespacial de acuerdo a distintas estrategias vinculadas con las fortalezas competitivas de su región y desarrollan proyectos de estímulos que buscan atraer inversión pública y privada de alto nivel. De acuerdo al informe del Congreso sobre el sector, en 2009 el 60% de todos los empleos de la industria aeroespacial se ubicaban en seis estados: California, Washington, Texas, Kansas, Connecticut y Arizona; sin embargo, la consolidación y ampliación de operaciones de esta industria, han permitido el desarrollo de nuevos clústers importantes en Oklahoma, Florida, Georgia, Ohio, Mississippi, Alabama y Carolina del Sur.

2.5.1. Región Oeste/Noroeste: California. El gran líder del sector aeroespacial con más 170,00 empleos directos e indirectos, lo que representa el 20% del total de empleos del sector a nivel nacional. De acuerdo a sus ingresos anuales esta industria es la segunda en importancia en el estado con 30 mil millones de dólares en ventas. También es uno de los estados con la mayor diversificación en manufactura aeroespacial en la que se incluyen aeronaves, motores, equipos y partes, misiles, vehículos espaciales, sistemas de detección y navegación, satélites y servicios de lanzamiento.

No hay corporación aeroespacial en Estados Unidos que no tenga presencia importante en California, lo que incluye las extensas instalaciones de producción de Lockheed Martin en South Bay y Northrop Grumman en El Segundo, que en el 2011 completó la primera prueba de vuelo completo de aviones no tripulados Global Hawk y el sensor de radar sofisticado que proporciona imágenes en tiempo real en cualquier tipo de condición.

Adicionalmente, California alberga dos de los más importantes polos de inversión del Gobierno Federal: el Sistema de Detección de Misiles del Departamento de Defensa y el Laboratorio de Propulsión de Cohetes; así como el centro de lanzamiento del proyecto privado Space X.

2.5.2. Región Oeste/Noroeste: Washington. Con Boeing como empresa principal, el estado cuenta con más de 650 empresas. La estrategia del estado es una sólida inversión en Investigación y Desarrollo lo que le permite mantener uno de los roles de liderazgo de la industria a nivel nacional, sólo la Universidad de Washington ha invertido consistentemente 125 millones en investigación relacionada con el sector aeroespacial desde 2006. Cerca del 17% de todos los trabajadores aeroespaciales de Estados Unidos y la segunda concentración más alta de ingenieros aeroespaciales se encuentran en este estado. Uno de los promotores estatales es el Consejo Aeroespacial de Washington, responsable de atraer nuevos negocios y asesorar al estado en cuanto a programas de capacitación, educación y desarrollo de la industria.

2.5.3. Región suroeste: Arizona. En 2009, esta industria, tanto en términos privados como en gasto de defensa, generó en el estado \$300 millones en ingresos fiscales y empleó a 39,400 trabajadores directos y 93,800 puestos de trabajo indirectos, con un Producto Estatal de 8,800 millones de dólares. Los dos principales clusters aeroespaciales de Arizona se encuentran en Tucson y Phoenix, en ellos se han

instalado Raytheon Missile Systems que representa al mayor empleador aeroespacial del estado; otras firmas importantes del sector estatal son Boeing, Honeywell, B/E Aerospace, Universal Aviónica Systems Corporation y Bombardier.

La Universidad Estatal de Arizona (ASU) es reconocida por sus instalaciones de entrenamiento aeroespacial, incluyendo cámaras de gran altitud y simuladores de chorro de movimiento completo. Esta universidad ha participado en todas las misiones científicas principales de la NASA desde el proyecto Apollo, una de las razones por las que Arizona recibió más de 10,800 millones de dólares en contratos del Departamento de Defensa en 2010.

2.5.4. Región suroeste: Oklahoma. Cuenta con más de 300 compañías aeroespaciales que generan ingreso superiores a los \$12 mil millones de dólares. El estado cuenta con clusters importantes en Tulsa y Oklahoma City, y es reconocido como uno de los centros más importante en MRO y fabricación de motores. Tulsa cuenta con más de 70 empresas aeroespaciales, entre las que destaca American Airlines MRO Division como el mayor empleador aeroespacial de la ciudad. Desde enero de 2011, American Airlines, NORDAM Group, Spirit AeroSystems y BizJet International habían ampliado su planta laboral con más de 1,500 nuevos trabajadores.

2.5.5. Región suroeste: Texas. De acuerdo a la Oficina de Estadística Labora de Estados Unidos, entre 2010 y 2011 fue el único estado que logró agregar puestos de trabajo en el sector de la fabricación aeroespacial. Esta industria emplea directamente a unos 200.000 trabajadores en más de 1,600 empresas, lo que convierte al estado en un lugar ideal para la inversión aeroespacial. Dallas-Ft. Worth es conocido por el avión de combate que produce. Lockheed Martin diseña tecnología de cohetes y misiles, sistemas de guía y control, y materiales y sensores avanzados. Otras empresas líderes son Bell Helicopter Textron, Sikorsky Aircraft, Rolls-Royce y

Boeing.

En el complejo aeroespacial de Port San Antonio (PSA) se encuentran Pratt & Whitney, BAE Systems, Standard Aero, Kelly Aviation Center, una empresa conjunta establecida por Lockheed Martin, General Electric Aviation, y Rolls-Royce para el avance del motor militar MRO. Varias agencias federales también se han asociado con Kelly Aviation Center para comercializar nuevas tecnologías.

2.5.6. Región central: Ohio. Cerca del 20 por ciento de la industria manufacturera de motores de aviones de Estados Unidos se encuentra en Ohio. Como una estrategia para incrementar esta participación, en 2010, el estado lanzó el Ohio Aerospace and Business Aviation Council, una asociación público-privada diseñada para expandir la industria aeroespacial de Ohio.

El corredor Cincinnati-Dayton es el hogar del clúster aeroespacial más relevante del estado y se dedica principalmente a la fabricación grandes motores a reacción y piezas críticas para misiones de la NASA; este lugar alberga a más de 400 negocios para la producción de aviones, piezas, motores de aeronaves, partes de motores, productos metálicos e instrumentos.

Air Force Base, cerca de Wright-Patterson, es un líder internacional en la comercialización de nuevas tecnologías militares para el sector privado; cerca de 10,000 ingenieros y científicos de la Base de la Fuerza Aérea Wright-Patterson dan a la región una de las mayores concentraciones de ingeniería aeroespacial del país. La Fuerza Aérea de los Estados Unidos recientemente seleccionó esta base para ser el lugar para el Centro Nacional de Investigación Médica Militar Aeroespacial.

2.5.7. Región central: Kansas. Wichita es el corazón de la industria aeroespacial en este estado, se ha consolidado como un centro de fabricación de aviones de aviación corporativa y general. Las principales firmas regionales son

Boeing Integrated Defense Systems, Cessna Aircraft y Spirit AeroSystems, un proveedor global líder de ensamblajes y componentes de aviones comerciales.

En septiembre de 2011, Spirit anunció que establecería una nueva planta de fabricación en Chanute, Kansas, para apoyar el trabajo ligero de sub ensamblaje de componentes bajo el ala para el Boeing 737. Generando empleos para 150 trabajadores especializados.

Valent Aerostructures es otro de los fabricante importantes de componentes estructurales y subconjuntos, expandirá sus operaciones en Fredonia construyendo una planta de 50,000 pies cuadrados.

2.5.8. Región Nordeste y Frontera Norte: Connecticut. Con cerca de 250 compañías aeroespaciales que generan 40,000 empleos especializados en todo el estado, incluyendo la United Technologies Corporation y sus subsidiarias Sikorsky, Pratt & Whitney y Hamilton Sundstrand. Aproximadamente \$7 mil millones de dólares de Producto Bruto Estatal en 2010 provino de la industria aeroespacial, equivalente a cerca del 5 por ciento de la productividad total del estado. El estado es relevante para la industria por su investigación, diseño y producción de motores a reacción y helicópteros. Las principales empresas del estado cuentan con el apoyo de una extensa cadena de proveedores de servicios aeroespaciales.

Para asegurar la competitividad del Estado el Centro de Tecnología Avanzada de Connecticut (CCAT) rastrea industrias y sectores susceptibles de ser atraídos a la región e identifica oportunidades emergentes. "Estamos comprometidos a servir a los fabricantes aeroespaciales de Connecticut a través de iniciativas que ayudan a fortalecer nuestra base industrial y fuerza de trabajo aeroespacial", comentó Elliot Ginsberg, presidente de CCAT.

2.5.9. Región Nordeste y Norte de la Frontera: Montreal. La ciudad con el

mayor conjunto de empresas del sector aeroespacial de Canadá, que representa casi las tres cuartas partes de la I + D del país. Más de 42,000 empleados trabajan para firmas líderes como Bombardier Aerospace, Pratt & Whitney Canada y Rolls-Royce Canada. Bell Helicopter Textron, con sede en Montreal, es el principal productor mundial de aviones de ala rotativa.

Montreal también es el sitio de más de 10 centros de investigación aeroespacial, incluyendo la Agencia Espacial Canadiense. Alberga la sede de la Asociación Internacional de Transporte Aéreo (IATA) y el Consejo Internacional de Aviación de Negocios (IBAC). El grupo francés de aeronáutica LATECOERE decidió en 2011 establecer una filial canadiense en Montreal.

En general Canadá es el quinto mayor productor aeroespacial del mundo y representa uno de los casos de mayor éxito en la integración comercial contemporánea. Los mayores clústers se encuentran en Toronto y Montreal, con Bombardier como principal fabricante y líder de aeronaves para vuelos regionales y de negocios. Esta integración ha generado proyectos conjuntos de inversión orientada exclusivamente a la investigación y desarrollo, tal es el caso del Canadarm, desarrollado para la estación espacial internacional. En este sentido se han consolidado acuerdos de investigación y asociaciones para la investigación avanzada que involucran participantes privados y públicos de ambos países. Un ejemplo de esta interacción es el acuerdo entre Aero Montreal, el clúster aeroespacial de Quebec y el Laboratorio de Investigación Aeroespacial y de Defensa en Arizona que permite ampliar el alcance de proyectos conjuntos a futuro y un intercambio comercial de 2 mil millones de dólares anuales.

2.5.10. Región Sur/Sudeste: Arkansas. La industria aeronáutica y aeroespacial representa la industria de exportación con el mayor valor agregado del

estado con ventas por más de \$585 millones de dólares. El sector emplea a 9,000 personas en ocupaciones en las que se incluyen la fabricación de piezas y componentes de aviones, cohetes, servicios de transporte aéreo, reparación y mantenimiento de aeronaves y renovación de aviones. En enero de 2011, Aviation Repair Technologies (ART), una compañía de reparación de aeronaves y componentes, anunció que ampliaría su instalación en Arkansas Aeroplex en Blytheville. La compañía invirtió más de \$10 millones y creó 300 nuevos empleos especializados. Uno de los principales promotores de la región es la Alianza Aeroespacial de Arkansas se dedica a incrementar la infraestructura estatal para reclutar, entrenar y capacitar a una fuerza de trabajo aeroespacial cualificada; así como colaborar en la contratación, retención y expansión de compañías aeroespaciales en el estado.

2.5.11. Región Sur/Sudeste: Alabama. Alberga más de 280 compañías aeroespaciales, en el año fiscal 2010 recibió más de \$8 mil millones en contratos principales del Departamento de Defensa. Las exportaciones de equipos y partes aeroespaciales fueron valoradas en más de \$423 millones de dólares en ese mismo año. El cúmulo aeroespacial del estado se centra en Huntsville y se incluyen firmas como Aegis Technologies, Boeing, Corporación COLSA, Lockheed Martin y PPG Aerospace. Huntsville es conocido como "Rocket City" debido a su larga asociación con misiles de defensa, el espacio y programas militares aeroespaciales. Sus principales centros de investigación son el Centro Marshall de Vuelos Espaciales de la NASA y el Arsenal Redstone del Ejército de los EE. UU. En esta ciudad se encuentra también el Cummings Research Park, uno de los mayores parques de investigación en el país.

Durante las últimas dos décadas Mobile, Alabama, también ha evolucionado

hasta convertirse en un cluster aeroespacial altamente sofisticado con empresas como Star Aviation, Crestview Aerospace y Teledyne Continental. EADS North America y Northrop Grumman tienen también operaciones en Brookley Aeroplex, un gran parque industrial de esta ciudad.

2.5.12. Región Sur/Sudeste: Mississippi. Ha tomado reconocimiento por sus capacidades de I + D y cuenta con una serie de parques aeroespaciales instalados a lo largo de la costa del Golfo. Entre ellos destaca el GTR Global Industrial Aerospace Park, ubicado al lado del Golden Triangle Regional Airport en Columbus. Fue diseñado para apoyar las especialidades aeroespaciales de la región tales como compuestos, sistemas aéreos no tripulados y tecnologías geoespaciales.

El grupo de Columbus sigue creciendo, gracias al departamento de ingeniería aeroespacial de la Universidad Estatal de Mississippi, ampliamente conocido por su experiencia avanzada en materiales compuestos. GE Aviation también está colaborando con la Universidad del Sur de Mississippi en Hattiesburg para desarrollar materiales de alto rendimiento.

El grupo aeroespacial de Jackson, Mississippi ha sido apoyado por miles de millones de dólares de dinero federal, especialmente en el Centro Espacial Stennis, campo de pruebas de la NASA para propulsión de cohetes. El Centro de Sistemas Vehiculares Avanzados (CAVS) de la Universidad Estatal de Mississippi también lleva a cabo investigaciones de vanguardia para clientes aeroespaciales.

2.5.13. Región Sur/Sudeste: Georgia. El estado cuenta con más de 500 empresas aeroespaciales en todos los aspectos de la industria aeroespacial. Entre las principales firmas aeroespaciales están Boeing, Cessna, Gulfstream, Northrop Grumman, Pratt & Whitney, Tiger y Thrush. Las expansiones más significativas del sector han sido emprendidas por Triumph Aerostructures y Gulfstream, que ampliaron

sus instalaciones de Savannah a través de un plan de siete años y \$500 millones de dólares que arrancó en el año 2010.

Además, a través de una asociación con el Centro de Logística Aérea Warner Robins de la USAF, varias compañías e investigadores de Georgia están atrayendo más de 5,000 millones de dólares en trabajos contratados para sostener y reparar aviones militares, incluyendo el U-2, el Global Hawk y el Predator.

2.5.14. Región Sur/Sudeste: Florida. Su legado más relevante para la industria aeroespacial estadounidense es el Centro Espacial Kennedy de la NASA y el Puerto Espacial de Cabo Cañaveral. Hoy cerca de 2.000 empresas de aviación y aeroespacial emplean alrededor de 85,000 empleado de alta especialidad en este sector de primer orden.

Orlando es el cluster más activo y proporciona infraestructura moderna aeroespacial, instalaciones relacionadas con la aviación, y centros de simulación y entrenamiento. Lockheed Martin, la mayor empresa de la región, trabaja con el Departamento de Defensa en una variedad de proyectos militares. Un gran grupo de proveedores de segundo y tercer nivel apoya a Lockheed Martin, Boeing, Harris Corporation y otras grandes empresas para completar la cadena de suministro.

Lockheed Martin contrata a cerca de 7,500 trabajadores en sus operaciones en esta ciudad dedicadas a desarrollar sistemas avanzados de combate, sistemas espaciales, sistemas de munición inteligente y electro óptica, tecnología de simulación y cohetes de alto rendimiento; además de participar en formación y logística a nivel mundial.

2.5.15. Región Sur/Sudeste: Carolina del Sur. En 2011 la decisión de Boeing de ubicar su nueva instalación del Dreamliner en North Charleston puso a Carolina del Sur en el mapa aeroespacial global. Alrededor de 4,000 empleados de

alta especialidad fueron contratados para operar la instalación de \$1.5 mil millones de dólares. Los beneficios anuales directos, indirectos e inducidos de la planta se han estimado en \$ 6mil millones de dólares, lo que representa una victoria económica para el estado. El primer 787 Dreamliner fue entregado a All Nippon Airways en septiembre de 2011.

Boeing no es el único jugador en la ciudad, también destacan otras compañías aeroespaciales internacionales entre las que se incluyen a Eaton Corporation, Parker Hannifin y TIGHITCO. En septiembre de 2011, TIGHITCO, fabricante de componentes de ingeniería y sistemas integrados, anunció que construiría una planta de fabricación de 30 millones de dólares en el condado de Charleston.

2.6. Industria aeroespacial de los estados unidos (2000-2015)

La crisis económica del 2008 tuvo impacto en una reducción del volumen de ventas totales y en la disminución de los contratos de la industria global aeroespacial, que afectó tanto a los fabricantes de productos finales como al resto de la cadena de suministro. Sin embargo, el sector aeroespacial empezó a mostrar una recuperación sostenida a partir del 2011, impulsado por cinco condiciones (U.S. Department of Commerce, 2011; Bombardier Bussines Aircraft, 2014):

1. El crecimiento del PIB mundial. Las expectativas globales de crecimiento estiman que éste será de 2.7% sostenido hasta el año 2025.
2. El incremento en los sueldos de una mano de obra cada vez más sofisticada. Aunque el sector empieza a realizar procesos de reducción de la base de empleados especializados, los sueldos de este personal, específicamente el de los ingenieros aeroespaciales, están en los grupos de mano de obra mejor pagados de los Estados Unidos.

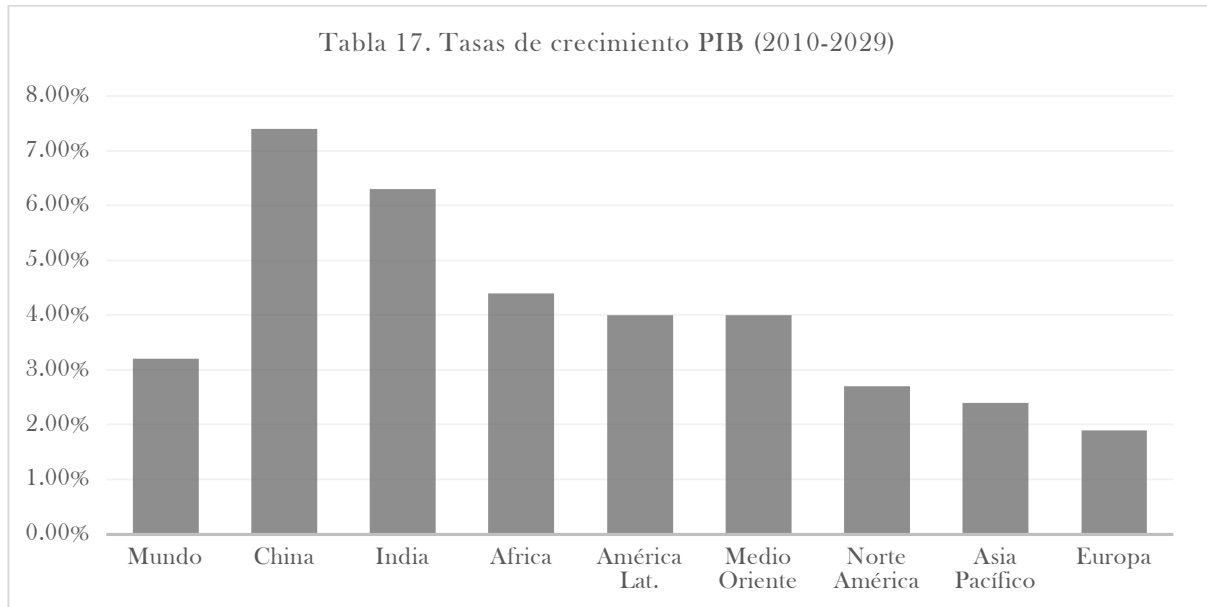
3. La modernización de las flotas comerciales a escala mundial, debido al intento de reducir costos operativos con aeronaves más eficientes en consumo de combustible y como respuesta a las exigencias internacionales sobre emisiones de carbono.
4. La mejora sustancial de la salud financiera de las aerolíneas sustentada en la mejora del entorno económico global.
5. La participación de actores privados en el sector espacial.

A continuación se exponen el conjunto de componentes más relevantes para la industria aeroespacial de los Estados Unidos, para comprender el proceso de recuperación de la industria en el periodo 2009-2012 e identificar las bases de crecimiento sostenido esperado para los próximos 15 años.

2.6.1. Los factores claves de la recuperación: el sector Aeroespacial y de Defensa y el desarrollo de mercados emergentes. En 2009 el sector global aeroespacial y de defensa tenía un valor de 920 mil millones de dólares, su Tasa de Crecimiento Anual Compuesta fue de 8.7% en el periodo 2005-2009. En la industria aeroespacial global, Defensa fue el segmento más grande del valor total del sector con alrededor del 71.8%, \$660 mil millones de dólares; el restante \$259.8 mil millones de dólares estaba integrado por la aeronáutica civil y servicios de lanzaderas espaciales del sector privado. Estados Unidos se ha mantuvo pese a la crisis como el mercado más grande con el 59% del valor global del sector Aeroespacial y de Defensa, seguido por Europa con el 22% y la región Asia-Pacífico con el 19% de participación. Boeing de EUA es el líder del mercado con el 7.4% de participación del valor del sector, seguida por EADS de Holanda con el 6.5%, Lockheed Martin Corporation de EUA con 4.9% y BAE Systems de Reino Unido con el 3.8%.

2.6.2. Perspectivas para los mercados en desarrollo. Ya que un elemento fundamental de la estabilidad de la industria se relaciona con la demanda de viajes aéreos y estos se vinculan con el crecimiento económico, la recuperación de la crisis económica se tradujo en una mejora sustancial del sector, sobre todo a partir de la segunda mitad de 2009.

El PIB global continuará creciendo en los próximos 20 años, de forma sostenida aunque diferenciada de acuerdo a cada región: en América del Norte el crecimiento será de 2.7%, mientras que en Europa el estimado es de 1.9%, expectativas que se quedan por debajo de economías asiáticas emergentes como China con el 7.4%. Dado que el crecimiento de las economías de América del Norte y Europa estará por debajo del promedio mundial a 20 años del 3.2%, se prevé que las tasas de crecimiento de los pasajeros de líneas aéreas de estas regiones sean proporcionalmente más lentas en comparación con las economías emergentes como China y la India. Sin embargo, estos mercados maduros se verán beneficiados por la demanda de reemplazo impulsada por la necesidad de una mejor tecnología de aprovechamiento del combustible, nuevos materiales de fabricación y diseño de aeronaves, y tecnología de navegación más moderna.



Fuente: estudio de mercado de Bombardier 2010.

2.6.3. Tendencias principales de la cadena de suministro. La cadena de suministro aeroespacial esta integrada por los fabricante primarios/fabricantes de equipos originales (OEM) con tres tipos de proveedores: nivel 1, nivel 2 y nivel 3.

La función de diseño, fabricación y ensamblaje es controlada por los fabricantes primarios (por ejemplo, Boeing, EADS), quienes representan el componente más crítico de la cadena de valor y se caracteriza por barreras de entrada rígidas debido a los altos costos relacionados y los requisitos tecnológicos.

Los fabricantes primarios cuentan con el respaldo de proveedores de nivel 1 que son responsables de proporcionarles equipos y sistemas tales como motores, sistemas de control de vuelo, sistema de combustible, etc. Los proveedores de nivel 2 fabrican y desarrollan piezas según las especificaciones proporcionadas por los fabricante primarios y proveedores de nivel 1, mientras que el nivel 3 de proveedores son los responsables de suministrar productos y componentes básicos a los proveedores que están más arriba en la jerarquía.

El mercado de proveedores del Nivel 1 está compuesto por firmas como Rolls-Royce (motores), GE Aviation (motores) y BAE Plc (alas) que generalmente tienen

contratos de proveedores exclusivos con los OEM. Además, en el orden jerárquico, la industria presenta numerosas empresas pequeñas y medianas que brindan soporte a proveedores de nivel 1 mediante el suministro de componentes y subsistemas.

La cadena de suministro recibe apoyo de la industria del mercado de accesorios (Mantenimiento, Reparación y Revisión) que se encarga del mantenimiento y la mejora del estado general de un avión.

Los fabricantes de nivel I y II se vieron afectados en mayor medida por la desaceleración en comparación con los OEM, que se salvaron por la naturaleza a largo plazo de sus pedidos. Pero la posición de efectivo de los fabricantes de equipos originales se vio afectada debido al aplazamientos de pagos por parte de los clientes y a la cancelación generalizada de pedidos, lo que a su vez afectó en gran medida a los fabricantes de nivel I y II.

2.6.3.1. Tendencias clave: Globalización de la fabricación aeroespacial. La reducción de costos, la capacidad de concentrarse en el negocio principal y la mayor velocidad de comercialización son los principales factores que impulsan la globalización / tercerización en la fabricación del sector aeroespacial. P.ej. Los componentes de aeronaves de origen de EADS por valor de 43 mil millones de dólares de todo el mundo. La compañía utiliza proveedores europeos y realiza el montaje final en Francia. Bombardier utiliza proveedores norteamericanos y realiza el montaje final en Montreal. Cada vez más, Boeing y EADS se ven a sí mismos como integradores de sistemas a gran escala en lugar de fabricantes de aviones.

Además, los integradores OEM como Airbus y Boeing están cambiando su producción a bajo costo en China, India, Malasia, Singapur y otros países asiáticos. Se estima que las empresas pueden lograr ahorros de alrededor del 20 al 30 por ciento incluso después de considerar los costos de transporte y otros.

2.6.3.1.1. Cambio de la base de MRO de OEM a proveedores. A medida que los fabricantes de equipos originales (OEM) comienzan a enfocarse más en sus competencias centrales (diseño general de aeronaves, arquitectura, integración, ensamblaje final y entrega a clientes finales) y con la tecnología cada vez más complicada, se requieren servicios especializados para administrar las solicitudes de MRO eficientemente. En comparación con las décadas de 1970 y 1980, cuando los transportistas de los EE. UU. Solían administrar más del 80 por ciento del mantenimiento interno de sus aviones, la cifra comparable actual es solo de alrededor del 20 por ciento.

Además, los fabricantes de equipos originales están buscando formas de reducir los costos de fabricación externalizando más a los OEM de nivel 1; Paquetes de "diseño para construir" en lugar de solo "crear para imprimir". Esta transferencia de responsabilidad hacia los proveedores ha reducido los costos de adquisición, con el consiguiente ahorro de costos invertido en nuevos productos, servicios y equipo de capital.

2.6.3.2. Tendencias clave: integración entre OEM y proveedores de nivel I.

Los fabricantes de fuselajes y los proveedores de primer nivel se están convirtiendo en integradores a gran escala y co-coordinadores de la producción de aviones, mientras se alinean para compartir el riesgo asociado. La industria aeroespacial está avanzando hacia una mayor dependencia de los niveles 1 y un mayor riesgo compartido por los proveedores. Hay más enfoque en la integración del sistema, menos capacidad de producción interna, y un deseo de trabajar con un número menor de primos de nivel 1. Simultáneamente, ha habido una reducción significativa en las relaciones con los proveedores de nivel 2 y nivel 3. Por ejemplo, Embraer tenía alrededor de 350 proveedores para su avión EMB145, de los cuales cuatro compartían

el riesgo. Por otro lado, había 38 proveedores de aeronaves EMB170 / 190 de Embraer, de los cuales 16 compartían el riesgo. Del mismo modo, Rolls Royce tenía alrededor de 250 proveedores para su motor Trent 500, que se redujo a 140 proveedores para el Trent 900, 75 proveedores para el Trent 1000 y se estima que habría entre 25 y 35 proveedores para el motor que se está desarrollando. para el avión de pasillo único / de cuerpo estrecho.

Se espera que 2010 haya supuesto un desafío para los proveedores de Nivel I y II, así como para los fabricantes de piezas pequeñas. Esto se debe a una gran acumulación de inventarios de pequeñas piezas de repuesto con aerolíneas y MRO debido a actividades de mantenimiento diferido por parte de las aerolíneas durante la recesión. El valor de este inventario se estima en alrededor de US \$ 40 mil millones, que siendo mayor que el gasto de MRO en toda su extensión es indicativo de un difícil 2010 para los proveedores de Nivel I, Nivel II y partes pequeñas.

2.7. Componentes de la cadena de suministro aeroespacial

La fabricación en el sector aeroespacial es un proceso complejo e implica la producción de diversos componentes que tienen diferentes requisitos tecnológicos. Se estima que el fuselaje y el motor en conjunto representan alrededor del 65 por ciento del costo total de producción de un avión, mientras que los sistemas y la aviónica juntos representan un 25 por ciento adicional. Los siguientes son los detalles relacionados con los principales mercados y firmas en estas principales categorías de componentes.

2.7.1.Fabricantes de motores. Los fabricantes de aviones requieren de los fabricantes de motores especializados para impulsar sus productos con mayor seguridad, eficiencia y confort. Esto les da a las aerolíneas la oportunidad de elegir entre dos o más tipos de motores cuando compran un avión. El segmento de

fabricación de motores se puede dividir en tres subcategorías: turboventilador, turbohélice y turboshafts. El turboventilador se utiliza principalmente para aviones comerciales y militares; las turbohélices se utilizan principalmente en jets comerciales y regionales; mientras que los turboshafts se utilizan principalmente en helicópteros y algunos aviones de despegue/aterrizaje vertical.

Este segmento fortalece el sistema de servicios MRO como participación de las ventas segmentarias totales. La mayor parte del margen de ingresos y ganancias para los fabricantes de motores proviene de la venta de repuestos, el alquiler de motores y la actividad de mantenimiento.

El mercado de fabricación de motores es oligopólico por naturaleza y está dominado por tres fabricantes principales: GE Aviation, una subsidiaria de General Electric, con sede en Evendale, Ohio, Estados Unidos; Pratt & Whitney (P & W) una subsidiaria de United Technologies Corporation (UTC) en Hartford, Connecticut, Estados Unidos; y Rolls Royce en Derby, Reino Unido. Otro fabricante importante de motores es Snecma de Courcouronnes, Francia).

Esta industria también presenta empresas conjuntas organizadas principalmente para compartir riesgos, ya que la fabricación de motores requiere experiencia tecnológica de alto nivel y grandes inversiones iniciales.

Para el mercado de LCA, existen dos grandes empresas conjuntas:

1. Aero- Motors International, integrada en un 32.5% por P & W, 32.5% por Rolls-Royce, 23% por JAEC y 12% por MTU Engines.
2. CFM International, una empresa conjunta 50:50 entre GE y Snecma. CFMI es el líder mundial del mercado en propulsión de aviones de fuselaje estrecho y produce el CFM56, que durante los primeros 25 años fue el único motor para la familia Boeing 737 y más tarde para la familia Airbus A340-200/300.

No se trata de alianzas inéditas en la industria, pues en 1996, General Electric y Pratt & Whitney formaron otra empresa conjunta 50/50 llamada Engine Alliance para desarrollar, fabricar, vender y dar soporte a una familia de motores de tecnología moderna para nuevos aviones de gran capacidad y largo alcance. Este motor GP7200 se diseñó originalmente para los Boeing 747-500/600X, antes de que se cancelaran debido a la falta de demanda de las aerolíneas. En cambio, el motor ha sido optimizado para su uso en el Airbus A380 y compite con el Rolls-Royce Trent 900.

Además de los grandes OEM y las empresas conjuntas correspondientes, con énfasis regional en los Estados Unidos, hay varios proveedores de primero y segundo nivel en el mercado global de motores en Europa, como MTU Aero Engines de Alemania, Volvo Aero de Suecia, Avio SpA de Italia, y ITP Engines de Reino Unido.

Las perspectivas de fabricación del motor parecen positivas, y se prevé que la demanda se verá impulsada por la necesidad de motores más ecológicos y más eficientes en combustible debido a la presión extrema y las emisiones de chorro sobre el medio ambiente. Habrá una demanda de 141,000 motores, valuados en más de \$800 mil millones de dólares hasta el 2030. Se espera que la mayor parte de esta demanda surja de los mercados de más rápido crecimiento en Asia, Medio Oriente y América Latina. Los mercados maduros de Europa y América del Norte también verán incremento en la demanda debido a los programas de reemplazo de flotillas de aviones más viejos. La oportunidad de posventa y servicios creada por estas entregas se estima en \$600 mil millones de dólares durante la vida útil de estos equipos.

2.7.2. Aviónica. Electrónica de aviónica/aviación comprende sistemas de aeronaves electrónicas como controles de vuelo fly-by-wire (o incluso fly-by-light), monitoreo de sistemas, sistemas anticolidión y sistemas auxiliares/asistentes de pilotos

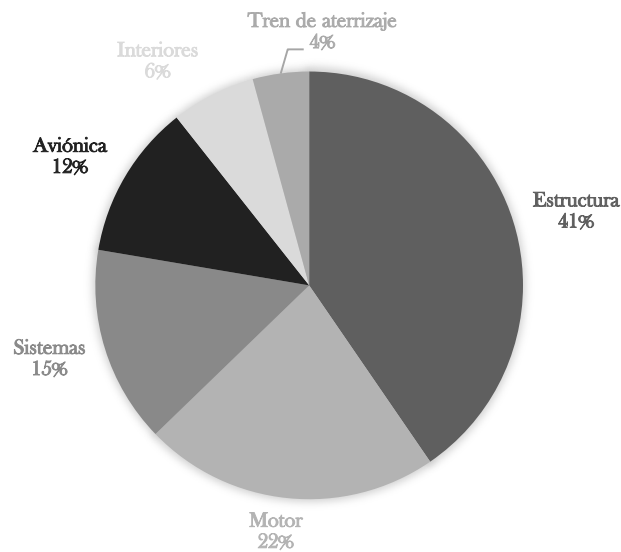
como comunicación, sistemas de administración de vuelo, navegación o pronóstico del tiempo.

Los principales avances en Aviónica se desarrollan en Europa e incluyen sistemas piloto de visión nocturna para helicópteros, alerta de tráfico y sistema de prevención de colisiones (TCAS) o la tecnología fly by wire. Airbus y Eurocopter fueron los primeros en el mundo en introducir esta tecnología en aeronaves civiles y helicópteros. Thales, Diehl Aerospace y Liebherr Aerospace son los principales proveedores europeos de aviónica de vuelo. Rockwell Collins, Honeywell International, L-3 Communications son las principales firmas en el mercado mundial de la aviónica.

2.7.3. Trenes de aterrizaje. El mercado de trenes de aterrizaje para LCA es un duopolio entre Messier-Dowty (una filial de Safran) y Goodrich. Ambos ofrecen una gama completa de trenes de aterrizaje y son los principales proveedores de Airbus y Boeing. Liebherr, la tercer firma del segmento, produce trenes de aterrizaje para jets regionales y comerciales. En el mediano plazo, Liebherr puede penetrar en el mercado de LCA y perturbar el duopolio prevaleciente.

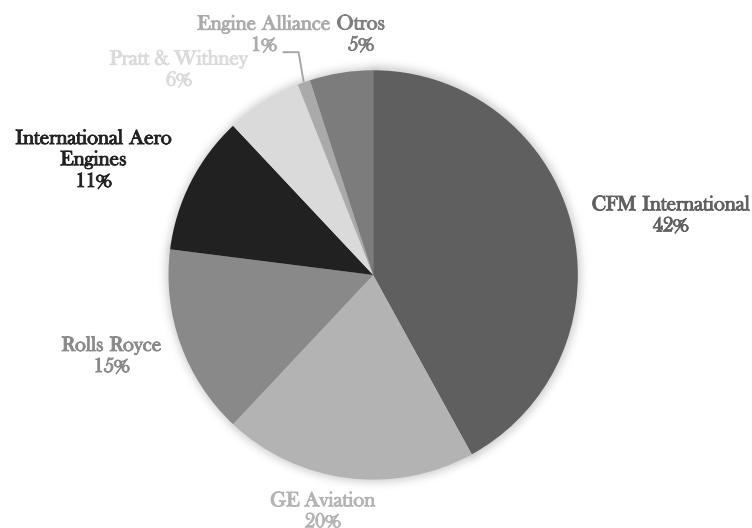
La cooperación del segmento con los fabricantes de equipos originales (OEM) sigue siendo sólida ya que el tren de aterrizaje necesita integrarse con la estructura del avión. Al igual que el sistema de propulsión, el tren de aterrizaje también requiere mantenimiento, por lo que los servicios también constituyen una parte importante de las ventas totales con el 48% de la comercialización del tren de aterrizaje para el Grupo Safran.

Tabla 18. Valor de los componentes como % del valor de la aeronave (2009)



Fuente: Wipro

Tabla 19. Participación de mercado en fabricación de motores (2010)

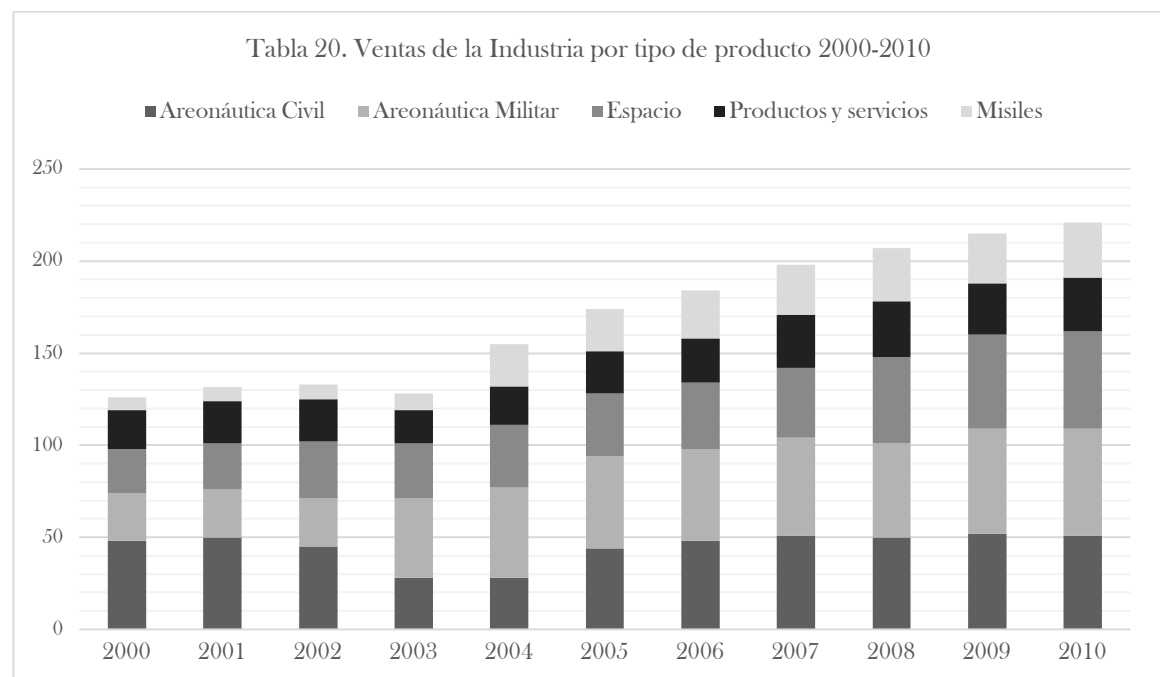


Fuente: Reporte de la Industria Aeroespacial de EUA

2.7.4. Manufactura aeroespacial y MRO en el 2012. A pesar de un clima empresarial desafiante, las ventas aeroespaciales alcanzaron un nuevo récord de \$ 212.7 mil millones en 2010, continuando un ascenso que comenzó hace siete años. Si bien la tasa de crecimiento general se ha desacelerado en los últimos años debido a una gran recesión y confusión económica mundial, EE.UU. las ventas aeroespaciales han tenido un crecimiento notable desde 2003 (ver Tabla 20). Los números finales del año también reflejan la resiliencia de la industria. Revertir un declive de dos años, la

industria aeroespacial registró \$ 202.5 mil millones en pedidos en 2010, un aumento del 23.8 por ciento con respecto a 2009.

Entre el 2008 y 2009, los resultados en los diversos sectores de la industria aeroespacial fueron mixtos. Por un lado las ventas de aeronaves civiles cayeron marginalmente pero esta disminución fue compensada por un aumento en las ventas de aviones militares. A partir del 2010 la situación empezó a revertirse, la parte civil de la industria compensó las disminuciones en la parte militar, todo esto debido a la presión por recortar el déficit de los Estados Unidos, lo que amenaza a una gran parte de la actividad vinculada con las compras federales de la industria.



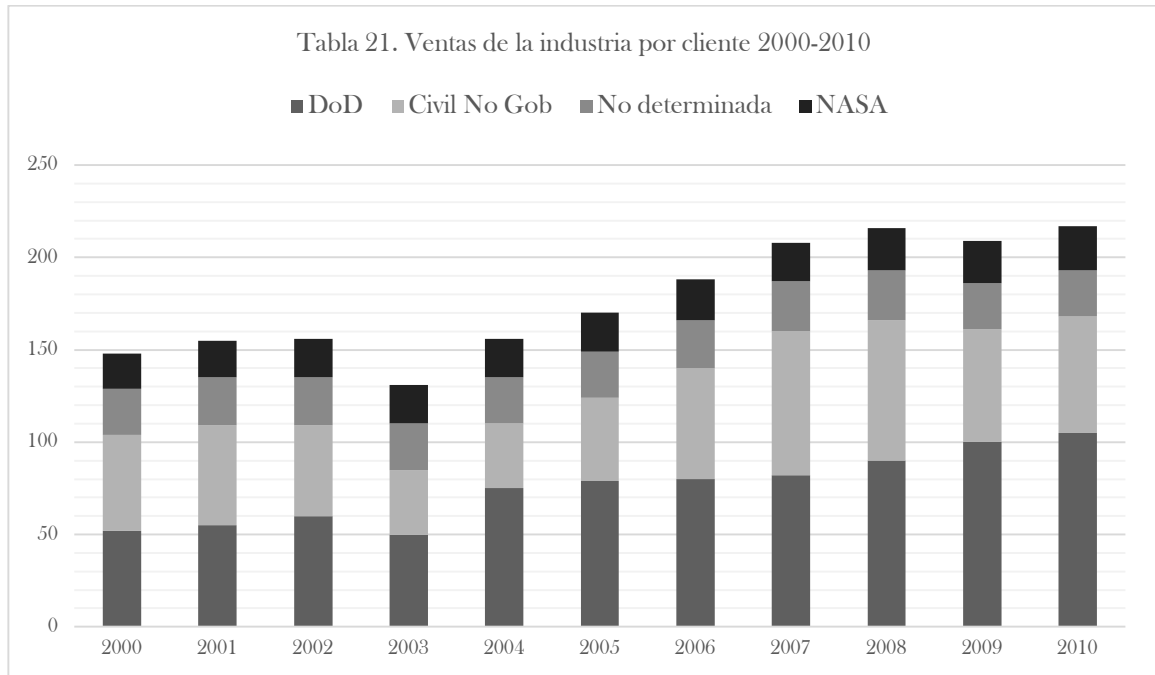
Fuente: AIA. Cifras en miles de millones de dólares EUA.

Sin embargo hay una postura positiva, particularmente en la parte civil, de que la industria mejore a medida que las economías nacionales y globales continúan recuperándose. En este sentido el Banco de la Reserva Federal proyecta que el PIB real crecerá 2.7% en 2011 y 3% en 2012. El sector de aviación civil, estrechamente vinculado al crecimiento general del PIB, tuvo un crecimiento moderado pero constante desde 2009 a la fecha. A fines de 2010, los pedidos netos, que se considera

un indicador adelantado de ventas futuras, para los grandes aviones civiles de Boeing totalizaron 530 unidades, frente a 142 en 2009. El aumento en los pedidos impulsó la reserva de producción anual de Boeing en 2010 a 3,443 aviones, lo que representó una inversión en fuerza laboral para el mediano plazo.

Si bien las perspectivas generales a corto plazo para la industria de la aviación civil parecen prometedoras, varios factores amenazan la velocidad y la fortaleza de su recuperación. En una encuesta Forbes-CIT 2011, el 53% de los ejecutivos de las aerolíneas encuestados indicaron que los costos elevados de combustible resultantes de la mayor demanda mundial serán el desafío más importante que enfrentarán las aerolíneas en los próximos dos años. Otros factores de riesgo son el aumento de los costos de compensación de las entregas atrasadas, el costo en la mano de obra, la demanda cambiante de los clientes o la inversión en la renovación de sus flotas.

Tomados en conjunto, el ciclo de crecimiento 2010-2012 y 2015-2018 son dos de los más sólidos en la historia de la aviación de los Estados Unidos. Sin embargo las medidas de reducción del gasto gubernamental generaron una presión a la baja sobre el presupuesto de defensa y gasto federal reflejado en programas militares, espaciales y otros programas financiados con fondos federales; sin embargo, con la recuperación económica de los Estados Unidos y la demanda de aeronaves en los mercados emergentes, se espera que mejore el sector civil no gubernamental.

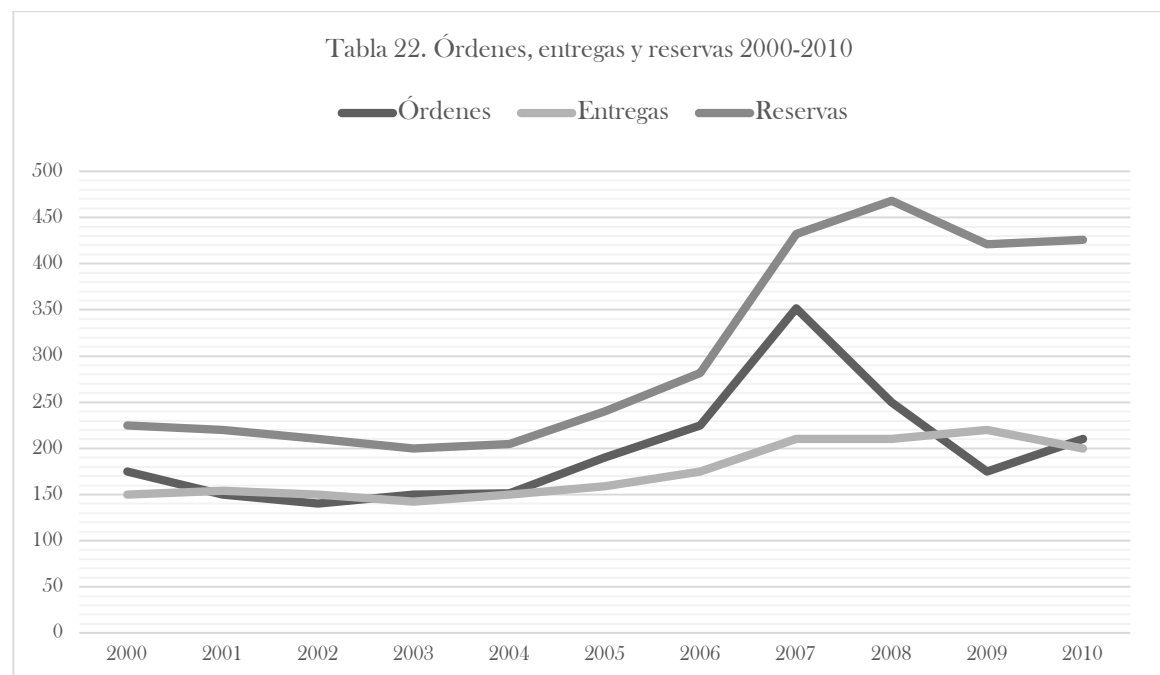


Fuente: AIA. Cifras en miles de millones de dólares EUA.

El espacio aéreo se enmarca en la clasificación industrial de "bienes duraderos". Los bienes durables son un subconjunto de la industria manufacturera en general, que a su vez es un componente importante del PIB. Las ventas aeroespaciales en general fueron más fuertes y más estables durante la última recesión en 2008 que los índices de bienes duraderos, manufactura y PIB en general. Las ventas aeroespaciales demostraron ser menos vulnerables a la inestabilidad de las condiciones económicas debido a los largos plazos de entrega en la fabricación aeroespacial y el importante historial de pedidos de aviones, así como la cantidad de ventas al gobierno federal.

Un signo alentador para la industria en 2010 fue el aumento paulatino en los pedidos de aeronaves (ver Tabla 22). Las órdenes aumentaron casi un 24%, llegando a \$ 202.5 mil millones de dólares y empujando a un 2% el stock de pedidos hasta llegar a los \$427 mil millones de dólares. La mayor proporción de este incremento anual fue gracias a los pedidos de aviones civiles y piezas, saltando a un 66% del total o \$90.5 mil millones de dólares. A partir de ese año las líneas aéreas empezaron a controlar

sus costos y a refinar sus modelos comerciales, lo que se tradujo en el retorno de usuarios y un incremento paulatino de su rentabilidad.



Fuente: AIA. Cifras en miles de millones de dólares EUA.

Tan solo en 2010 Airbus y Boeing recibieron 1,104 pedidos netos, lo que mostró que el mercado internacional de la aviación se recuperó con más fuerza de lo esperado tras la caída más pronunciada de toda su historia. Por ejemplo, un año antes, los dos fabricantes acumularon solo 413 pedidos netos ya que la desaceleración económica mundial llevó a los clientes a retrasar nuevas compras y cancelar o diferir pedidos existentes.

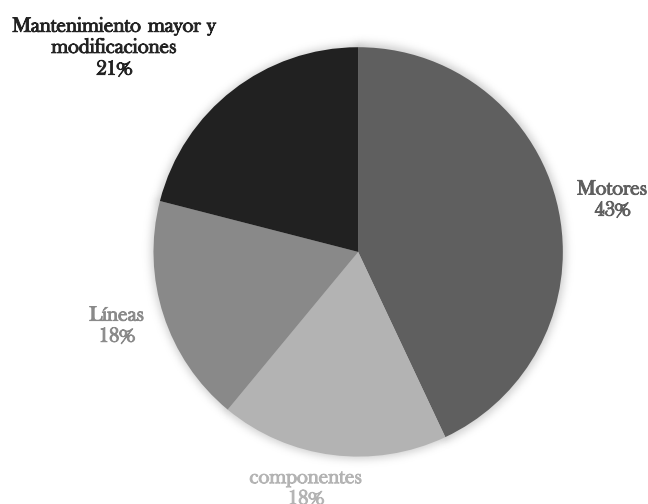
Las aerolíneas que redujeron su capacidad durante la recesión empezaron a fortalecer sus equipos para ajustarse al aumento del tráfico a medida que la economía internacional se recuperaba. Una constante a tomar en cuenta es el aumento en los precios del combustible para aviones, lo que favorece al aumento en nuevos pedidos, ya que las aerolíneas consideran que las aeronaves más nuevas y más eficientes son la estrategia correcta para reducir costos.

2.7.5. Mantenimiento, reparación y revisión (MRO). El mercado MRO de las aerolíneas mundiales estaba valorado en \$ 45,700 millones de dólares en 2009. Consiste principalmente en mantenimiento de fuselajes, trabajos de motores y componentes, así como mantenimiento de línea. En promedio, la industria aeroespacial gasta más anualmente en MRO que en fabricación o desarrollo. La mayor parte de los ingresos de MRO se deriva del mantenimiento del motor con el 43% de los ingresos totales, seguido de visitas de mantenimiento y modificaciones con el 21% de los ingresos.

La distribución regional de MRO es similar a la del mercado global de transporte aéreo, con un centro de gravedad en América del Norte seguido de Europa Occidental y la emergente región de Asia Pacífico. El MRO creció fuertemente al inicio de la década del 2000 en línea con el tráfico aéreo, pero este repunte llegó a su fin en el cuarto trimestre de 2008 para iniciar su recuperación a mediados de 2010.

La industria mundial de MRO alcanzó los 50 mil millones de dólares en 2015 y se espera que llegue a los 65 mil millones en 2020; esto implica un CAGR de 5 años de 3.5% y 5.3 por ciento entre 2010-2015 y 2015-2020 respectivamente. Los mercados MRO de China e India registrarán CAGR de 9.6 por ciento y 9.4 por ciento, respectivamente, durante el período 2010-2020. Por otro lado, se espera que los mercados de América del Norte, Europa occidental y África registren CAGR un poco más lentos de 1.6%, 3.6% y 3.5%, respectivamente, durante el mismo período frente a una CAGR mundial de 4.4%.

Tabla 23. Componentes del MRO mundial (2010)



Fuente: TeamSAI

2.7.5.1. MRO en la Aviación Civil. De forma independiente a los precios combustible, el débil crecimiento económico, las exigencias ambientales u otra dificultad, la industria de la aviación continúa creciendo, generando oportunidades para la industria Mantenimiento, Reparación y Revisión (MRO); sin embargo aunque el crecimiento puede estar asegurado, la estructura del mercado de la industria MRO a largo plazo es menos segura. Las presiones financieras forzaron a los proveedores establecido en hacer cambios a sus políticas de entrega de servicios. La competencia de precios ha reducido las tasas e impulsado la búsqueda de servicios con proveedores de menor costo como los de China y América del Sur. Dentro de Europa, ha habido un movimiento hacia proveedores de bajo costo en Europa Central y Oriental.

La nueva tecnología en aviación agrega un factor que no se había considerado previamente, los requisitos de mantenimiento por avión tienden a disminuir debido a que cada generación sucesiva de aeronaves está diseñada para requerir menos servicios MRO que la generación anterior. En consecuencia, si bien las flotas mundiales crecerán a largo plazo, no está garantizado un crecimiento proporcional en el mercado del MRO civil.

2.7.5.2. Mercado Global Civil MRO. El mercado de MRO de aviación civil superó las expectativas en 2010 de \$ 43.6 mil millones, una disminución de 7.7% con respecto a 2009. Una CAGR de 4.4% se pronostica para la próxima década. Entre 2011 y 2015 hubo un retroceso en las tasas de crecimiento del sector, empujado por la mayor eficiencia de las aeronaves y el aprovechamiento máximo de las rutas aéreas, ya que el mercado mundial del MRO se vincula directamente con el tráfico de pasajeros y carga de las aerolíneas, a menos hora de traslados menor ingreso en el MRO.

2.7.5.3. Por tipo de actividad y región. La Figura 3.18 muestra el mercado MRO mundial desglosado por tipo de actividad y región. El sector de reacondicionamiento de motores es fácilmente el sector más grande del mercado con más de \$ 15 mil millones, o alrededor del 35% del gasto mundial en MRO en 2010. El siguiente segmento más grande fue mantenimiento de componentes con 23% seguido de mantenimiento de línea con el 20%. Por región, América del Norte representa el 32% de toda la actividad de MRO, seguida de Europa con el 30% y Asia-Pacífico con 17%.

Tabla 24. Mercado Global de MRO 2010



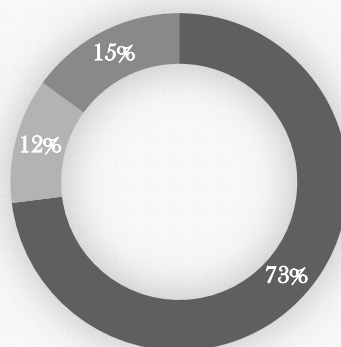
2.7.5.4. Métrica de Estados Unidos de MRO Estado por Estado: empleo y actividad económica. Aircraft MRO es una industria multimillonaria que emplea a miles de trabajadores en todo Estados Unidos. En 2008, California y Texas ocuparon los primeros lugares en el empleo e impacto económico en el MRO de la aviación estatal (ver Tabla 25, 26 y 27).

Tabla 25. Estados líderes por empleo y actividad en 2010

Empleo en mantenimiento aéreo: total de empleos (MRO más partes, manufactura y distribución)		Actividad económica en mantenimiento aéreo: impacto económica total (MRO más partes, manufactura y distribución)	
California	37,566	California	5.005
Texas	32,673	Texas	4.430
Florida	20,191	Arizona	2.700
Washington	13,898	Florida	2.684
Georgia	13,741	Washington	2.586
Oklahoma	14,485	Connecticut	2.291
Arizona	13,445	Georgia	1.705
Connecticut	12,109	Kansas	1.647
Kansas	9,792	Oklahoma	1.463
Nueva York	9,462	Ohio	1.278

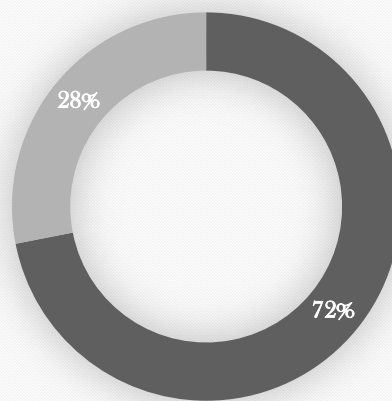
Fuente: AeroStrategy. (2010, May 5). *Aviation Maintenance Industry Employment and Economic Impact*, preparado por ARSA.

Tabla 26. Empleo en la industria del Mantenimiento Aéreo



- MRO Estación de Reparación (199,913 empleos)
- MRO Reparación de aire acondicionado y estaciones de línea (33,324 empleos)
- Manufactura de partes/distribución (41,396 empleos)

Tabla 27. Actividad económica en la industria del Mantenimiento Aéreo (miles de millones \$USDoll)



■ MRO \$24.1 ■ Manufactura de partes/distribución (\$14.9)

Fuente: AeroStrategy. (2010, May 5). *Aviation Maintenance Industry Employment and Economic Impact*, preparado por ARSA.

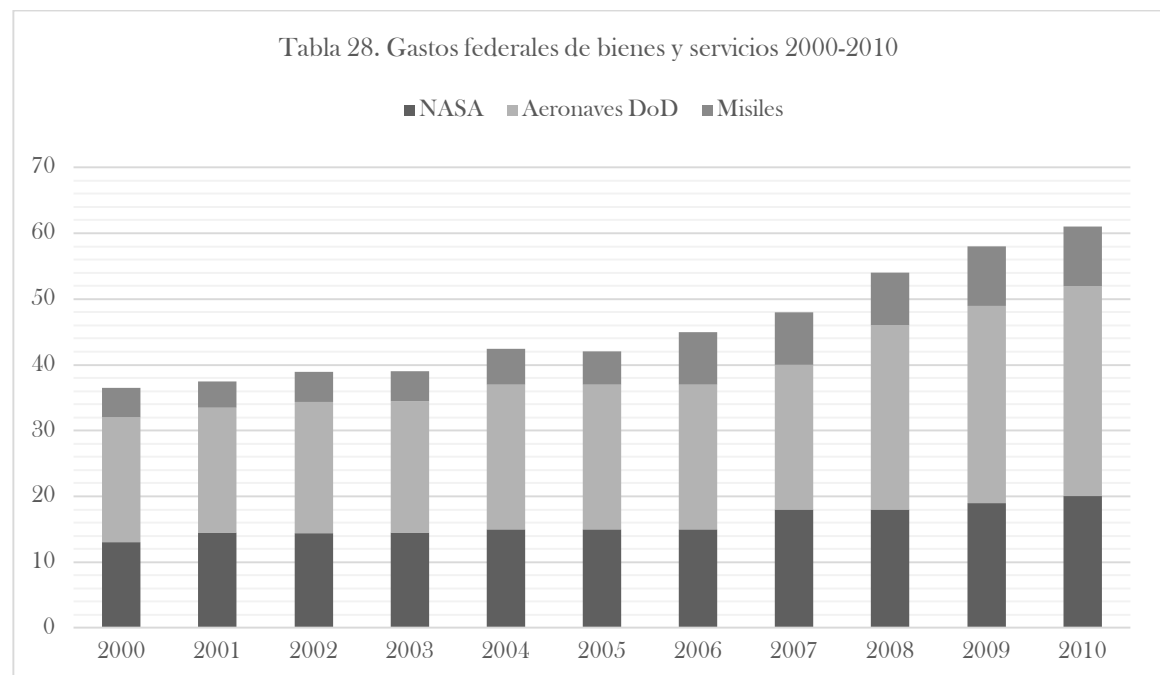
2.7.5.5. MRO militar. El mercado mundial de MRO de aviones militares superó los \$60 mil millones en 2009. El mantenimiento de campo representa casi el 50% del mercado global, seguido del marco aéreo, los componentes y el motor. América del Norte -con Estados Unidos encabezando- es el mayor mercado de MRO de aviones militares, representando poco más del 50% del mercado mundial, seguido de Europa con un 21%. Se pronostica que el gasto de MRO en aviones militares mundiales crecerá un 1.1% anual en promedio de 2009 a 2018. El Resumen de Operaciones y Mantenimiento del DOD - Estimaciones Presupuestarias del año fiscal 2012 indicaba que los niveles de financiamiento de O & M de aeronaves para la Fuerza Aérea y la Marina disminuyeron 17% y 3% respectivamente, en los años fiscales 2010-2012.

A partir de 2015, las jubilaciones de aviones militares empezaron a superar las entregas lo que se espera que continúen haciéndolo durante la próxima década. Si bien esto conducirá a una contracción del tamaño de las compras militares, se espera que los costos de soporte aumenten debido a la mayor complejidad del sistema. Una

de las razones principales fue que las nuevas aeronaves generalmente tienen capacidades superiores en comparación con las plataformas que están reemplazando, lo que significó que la tasa de reemplazo a menudo era menor que uno por uno. El MRO anual de aviones militares globales creció a \$ 62.3 mil millones en 2016, a pesar de la reducción de las flotillas.

2.8. Compras federales de productos y servicios aeroespaciales

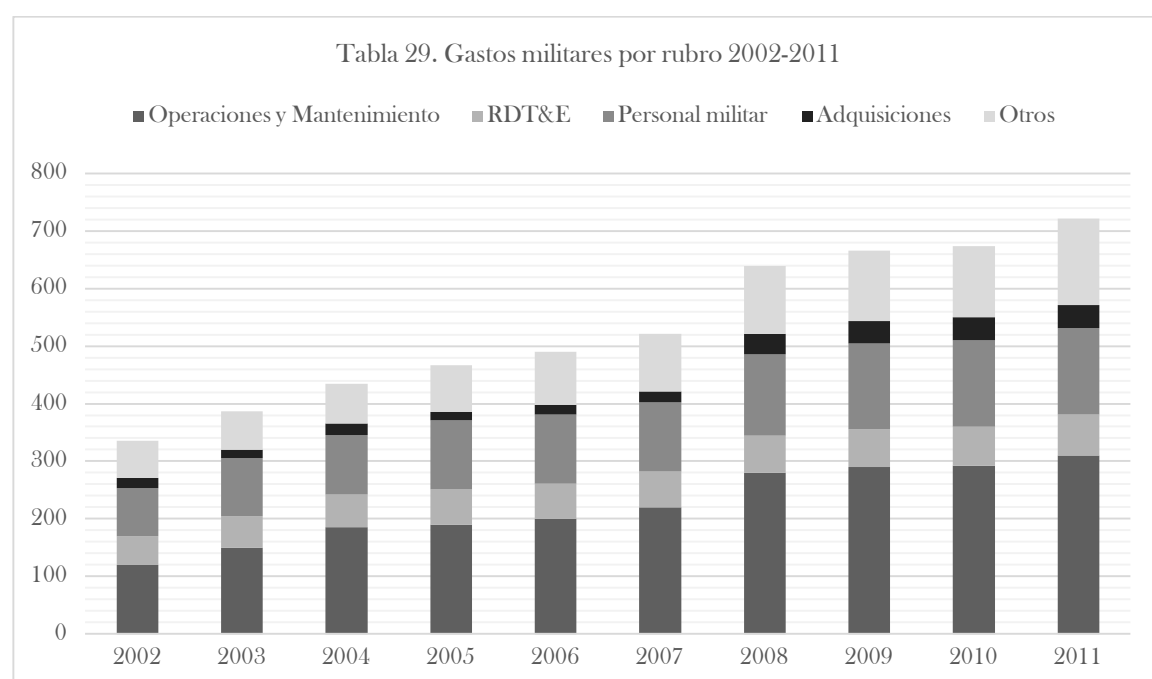
Los recursos federales para la adquisición de bienes y servicios aeroespaciales aumentaron año tras año desde 2000, alcanzando una tasa de crecimiento anual compuesto (CAGR) para el periodo 1999-2010 de casi el 6%. Durante este período, los gastos más grandes fueron para aeronaves del Departamento de Defensa (DoD), lo que refleja las fuertes demandas de las operaciones de combate de los Estados Unidos y las fuerzas aliadas. Sin embargo, el compromiso del ejecutivo federal por reducir el déficit del gasto público a partir del 2012 proyectó recortes en el DoD, de modo que los desembolsos federales para estos bienes y servicios aeroespaciales, incluidos los de la NASA, se redujeron, Tabla 28.



Fuente: Oficina de Administración y presupuesto, Ejecutivo Federal de los Estados Unidos.

Cifras en miles de millones de dólares EUA.

Específicamente, los desembolsos militares totales aumentaron sostenidamente cada año desde 1998 hasta 2010, actividades de financiamiento que incluyeron operaciones y mantenimiento (O & M); investigación, desarrollo, prueba y evaluación (RDT & E); personal militar; y adquisiciones (ver Tabla 29). Si bien cada una de estas categorías ha crecido significativamente en los últimos años, la O & M militar es de particular interés. Incluso con los recortes de defensa aplicados desde 2012, este sector podría ver un crecimiento anual adicional a medida que las actividades de combate sigan afectando a las aeronaves envejecidas de las fuerzas armadas, y debido al cada vez mayor número de aeronaves de reemplazo tecnológicamente sofisticadas que requieren soporte para capacidades que anteriormente no existían.



Fuente: Oficina de Administración y presupuesto, Ejecutivo Federal de los Estados Unidos.
Cifras en miles de millones de dólares EUA.

2.9. Impacto de los precios del combustible y normas ambientales en el mercado aeroespacial

Los precios crecientes del combustible implica una ajuste en las aerolíneas afectadas para mantener atractivo el mercado de vuelos comerciales, esto se ve reflejado en un programa de reemplazo de las viejas aeronaves por otras más eficientes en el consumo de combustible y con tecnología que cumpla con normas ambientales más estrictas.

Desde el 2001 las aerolíneas han hecho grandes esfuerzos para restringir sus costos de operación no invertido en combustible aumentando sólo 4.5% en una década. Sin embargo, el costo del combustible como porcentaje total de los ingresos de estas compañías aumentó del 14% en 2001 a alrededor del 33.5% en 2008, arrastrados por los precios del crudo, que paso de \$19 dólares por barril en la década de 1990 a \$51 dólares por barril en la década del 2000. Considerando que el pronóstico de la Administración de Información Energética de los Estados Unidos, en los próximos 20 años el precio del petróleo se ubicara alrededor de los \$103 dólares por barril en promedio. Este aumento motivó a las aerolíneas a reemplazar las aeronaves más antiguas con aviones más eficientes en el uso del combustible.

Adicionalmente, los enfoques de normatividad ambiental internacional son vez más estrictos respecto a la calidad del aire, las emisiones y los niveles de ruido; lo que obligó a las aerolíneas a intensificar la jubilación de aeronaves más antiguas, modernizar su flota, invertir en tecnología e infraestructura y mejorar las estrategias operativas de sus flotillas.

Las aeronaves de nueva tecnología con menores emisiones y perfiles de ruido podrán cumplir con regulaciones ambientales más exigentes, como las planteadas por la Unión Europea en el Esquema de Emisiones y Comercio. Derivado de esto, el desarrollo de los nuevos aviones permite una eficiencia de combustible de 3,5 litros por cada 100 kilómetros/ pasajero, pueden volar tres veces más distancia con la

misma cantidad de combustible que hace 30 años y son 20 decibeles más silenciosos que hace 40 años.

2.10. Tendencias para la industria

2.10.1. Materiales Compuestos. Existe un creciente mercado potencial para los proveedores de materiales compuestos para el sector aeroespacial, a medida que crece la demanda de aeronaves más eficientes en combustible. Se estima que la demanda de estructuras de motores compuestos durante el año 2007 acumuló alrededor de 1.49 millones de libras (675.85 toneladas métricas), lo que representa un valor de mercado de \$400 a \$450 millones de dólares. Se espera que esta demanda crezca a una tasa promedio anual del 7 por ciento hasta el año 2020, tendencia que ya alcanzó un máximo de 2.92 millones de libras (1324,49 toneladas métricas) en 2016.

Los fabricantes de aviones se centran en la creación de aeronaves eficientes en combustible y ecológicas. Una forma de lograr este objetivo es desarrollar aeronaves livianas mediante el uso de materiales y materiales compuestos nuevos, ya que el consumo de combustible varía de forma inversa a la relación elevación-resistencia de una aeronave a velocidades de crucero. Las relaciones de levantamiento a arrastre se pueden mejorar haciendo cambios en el diseño general de la aeronave. Cuanto mayor es la relación de sustentación-resistencia de un avión, menor es la energía necesaria para mantenerlo en vuelo.

El aluminio y el titanio son materiales aeroespaciales tradicionales, pero también dan más peso al producto final, lo que aumenta el consumo de combustible. Hoy en día, hay un uso creciente de materiales compuestos para reducir el peso y los costos de mantenimiento de un avión. A diferencia del aluminio, los materiales compuestos son entre un 20% y un 35% más ligeros, tienen una mayor relación resistencia/peso y pueden estar disponibles en las formas complejas asociadas con

aviones modernos. Aunque los materiales compuestos son relativamente más caros en la actualidad, se espera que sus costos disminuyan significativamente a través de la automatización de los procesos de fabricación y la consecución de una economía de escala.

Boeing fue el primer fabricante de aviones comerciales que diseñó y fabricó el 50 por ciento (en peso) de la estructura del fuselaje, incluyendo todo el casco de su nuevo B787 Dreamliner, a partir de materiales compuestos en comparación con el Boeing 737 original, de los cuales solo el 5 por ciento es material compuesto. El uso de materiales compuestos también permite extender el tiempo entre los intervalos de mantenimiento "D-check" de hasta 10 y 12 años, en contraste con los seis años habituales para aviones como Boeing 767 o Airbus A330.

America's Hexcel de Estados Unidos es un líder mundial en materiales estructurales avanzados. HITCO Composite Materials de Estados Unidos y Toho Tenax de Japón también son productores líderes de fibra de carbono. La única empresa europea que fabrica materiales compuestos con ingresos de más de mil millones de euros es la holandesa TenCate.

2.10.2. Propulsión. En el segmento de propulsión, los dos principales conceptos competitivos del futuro son el Geared Turbofan (GTF) y el Open Rotor. GE y Rolls-Royce están investigando en motores de rotor abierto con la creencia de que la tecnología de rotor abierto tiene la capacidad de reducir el consumo de combustible en un 26% con respecto a los motores convencionales actualmente disponibles. Por otro lado, Pratt & Whitney está desarrollando el concepto de Geared Turbofan (GTF). Ambas tecnologías parecen ser extremadamente prometedoras en términos de reducción de emisiones y eficiencia de combustible, pero el concepto GTF parece ya fue lanzado al mercado con GTF (PW1000G) seleccionado como

fuelle de energía para los aviones regionales Bombardier serie C y Mitsubishi a finales del 2013. Este motor proporciona mejoras de dos dígitos en eficiencia de combustible y emisiones, además de una reducción del 50% en el ruido de los motores actuales. Si este motor tiene ejecuciones exitosas a lo largo del tiempo, entonces su versión más grande puede verse como un contendiente para los reemplazos de cuerpo angosto de Airbus y Boeing que probablemente aún estén en camino para el 2020.

2.10.3. Combustibles. La industria aeroespacial está explorando posibilidades de combustibles alternativos para disminuir la vulnerabilidad a la variabilidad del precio del petróleo, reducir la dependencia general del petróleo crudo y disminuir las emisiones. La crisis del combustible en 2008 ha demostrado lo sensibles son las líneas aéreas ante el rápido aumento de los precios del combustible. El desarrollo de biocombustibles sostenibles y seguros, producidos a partir de recursos biológicos abundantes y renovables en lugar de combustibles fósiles tradicionales, puede reducir la exposición de la industria a las fluctuaciones del precio del petróleo y tener beneficios ambientales de largo alcance.

Los biocombustibles generalmente se derivan de reservas de alimento de una de dos fuentes clave: (1) plantas con alto contenido de azúcar (por ejemplo, maíz y caña de azúcar) y (2) plantas que son ricas en aceites bioderivados (por ejemplo, soja, algas). Los biocombustibles producidos a partir de la primera fuente de material de alimentación, incluido el etanol, generalmente se denominan biocombustibles de primera generación y son inadecuados para aplicaciones de alta gama como la aviación. Por otro lado, los biocombustibles de segunda generación compuestos de aceite de derivados biológicos pueden procesarse químicamente para producir combustible de aviación y diesel de alta calidad.

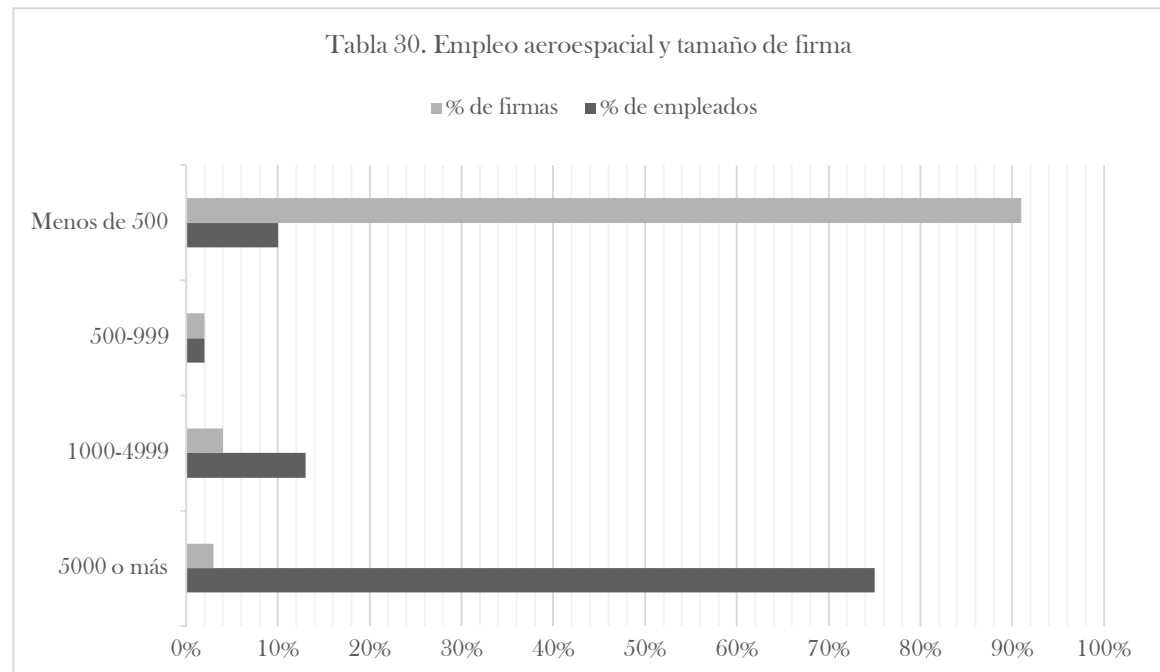
Sin embargo, se espera que tome muchos años, más inversión en R&D y ampliación de la capacidad de producción y refinación antes de que los biocombustibles puedan suplantarse por completo el combustible de jet tradicional a base de queroseno para su uso a gran escala en la aviación civil. Las aerolíneas también están mostrando signos de compromiso para avanzar en su desarrollo en el campo de los biocombustibles. Casi 20 aerolíneas importantes -incluidas varias de las aerolíneas más grandes de pasajeros y carga de Estados Unidos- han firmado compromisos de compra no vinculantes con productores de combustibles alternativos.

2.10.4. Blended Wing Body (BWB). El avión BWB es otro avance tecnológico que conduce a la creación de aviones con mayor eficiencia en el consumo de combustible. La fuerza aérea de los EE. UU. Ya opera un avión de este tipo: Northrop Grumman B2 Bomber y, por lo tanto, ya ha desarrollado las tecnologías clave necesarias, como la aviónica, la integración del motor y las estructuras. Según los estudios de la NASA y la industria, el avión de BWB consumiría hasta un 20% menos de combustible que un avión convencional comparable, sería más liviano, y haría menos ruido. Simultáneamente, este avión también emitiría menores gases de invernadero y tendría un costo operativo menor que un avión de transporte convencional igualmente avanzado.

2.11. Puestos de trabajo en la fabricación aeroespacial de EE. UU

La industria aeroespacial está integrada por una gran cantidad de pequeñas empresas, que generalmente son proveedores de segundo y tercer nivel de las principales compañías aeroespaciales. Estas empresas dependen de una base laboral constituida por trabajadores con educación superior, altamente capacitados, poseedores de habilidades basadas en tecnologías recientes y con la capacidad de obtener habilidades futuras. Si bien las pequeñas y medianas empresas representan

aproximadamente el 78% del número total de empresas de servicios aeroespaciales, emplean a sólo el 7.3% de todos los trabajadores aeroespaciales. Las empresas con 1,000 empleados o más, como Lockheed Martin, Boeing y Northrop Grumman, representan menos del 5% del número total de empresas aeroespaciales pero emplean a casi el 50% de todos los trabajadores aeroespaciales (ver Tabla 30).



Fuente: Estadística de Negocios Estadounidenses 2008 NAIC 3364.

Según lo informado por la Oficina de Estadísticas Laborales, en 1990 el empleo aeroespacial de Estados Unidos fue de 1.1 millones, pero disminuyó de manera constante a un mínimo de 587,000 en 2003, en gran parte debido a la consolidación sustancial entre las compañías aeroespaciales y de defensa y las ganancias significativas en la productividad de los trabajadores. A partir de 2003, el empleo aumentó a 660,000 en 2008, impulsado por un fuerte crecimiento tanto en el gasto de defensa como en la demanda de aviones comerciales. Desde 2008, el empleo ha disminuido a aproximadamente 620,000 (a mediados de 2011), que es 5.6% más alto que el punto bajo en 2003.

2.12. Fusiones y Adquisiciones (M&A) en el sector aeroespacial en el periodo posterior a la crisis de 2008

El sector aeroespacial tuvo un total de 173 ofertas, valoradas en \$10,997 millones de dólares, durante los primeros 11 meses de 2010, superando el número total de las 166 transacciones cerradas en el 2009. En el 2010 el valor total de las M&A tuvo una disminución respecto al 2009 con \$19,493 millones de dólares, así como en el promedio del tamaño de los acuerdos, de los \$320 millones en 2009 a los \$190 millones en 2010 frente. Es importante mencionar que estos datos están vinculados por el valor de una transacción de \$13,100 millones de dólares por la adquisición de Atitech Spa, lo que representó casi el 67% del valor total de todas las transacciones que se materializaron en 2009. Sin embargo, si se aísla este dato de venta, en 2009 el volumen en dólares habría sido mucho menor en comparación con 2010, cuyo acuerdo más importante fue la adquisición de Vought Aircraft Holdings Inc. por Triumph Group Inc. por \$1,500 millones de dólares.

En el mercado global Estados Unidos registró el mayor valor de transacciones con \$8,485 millones producto de 68 operaciones en los primeros 11 meses de 2010. Rusia fue el segundo lugar con un valor de \$218 millones en 17 transacciones. En términos de cantidades de transacciones Europa fue el líder global; sin embargo, en cuanto al valor de transacción, Estados Unidos superó al resto del mundo.

Tabla 31. Fusiones y adquisiciones (2009-2010)

	2010	2009
Número de transacciones	\$173	166
Valor de las transacciones (Millones Dólares EUA)	\$10,997	\$19,493
Promedio del tamaño de la transacción (Millones Dólares EUA)	\$64	\$117
Promedio del valor de la empresa/Ingresos	1.1x	1.7x
Promedio del valor de la empresa/Beneficios antes de Intereses, Impuestos, Depreciación y Amortización.	9.6x	7.4x

Las tres regiones más importantes en 2010	No. de transacciones	Valor (millones dólares EUA)
Estados Unidos y Canadá	69	\$8,485
Europa	73	\$1,163
Asia Pacífico	18	\$1,125
Los cinco países más importantes en 2010	No. de transacciones	Valor (millones dólares EUA)
Estados Unidos	68	\$8,485
Rusia	17	\$218
Reino Unido	15	\$505
China	12	\$605
Francia	10	\$122
Actividad por subsector	No. de transacciones	Valor (Dólares EUA)
Mantenimiento y servicios	52	\$2,432
Sistemas de aviación, componentes y equipamiento	68	\$6,524
Otros	53	\$2,041

El tamaño de las transacciones se calcula sobre la base de las transacciones con los valores de transacción revelados de 58 transacciones en 2010 YTD y 61 transacciones en 2009.

Fuente: Capital IQ

Hay dos factores determinantes en la configuración de la demanda de aeronaves para el periodo 2010-2029: los precios de los combustibles y normas ambientales, y la creciente necesidad de aeronaves comerciales a escala global.

2.13. Resumen del estado de la industria estadounidense

A pesar de los problemas de su entrono, la industria aeroespacial de Estados Unidos registró ha mostrado un desempeño sólido desde 2010. La producción manufacturera de aviones y otros productos aeroespaciales no ha sido uniforme en todos los sectores, pero el rendimiento general de la industria ha sido constante.

Los factores clave para el desarrollo del mercado de transporte aéreo civil han sido (1) la sustitución de aviones con modelos más nuevos y más eficientes en combustible en mercados maduros, (2) fuerte crecimiento en mercados emergentes, (3) mayor liberalización de rutas, (4) crecimiento de capacidad en rutas existentes y (5) crecimiento acelerado de aerolíneas de bajo costo. particularmente en Asia-Pacífico y Europa.

La gran demanda del sector de defensa en los últimos años aligeró parte de la carga causada por la desaceleración económica mundial, pero aún quedan desafíos por delante para el sector de defensa ya que el gobierno federal esta obligado a reducir

la deuda nacional. La NASA y el sector espacial también enfrentó desafíos, pero nuevas oportunidades surgieron a medida que continúa la comercialización privada del espacio.

La aviación general y la industria de la aviación civil parecen estar preparadas para crecer a medida que la economía mundial continúa recuperándose. Exceptuando los eventos imprevistos, como el aumento del precio del combustible, las perspectivas generales para la fabricación aeroespacial han sido prometedoras de 2012 a la fecha.

Durante décadas, el sector aeroespacial ha representado una parte importante de las exportaciones de Estados Unidos, generando un saldo comercial positivo para la industria aeroespacial. Se espera que las exportaciones aeroespaciales civiles mejoren a medida que la economía mundial se recupere, lo que ha hecho probable que los recortes en los gastos de defensa sean parcialmente compensados por exportaciones militares adicionales de este país.

A medida que el crecimiento del PIB de los mercados emergentes supere al de las naciones desarrolladas, se espera que la tasa de crecimiento de las exportaciones de productos y servicios aeroespaciales de los Estados Unidos hacia los mercados emergentes supere la tasa de crecimiento hacia los países con los que tradicionalmente mantiene relaciones comerciales más sólidas.

2.14. Industria aeroespacial en California

El sector aeroespacial es una de las fuentes de empleos e ingresos más importantes de California, lo que ha llevado a que el estado mantenga el liderazgo global durante más de un siglo. Tanto las empresas privadas como las organizaciones de gobierno asentadas en California son fundamentales para la estabilidad comercial, civil y de seguridad nacional para los Estados Unidos; esta industria representa una de las principales fuentes de trabajo, con medio millón de empleos bien remunerados,

significativas aportaciones fiscales e innovación en el ámbito tecnológico. En este capítulo se muestra la relevancia de la industria aeroespacial de California y su impacto en la planta laboral, ingresos de la industria nacional y participación en el mercado global de este sector industrial.

2.14.1 Rasgos Generales de la industria aeroespacial en California. El estado representa el 9% del mercado global combinado del sector, con 62,000 millones de dólares al año, lo que representa el 21% de lo generado por esta industria en todo Estados Unidos. Mantiene el liderazgo mundial en rubros específicos del sector: (1) el mercado espacial de manufactura satelital y servicio de ingeniería con el 9% del mercado global, (2) servicios de satélites con el 26% y (3) el mercado aéreo de Search, Detection, Navigation, Guidance and Nautical (SDNGN) con el 20%.

Anualmente genera 203 mil empleos directos, con 64 mil comerciales y 139 mil militares y 307 mil empleos indirectos para un total de 511 mil empleos.

³Representa la segunda industria en generación de ingresos con 61,600 millones de dólares, divididos de la siguiente manera, cifras en millones de dólares (U.S.

Department of Commerce-Bureau of Economic Analysis, 2012; U.S. Department of Labour-Bureau of Labor Statistics, 2012):

1. 1,100 en ingeniería y partes.
2. 1,500 en lanzamientos.
3. 2,400 en aeronaves.
4. 2,800 en MRO.
5. 3,200 en otras partes.
6. 4,100 en servicios de ingeniería.
7. 4,600 en servicios en tierra
8. 4,900 en manufactura satelital.

9. 7,100 en SDGN.

10. 29,800 en servicios satelitales.

El impacto económico combinado es de \$100,400 millones de dólares, \$61,600 directos y \$38,800 indirectos, solo detrás del sector biociencias con \$69,200 millones de dólares y por delante de agricultura con \$34,800 y artes, entretenimiento y recreación con \$27,000 (Office of Governor Edmund G. Brown, 2013).

Entre las ventajas competitivas de California son significativas las compañías con una posición global de liderazgo, fuerza de trabajo con elevados índices de calificación y altas habilidades, liderazgo en la mayoría de los subsectores de la industria, concentración de un ecosistema de compañías lo que permite espacios de colaboración inter, intra y transdisciplinaria en términos de innovación.

Sin embargo el estado debe subsanar algunos retos y debilidades como la disminución del gasto gubernamental, altos niveles de regulación y restricciones fiscales estatales, el costo de vida de la fuerza laboral que sostiene a esta industria, el precio elevado de los bienes raíces en las principales regiones del cluster aeroespacial lo que reduce los montos de inversión, competencia con otros estados que utilizan fuertes estrategias de mercado e incentivos fiscales más agresivos que los de California.

Entre algunas de las medidas que el estado ha empezado a tomar sobresalen: (1) incrementar la competitividad y el incentivo de inversión mediante políticas fiscales y fortalecimiento de las políticas de desarrollo industrial estatal; (2) reducir o eliminar las restricciones regulatorias; (3) negociar a nivel federal fondos para la generación de proyectos; (4) invertir en Ciencia, Tecnología, Ingeniería y Matemáticas en las escuelas y universidades; (5) incrementar la capacidad de atraer y

retener talento; (6) ofrecer orientación para la gestión de los obstáculos ambientales de California.

Las claves del impacto de California a la economía de los Estados Unidos se explican con: (a) los altos ingresos para los sectores de información y manufactura de la industria espacial tienen un efecto positivo en el impacto económico global; (b) otras industrias beneficiadas por esta industria son finanzas, bienes raíces, construcción y transporte/almacenamiento.

El sector aeroespacial genera aplicaciones que son utilizadas en otros sectores clave para otros sectores como medicina, entretenimiento, agricultura, energía, educación, gobierno local, exploración espacial, seguridad nacional, navegación, transporte, monitoreo ambiental y negocios/telefonía.

Los programas de la industria espacial con fondos gubernamentales y privados generan pequeñas empresas de innovación en diversos sectores económicos de California. Por ejemplo, los programas de transferencia de tecnología de la NASA y de innovación para pequeñas empresas permitieron, entre 1976 y 2012, el desarrollo de 1691 productos, el 18% del total con 312 desarrollos corresponden a California, y se dividen en las siguientes aplicaciones finales: 63 en computación, 55 en medicina y salud, 50 en manejo del medio ambiente e investigación, 48 en producción industrial/tecnología de manufactura, 40 en seguridad pública, 39 en consumidor/hogar/recreación y 17 en transporte.

A pesar de un modesto incremento del 0.9% en los ingresos durante el periodo de recuperación de la crisis, entre 2008 y 2012 en el que la industria comercial aeronáutica de California perdió 11,800 empleos y el sector militar terminó ganando 1,300; el estado ha presentado una recuperación en los ingresos por ventas de forma sostenida hasta el año 2015 aunque aún por debajo de las tasas de crecimiento

anteriores al 2009. Los factores de esta comportamiento mixto son: (1) aumentos en los pedidos de aeronaves comerciales y; (b) las mayores reducciones en el gasto del Departamento de Defensa en los programas de aeronaves están afectando el empleo del sector privado. Esto se agrava por la competencia en los pedidos de aviones comerciales con las empresas extranjeras. La crisis en el corto plazo fue tan severa que entre el 2010 y 2012 la industria aeronáutica de California contrajo el crecimiento del empleo y los ingresos de la economía de los Estados Unidos en 6% y 7% respectivamente.³³

Esto provocó que en California, la pérdida de empleos ha provocado una reducción neta de los ingresos fiscales anuales fuera de 82,5 millones de dólares, por lo que entre el 2009 y 2012 el impuesto al ingreso estatal tuvo una reducción de 90.9 millones de dólares, mientras que el impuesto corporativo en California se incrementó en el mismo periodo en 8.4 millones.

Las dinámicas de transformación de la industria en los últimos 6 años están contribuyendo a los cambios estructurales de la aeronáutica en California. Se pueden identificar tres tendencias que influyen de forma diferenciada en los resultados de la industria:

1. Transitar hacia una estructura industrial fragmentada, debido a que la escena de la industria aeroespacial en California ha estado dominado por un puñado de grandes empresas y una considerable fragmentación en la base del sub-nivel de suministro, de este modo las presiones de consolidación podrían conducir a la salida de participantes más débiles y a la adquisición de empresas más pequeñas.
2. Un cambio en la base laboral provocó el cierre definitivo o temporal de programas grandes como el C-17, lo que llevó a una disminución en los

puestos de trabajos de manufactura, mientras que el crecimiento en la demanda de los aviones comerciales y la investigación financiada por el gobierno creó oportunidades para la innovación y la diversificación de los métodos tradicionales

3. Globalización del suministro, ya que el estado es un polo de atracción para las compañías aeroespaciales con una base de suministro especializada local y la disponibilidad de una mano de obra calificada capaz, la globalización paulatina de la oferta ha ampliado la base manufacturera y ha introducido operadores de bajo costo, lo que está afectando el panorama competitivo del estado.³⁵

Tabla 32. Marco de competitividad de la industria aeroespacial de California

Capacidades del ecosistema	Base de la oferta y la demanda (a) Base manufacturera fuerte pero la competencia internacional es una de las principales amenazas. (b) La base de clientes intra estatales disminuye en la medida en que se reducen los contratos gubernamentales. Ventaja amenazada con tendencia estable.	Academia, R&D y Fuerza de trabajo (a) Fuerza de trabajo capaz y experta en todo el estado. (b) Numerosas universidades técnicas abastecen a la industria. Ventaja con tendencia a empeorar.
	Costo de competitividad. (a) Las propuestas de ley 93 y 927 dan incentivos fiscales pero retrasa otros estados. (b) El costo es un reto debido a las altas tasas impositivas y el costo de vida desincentiva la inversión. (c) Los salarios en estados competitivos empiezan a igualarse. Desventaja-Tendencia a mejorar.	Facilidad para hacer negocios. (a) Se mantienen los estrechos controles ambientales. (b) Ambiente regulatorio difícil. (c) La indiferencia política hacia la industria está mejorando lentamente con el incremento en el apoyo del Congreso y la Asamblea Estatal. Desventaja-Tendencia estable
Clima comercial		Clima intelectual y político

Tabla 33. Tendencias.

Globales	Estados Unidos
(a) El número de agentes comerciales y programas espaciales nacionales se incrementa.	(a) Con la Política Nacional Espacial 2010, el gobierno de los Estados Unidos se ha dejado de enfocar en los temas de seguridad nacional para dar mayor énfasis al desarrollo comercial de las capacidades espaciales.
(b) Continúa la fuerte competencia entre los proveedores de Estados Unidos, Europa, multinacionales y Rusia; en tanto los nuevos participantes de unen, reintegran o avanzan hacia el mercado de lanzamiento comercial.	(b) Nuevos participantes como SpaceX y Orbital se han posicionado agresivamente por ellos mismos en el mercado comercial de lanzamiento.
(c) La globalización se incrementa por medio de las inversiones directas y el comercio internacional, sobre todo en productos de alta tecnología.	(c) La reducción de los presupuestos federales han desestabilizado a la industria, al menos en el corto plazo: una reducción de 500 mil millones de dólares (mmdls) en el gasto de defensa en la próxima década reducirá la inversión y la contratación de mano de obra; la reducción de los fondos en investigación y desarrollo plantean desafíos para mantener el liderazgo tecnológico.
(d) Brasil, China, India, Rusia y otros países están incrementando sus exportaciones de tecnología espacial.	(d) Una reducción de los científicos aeroespaciales y de defensa del 2005 al 2020 es una amenaza para la competencia nacional.
(e) La demanda global de satélites se mantiene fuerte, impulsada por un crecimiento sustancial en Asia y un sólido crecimiento en Medio Oriente.	(e) La fortaleza en la industria digital y de telecomunicaciones representa una oportunidad para el crecimiento futuro.
(f) Los clientes del sector público en todo el mundo continúan siendo esenciales como inversionistas en misiones de ciencia institucional y otras actividades espaciales de R&D.	
(g) En los próximos cinco años el crecimiento será probablemente impulsado por la economía digital y la industria de las telecomunicaciones.	

California es el líder de mercado global espacial con el 19%, los rubros de este subsector en los que más sobresale son (Federal Aviation Transportation, 2012a; Federal Aviation Transportation, 2012b; National Aerospace Agency, 2013; Organization for Economic Co-operation & Development, 2014; Satellite Industry Association, 2014):

1. Servicios de Ingeniería con el 29% de participación contra 52% del resto de Estados Unidos y 18% el resto de las economías mundiales.
2. Manufactura de satélites con el 29% del mercado seguido del 33% de EUA y 38% el resto del mundo.
3. Servicios de Satélite con el 26%, mientras que el resto de EUA tiene el 17% de participación y 54% el resto del mundo).
4. Industria de Lanzamiento con el 15%, 36% resto de EUA y 59% resto del mundo.

5. Adicionalmente tiene una sólida presencia en Equipo de Tierra con el 6% de participación en contraste con el 38% del resto de EUA y el 36% del resto del mundo.⁸

2.14.2. Lanzamientos. California tiene también una creciente participación en la industria global de Lanzamiento. El 15% de los lanzamientos en el periodo 2012-2014 fueron programados desde este estado, el resto de Estados Unidos tiene 29% del total mundial y 59% del resto del mundo. Tres de los trece lanzamientos efectuados en EUA en 2012 tuvieron lugar en Vandenberg AFB en California. Entre el 2007 y el 2012 hubo un incremento de ingresos del 16% en estos servicios. El 64% de todos los lanzamientos mundiales fue financiado por los gobiernos, en el caso de Estados Unidos el porcentaje es mayor, con 75%. El incremento de los ingresos en los servicios de lanzamiento es impulsado por el incremento de los costos debido al lanzamiento de vehículos más grandes y caros, y la agrupación de satélites pequeños en un solo lanzamiento.

Tabla 34. La industria de Lanzamiento es uno de los sectores con mayor crecimiento mundial

Año	Procedimientos comerciales de lanzamientos globales (miles de millones de dólares)	Ingresos por lanzamiento (millones de dólares)
2007	3.2	74
2008	3.9	80
2009	4.7	102
2010	4.4	82
2011	4.8	86
2012	6.7	125

Sin embargo, pese al impulso gubernamental de estos servicios significativamente más elevado en los Estados Unidos, este país ha perdido participación en las órdenes del mercado de lanzamiento debido a los bajos costos de los competidores internacionales y a la obligación ejecutiva de reducir el déficit fiscal, lo que se ha reflejado en una reducción del 22% de los servicios.

Tabla 35. Participación de las órdenes ganadas globalmente.

Año	No.de órdenes	Estados Unidos	Resto del mundo(%)
2008	47	54%	46%
2009	49	41%	59%
2010	25	32%	68%

Tabla 36.Geografía de los costos por vehículo de lanzamiento.

Empresa	País	Costos (millones de dólares)
Delta IV	EUA	222-417
Atlas V	EUA	118-270
Falcon 9	EUA	56
Arlane 5	Francia	220
Zenit	Rusia	100
Proton M	Rusia	95
Soyuz	Rusia	61
Long March 4	China	105
Long March 3	China	70
Long March 2	China	20
PSLV	India	26

2.14.3. Manufactura de satélites. En este rubro California es líder global con el 29% de participación y 4,900 millones de dólares, en tanto que el 33% corresponde al resto de EUA con 5,700 millones de dólares y el 38% el resto del mundo con 6,400 millones de dólares. Los operadores estatales más importantes son Lockheed Martin, Boeing y SS/Loral, sin embargo el estado se encuentra trabajando con Center of Applied Competitive Technologies (CACT) a través del programa Economic and Workforce Development del California Community College para solucionar el problema de disponibilidad de mano de obra calificada.

Entre los factores que sostienen este liderazgo se encuentran:

1. La proliferación de contenido digital que impulsa la demanda comercial de satélites.
2. La eliminación en 2013 de los controles de exportaciones de satélites de la International Traffic Arms Regulations (ITAR) del Departamento de Estado

de los EUA, lo que ayudo a abrir la cartera de clientes al mercado internacional.

3. La competencia internacional está creciendo particularmente con la Unión Europea y Rusia, por lo que se constituyen nuevas empresas multinacionales para competir mejor en estos mercados. Rusia empezó a adoptar desde 2011 exactamente los mismos estándares estadounidenses para competir en suelo de Estados Unidos.
4. Se espera un crecimiento importante en la demanda de microsátélites.

California recibe el 28% de gasto del Departamento de Defensa Espacial enfocado a Manufactura de Satélites, esto representó una inversión de 5,400 millones de dólares en 2012, en tanto la administración federal destino el 71% de su presupuesto en este rubro al resto de EUA con 13,900 millones de dólares y el 1% en desarrollos generados fuera de su territorio con 200 millones.

Tabla 37. Gasto externo de DOD Space por categoría.

Categoría	Monto del gasto (mmdls)	California	Resto de Estados Unidos	Resto del mundo
Manufactura de satélites	7.1	35%	65%	0
Sistemas de tierra	7.0	17%	80%	3%
Servicios de ingeniería	2.9	30%	69%	1%
Lanzamiento	2.5	33%	66%	0

2.14.4. Servicio de satélites. El 26% del servicio global es desarrollado en California, con un ingreso de \$29,800 millones de dólares, en comparación de los \$22,000 millones del resto de EUA con el 19% de participación, y 54% del resto del mundo con \$61,800 millones.

Los puntos relevante de este subsector en el estado son: ¹³

1. Direct to Home es el mayor contribuyente del mercado con el 80% de los ingresos con 90,000 millones de dólares.

2. Direct TV en El Segundo obtuvo ingresos por 29,700 millones de dólares lo que representa el 33% del ingreso de televisión por satélite.
3. En general el sector de servicios por satélite creció un 5% en 2012 respecto a 2011, en consonancia con la demanda de los consumidores y con el mayor crecimiento del 20% en tele detección impulsado por el gasto del gobierno de los Estados Unidos.
4. ViaSat es otro de los participantes de Ca con servicios de comunicación móvil por satélite.

Tabla 38. Distribución del mercado por segmento en 2012.

Segmento	Monto total (mmdls)	California (mmdls)	Resto de EUA (mmdls)	Resto del mundo (mmdls)
Direct to Home	\$90.0	33%	16%	51%
Digital Audio Radio	\$3.6	--	95%	5%
Fixed Sat. Svc.	\$16.4	--	21%	79%
Mobile Sat. Svc.	\$2.4	3%	19%	78%
Remote Sensing Svc.	\$1.3	--	68%	32%

¹³Fuente: SIA; Company annual reports; Bloomberg; Daily Finance; A.T. Kearney analysis

Tabla 39. Muestra de estudio.

Segmento	Código NAICS
Manufactura Aeronáutica.	336411 (Conversión, fabricación, revisión o reconstrucción de aeronaves, incluye helicópteros, dirigibles, planeadores, UAVs, ultraligeros y autogiros).
Ingeniería y Manufactura de Partes.	336412 (Fabricación de motores y piezas, revisión, reconstrucción y prototipos).
Otras Partes Aeronáuticas y Equipo Auxiliar.	336413 (Ensamblaje de aeronaves, sub ensamblaje, frenos, mandos, fuselaje, hélices, ruedas, fuselaje y empalmes).
Búsqueda, Detección, Navegación, Orientación e Instrumentos Náuticos.	334511 (Instrumentación de aviones incluyendo radar, ATC, navegación, velocidad, etc ...).
Mantenimiento, Reparación y Revisión de Aeronaves (MRO).	488190 (MRO de aeronaves, servicios especializados para el transporte aéreo incluyendo mantenimiento, reparación, abastecimiento, inspección y pruebas).

Las empresas de California se extienden por toda la industria del Espacio y lideran segmentos importantes como Fabricación de Satélites.

Tabla 40. Empresas del sector en California.

Segmento		Empresa en California	Líder del sector	Proveedor base de algún tipo	Posición débil en el sector
Lanzamiento		SpaceX Boeing Launch Services	3/4		
Manufactura de satélites.	Primaria y carga útil	Lockheed Martin (Sunnyvale) Boeing Northrop Grumman SS / Loral SAIC	4/4		
	Propulsión	Aerojet Rocketdyne	3/4		
	Nivel 2/3	L-3			0/4
Equipo en tierra		ViaSat Trimble Magellan Mio		1/2	
Servicios de ingeniería		The Aerospace Corp Raytheon Jacobs Technology SAIC	4/4		
Servicios de satélite	Direct-to-home	Direct TV	4/4		
	Audio/Radio Digital (DARS)				0/0
	Fixed Satellite Service (FSS)	ViaSat		1/2	
	Mobile Sat. Service (MSS)				0/0
	Sensores remotos	Skybox Imaging Planet Labs		1/2	

Las principales compañías espaciales de California mantienen una sólida posición global, con un fuerte crecimiento desde 2007 en Ingeniería y Servicios.

Tabla 41. Top 50 de empresas espaciales.

	1999	2003	2007	2011
California	8	9	9	11
Resto de EUA	21	21	23	18
Resto del mundo	21	20	18	21

Tabla 42. Compañías californianas en la lista.

Nombre	Rank 1999	Rank 2003	Rank 2007	Rank 2011
Boeing	1	1	2	2
Northrop Grunman	25	5	3	4
Raytheon	5	4	5	5
Trimble Navigation	n/a	17	14	10
SS/Loral	7	20	21	16
ViaSat	n/a	28	36	22
Jacobs Engineering	n/a	38	30	23
SAIC	n/a	6	13	28
Aerojet	26	30	25	34
Wyle	n/a	n/a	n/a	37
Kratos Defense	n/a	n/a	n/a	42

Como dos ejemplos de las ventajas únicas de California en el contexto global de la industria espacial, pueden resultar sobresalientes los proyectos:

1. El desarrollo del el 702SP (Small Platform) completamente propulsado por electricidad y desarrollado por Boeing Commercial Satellites & Space Exploration Technologies, permite reducir el peso del satélite manteniendo las capacidades de uno más grande; la empresa se asoció con SpaceX para vender el producto con el sistema de lanzamiento Falcon9 incluido en el precio de venta, lo que reduce a la inversión al consumidor.
2. Skybox Imaging & Planet Labs, Skybox combina el Big Data para brindar imágenes cercanas a tiempo real para clientes comerciales se unió a Planet Labs que usa un enjambre de 20 microsátélites para brindar cobertura de alta frecuencia a escala planetaria.

Tres grandes centros de investigación de la NASA que emplean al 28% de la plantilla laboral de la Agencia se encuentran en California. Ames con 1,200 empleados (5%), Dryden con 570 (2%) y el JPL con 4,800 empleados (21%).

Gran parte del financiamiento de la investigación académica de California se destina a categorías ajenas a campo espacial.⁴³ Una cooperación más estrecha con

Silicon Valley puede desbloquear sinergias de I + D sin igual. El ejemplo es el entorno al Ames Research Center; en él se encuentran las firmas Space Systems/Loral (Diseño de satélites y manufactura), Lockheed Martin Space Systems, Skybox Imaging (Startup de Medición Remota), el campus conjunto Google/NASA de Carnegie Mellon. Los inquilinos del parque de investigación de la NASA incluyen más de 26 corporaciones, cinco instituciones académicas y ocho organizaciones sin fines de lucro.

Entre los socios selectos destacan:

1. Going Green: Google's Earth Engine database combines satellite imagery from NASA's Landsat 7 satellite with programming and parallel computing to provide researchers everywhere a detailed and local look at global deforestation between 2000-2012.
2. Computación cuántica: En 2013, Google, el Centro de Investigación Ames y la Asociación de Investigaciones Espaciales de Universidades se asociaron para llevar a cabo una investigación avanzada en computación cuántica con el objetivo final de mejorar enormemente la inteligencia artificial.
3. Incubating Space Technologies: Startup Made In Space en el Ames Research Center ha desarrollado y probado la primera impresora 3D de gravedad cero en colaboración con la NASA, para enviar a la Estación Espacial Internacional en la segunda mitad de 2014.

Tabla 43. Gastos total en R&D vs gasto en espacial (millones de dls, 2011).

Universidad	Toda Investigación y desarrollo académico	Relacionado con el campo espacial
John Hopkins	2,145	1,204
U. de Miami Ann Arbor	1,279	290
U. de Washington en Seattle	1,149	374
U. de Wisconsin en Madison	1,112	281
Duke	1,022	113
UCSD	1,090	351
UCSF	995	14
UCLA	982	185
Stanford	908	276

3.14.5. Aeronaves

Tabla 44. Tendencias.

Globales	Estados Unidos
Aviación comercial (a) Las economías emergentes de Asia y América Latina han y seguirán alimentando aumentos en las ventas de Aeronaves Comerciales impulsando la expansión geográfica por parte de las principales compañías del sector.	Aviación comercial (a) Estados Unidos es un mercado importante para productos y componentes de aviones, líder en el mundo en fabricación y producción de aviones comerciales. (b) La industria de aviones comerciales se enfrenta a una competencia en dos niveles: interno y externo. La interna resulta de factores competitivos comunes a todas o la mayoría de las empresas dentro de la industria, mientras que la externa representa amenazas de otras economías.
Aviación militar (b) La fabricación global de aviones militares ha estado creciendo en los últimos cinco años debido al aumento de la demanda, especialmente de las regiones de América del Norte y Europa. (c) La industria de aviones militares tendrá un aumento moderado debido al modesto gasto en presupuestos de defensa en todo el mundo, particularmente en naciones occidentales y desarrolladas. (d) El aumento de la capacidad de fabricación de productos aeroespaciales militares se ha establecido en los países recientemente industrializados; el mayor crecimiento proviene de regiones como el Medio Oriente, la India, África y Asia.	(c) El número total de establecimientos de la industria aeronáutica comercial disminuyó en los Estados Unidos debido a la combinación de factores económicos y la transferencia de la fabricación de componentes a Japón y China, lo que obligó a muchas empresas a cerrar. Aviación militar (d) El gasto militar del presupuesto de EE.UU. alcanzó su máximo en los últimos cinco años y se espera que disminuya debido a una disminución en el presupuesto.
Mantenimiento, reparación y revisión (MRO) (e) Se espera que se revertiera una tendencia a la baja debido a un aumento en la demanda de aerolíneas nacionales e internacionales, flotas más grandes y distancias de viaje promedio más largas.	Mantenimiento, reparación y revisión (MRO) (e) La disminución de los ingresos en la industria de MRO de aviones en los últimos cinco años ha dado lugar a una mayor consolidación entre las empresas, una fuerte competencia y un número reducido de participantes de la industria.

La industria global de aeronaves tripuladas y no tripuladas tiene un valor estimado de \$459,000 millones de dólares, divididos de la siguiente forma:

Tabla 45. Proveedores.

Tipo	Actividad	Valor (mmdls)
Primario	Manufactura de Aeronáutica	\$183
Nivel Intermedio	Ingeniería y Manufactura de Partes	\$66
Nivel Intermedio	Búsqueda, Detección, Navegación, Orientación e Instrumentos Náuticos (SDNGN)	\$36
Nivel Intermedio	Otras Partes Aeronáuticas y Equipo Auxiliar	\$58
Apoyo	MRO	\$116

Demanda ²⁶	
Sector	Valor (mmdls)
Civil/Comercial	\$233
Militar	\$226

California participa con el 3.6% del mercado global aeronáutico generando mas \$16,600 millones de dólares en ingresos directos del estado; el resto de EUA participa con el 35.4% con \$162,000 mil millones; y el resto del mundo con el 61% con \$280,000 millones. Los cambios de compensación en la industria mantuvieron la participación de mercado de California en Aeronaves debido a el aumento en el gasto público; el sector comercial en crecimiento; la expansión en el uso de los vehículos aéreos no tripulados (Unmanned Aerial Vehicle, UAV); y a que (d) el SDNGN lidera la contribución de los ingresos aeronáuticos de California debido al incremento en el uso de sensores aéreos y UAVs, lo que ha mantenido hasta ahora la expectativa de incremento en pedidos comerciales en apoyo al sector de fabricación de piezas en el estado.

Los ingresos de la industria aeroespacial de California representan el 8% con \$16,600 millones de dólares del mercado estadounidense impulsado por SDNGN de \$204,000 millones de dólares.²⁸ La industria aeronáutica de California genera \$38,900 millones de ingreso estatal, \$16,600 directos y \$22,300 indirectos. Esta contribución directa se divide en SDNGN con \$7,100, otras partes con \$3,200, MRO con \$2,800, manufactura aeronáutica con \$2,400 y motores y partes con \$1,100 millones de dólares.²⁹ La industria aeronáutica californiana suministró entre el 4 y 9% de las aeronaves militares; los gastos de acuerdo a la ubicación del contratista principal se divide en 91% en otros estados, 5% entre California y otros estados y 4% sólo en California.

2.14.5. Competitividad de la industria aeroespacial californiana

La fuerza laboral de California continúa atrayendo y anclando compañías aeroespaciales a California. 28% de la fuerza laboral está vinculada a la ingeniería aeroespacial. Tiene cuatro zonas dentro de las áreas metropolitanas más grandes por

número de trabajos de la ciencia y de la ingeniería en Estados Unidos en el 2010 con:

Los Angeles/Long Beach/Santa Anita con 237 mil empleos, San Francisco/Oakland/

Fremont con 138 mil, San Jose/Sunnyvale/Santa Clara con 132 mil, San

Diego/Carisbad/San Marcos con 83 mil.

Tabla 46. Oportunidades y retos de la industria espacial californiana

	Desagregación/ Satélites más pequeños	Competencia global	Costo para hacer negocios	Crecimiento impulsado por el consumidor	
	Suministro (oferta)		Intermedio	Demanda	
Nvos. Participantes de financiamiento privado	Servicios de ingeniería, Software y pruebas Manufatura de Vehículo de lanzamiento y servicios de lanzamiento. Manufatura de satélites Manufatura de equipo de tierra Servicios de satélite			Civil	Recorte en los presupuestos de la NASA
Vehículos de lanzamiento de bajo costo					Competencia por el presupuesto con otros estados
3D/ Manufatura aditiva				Militar	Recortes en gastos del DOD
COTS y adopción de código abierto					
Aplicaciones emergentes				Comercial	ITAR/ Restricciones de importaciones
	Regulaciones ambientales	Cierre de brecha de innovación	Competencia por talento	Envejecimiento de la mano de obra	
				Oportunidad	
				Reto	

La fuerte base de clientes del gobierno, incluida el SMSC, es fundamental

para la industria aeroespacial de California.

Tabla 47. 5 principales clientes del Gobierno y de la industria del espacio civil se encuentran en California.

Agencia	Nombre	Ubicación	Especialidad
NASA	Ames	Ubicación: Sunnyvale, CA	Aeronáutica y Pequeña Nave Espacial
NASA	Dryden	Ubicación: Mojave, CA Experiencia:	Aviones y vuelos espaciales humanos
DOD	Centro de Sistemas Espaciales y Misiles (SMC)	Los Angeles AFB	Defensa

NASA	Jet Propulsion Laboratory (JPL)	Pasadena, CA	Aeronáutica y Pequeñas Naves Espaciales
DOD	Comando de Sistemas Espaciales y Navales	San Diego, CA	Defensa

El Centro de Sistemas Espaciales y Mísiles de Los Angeles AFB (El segundo y Hawthorne) fomenta un ecosistema dinámico de contratistas primarios y proveedores de primer nivel. Entre ellos se encuentran:

1. Boeing Space & Intelligence Systems: Diseño, prueba, producción y operación. Clientes gubernamentales y comerciales.
2. Northrop Grumman Aerospace Systems.
3. Lockheed Martin: Ingeniería y Gestión de Programas.
4. Aerospace Corporation (FFRDC): Investigación técnica y científica, desarrollo y asesoramiento.
5. Raytheon Space & Airborne Systems.

Tecnologías de exploración espacial (SpaceX): Sede corporativa. Vehículo de lanzamiento de Falcon 9. Cápsula Del Dragón

El cumplimiento normativo lleva a la pérdida de negocios, particularmente en los segmentos de lanzamiento espacial y propulsión.

Tabla 48. Regulaciones/Consecuencias.

Regulaciones Ambientales:	Consecuencias
En general, California lidera la nación en los estándares ambientales.	SpaceX estableció su centro de pruebas en Texas como el Estado fue capaz de moverse más rápido En el proceso de permiso.
Los principales requisitos de cumplimiento ambiental relacionados con la industria espacial son a menudo similares en otros estados.	SpaceX firmó un acuerdo con Spaceport America (NM) para la prueba del cohete reutilizable Grasshopper.
El proceso de permiso / cumplimiento ambiental en California se dice que es más oneroso y requiere más tiempo que otros estados.	Wyle Labs ha estado cambiando sus nuevas inversiones en instalaciones hacia otros estados L-3 Communications considera las regulaciones como un impedimento para mejorar los procesos de manufactura debido al alto costo de la calificación ambiental del proceso (agentes de limpieza, etc.)
El cumplimiento normativo a menudo implica gastos adicionales adicionales y Hacer negocios en California	

2.14.6 Resumen del estado de la industria en California.

1. California tiene una fuerte posición en la industria aeroespacial global, pero corre el riesgo de perder esta competitividad si no emprende acciones.
2. California es un líder aeroespacial global: en 2012, California generó \$ 61.6B de ingresos de la industria espacial, representando el 9% de una industria aeroespacial global de \$ 694B y el 21% de la industria estadounidense de \$ 292B. En particular, California lidera los segmentos del Instrumento SDNGN, servicios por satélite, fabricación de satélites y servicios de ingeniería.
3. El impacto económico total de la industria aeroespacial de California es significativo: en 2012, la industria generó 511.000 puestos de trabajo, \$ 32B en ganancias de los hogares y \$ 100B en la actividad económica total entre industrias.
4. California continúa disfrutando de varias fuentes de ventaja competitiva: empresas con una sólida posición global, una fuerza de trabajo altamente calificada, liderazgo de los principales segmentos y un ecosistema concentrado de empresas que permiten oportunidades de colaboración innovadora.
5. Sin embargo, la industria también enfrenta algunos desafíos y debilidades competitivas: disminución anticipada del gasto público, restricciones fiscales y reglamentarias, aumento del costo de vida de la fuerza de trabajo y alto costo de bienes raíces y costos de construcción que disuaden la inversión comercial en el estado.

Revisión de literatura

3. Capital humano en la industria de las innovaciones

Una definición general de concepto de capital humano es propuesta por Acemoglu & Autor en *Lectures in labor economics* y se simplifica como el conjunto de conocimientos y características que posee el individuo –innatas o adquiridas- que se relacionan directamente con su capacidad productiva.

Los autores reconocen que la libertad que conlleva una definición tan amplia como esta trae consigo ventajas y desventajas. Entre los aspectos favorables de esta apertura semántica destaca la simplicidad de incluir variables como los años de escuela formal, la calidad de las instituciones educativas en las que se formó, el tipo de formación, la actitud hacia el trabajo o la ética laboral, en el conjunto de factores que agregan valor al capital humano. Por lo tanto, el diferencial del monto de los ingresos entre distintos individuos no puede estudiarse solamente por sus diferencias en los años de escolaridad formal.

La principal desventaja del concepto propuesto para capital humano, es que la frontera de esta definición se puede extender hasta el punto en que la investigación relacione productividad o ingresos laborales con un sesgo hacia las habilidades, conocimientos, experiencias y valores del individuo; incluso aún cuando estas variables no figuren en las observaciones iniciales, lo que implica el riesgo de pasar por alto algunas condiciones que terminarían por trastocar las estimaciones estadísticas y alterarían los resultados del análisis. Entre estas condiciones se pueden destacar tres:

1. Compensación de las diferencias salariales. Aunque hay personas que pueden recibir una retribución menor por el mismo esfuerzo y productividad que otros, existen condiciones laborales del puesto de trabajo que pueden

compensar esas diferencias salariales, por ejemplo: condiciones de trabajo más agradables, mejores servicios en el entorno laboral o requisitos de esfuerzo más bajo para el puesto de trabajo. Estas condiciones resultan difíciles de observar o medir.

2. Imperfecciones del mercado laboral. Dos personas con el mismo capital humano pueden recibir sueldos distintos por diferenciales tabulares de rendimiento de acuerdo a regiones o centros de trabajo. Otro fenómeno común ocurre en sociedades sensibles a las desigualdades salariales en las que el estado interviene al momento de la definición normativa de sueldos mínimos o máximos para compensar las desproporciones del ingreso y acercarlo a una media establecida a priori.
3. Discriminación. Debido a los prejuicios de los empleadores, en algunos entornos el sueldo se puede vincular a la condición social del trabajador, mayoritaria o minoritaria, y no a su desempeño o rendimiento.

En el contexto de la economía global del conocimiento no se puede desvincular la relación entre industria de la innovación y un capital humano en el que se integran elevados niveles de formación educativa al que se le suman un conjunto de competencias o rasgos personales que impulsan la conformación, expansión y desarrollo de las firmas basadas en la aplicación del conocimiento.

Integrar capital humano incide positivamente en el crecimiento de las tasas de rendimiento de los factores totales de la producción, el monto promedio de los ingresos de las personas y organizaciones, y la aceleración en los procesos de transferencia e implementación tecnológica. En la base de la producción, distribución y consumo de bienes y servicios se encuentra la aplicación de actividades intensivas en conocimiento, lo que impulsa el avance técnico y científico al tiempo que acelera

el proceso de obsolescencia de cada innovación. El conocimiento adquiere una doble condición, es simultáneamente producto y factor del proceso de innovación.

De esta forma, la interdependencia entre industria, mercado, ciencia e innovación tecnológica se vincula cada vez más con el incremento de las capacidades intelectuales expresadas en recursos intangibles y menos con los insumos físicos o los recursos naturales disponibles (Powell y Snellman, 2004).

3.1. Evolución histórica en el concepto de capital humano

Durante el largo periodo histórico dominado por la producción en serie, el factor humano era considerado sólo como fuerza de trabajo, mano de obra con un nivel importante de calificación que se aplicaba en la. Todo el conjunto de experiencia, valores y saberes acumulados en cada trabajador podían ser un factor importante del proceso pero no resultaban particularmente significativos en el incremento de valor de los productos.

Sin embargo, en los últimos 30 años ha habido una revaloración del factor humano y el papel que desempeña en los sistemas de producción, una reconceptualización en la que han influido las características generales de una sociedad más abierta y dispuesta a la diversificación, la interconexión social en múltiples niveles, la importancia del ciudadano/consumidor en los procesos que dan forma al entorno contemporáneo –social, político, cultural y económico- y a la dinámica en los mercados de innovaciones.

En la economía basada en el conocimiento el recurso humano toma un valor inédito debido a la aplicación de su repertorio práctico, ético y cognitivo en la producción industrial, y a la permanente capacidad de incrementarlo. Aprender a aprender a lo largo de la vida es una aptitud valiosa para las nuevas formas de

producción, condición clave que ayuda a convertir la fuerza humana en fuerza creativa que multiplica el valor en los productos.

En el texto del Dr. Santos López Leyva *La vinculación de la ciencia y la tecnología con el sector productivo. Una perspectiva económica y social*. (2005), se puede reconocer que este cambio en la concepción, función e impacto del capital humano fue gradual, y se construyó en el transcurso de tres etapas históricas del modelo de producción capitalista.

La primera etapa ocurrió en el amanecer de las revoluciones industriales en siglo XVIII y se caracterizó por la transformación de las materias primas en bienes mediante el uso extensivo de la máquina-herramienta. La experiencia acumulada en los talleres artesanales se transfirió hacia la invención de instrumentos con un nivel de sofisticación más alto, lo provocó el aumento en el nivel de producción y redujo la inversión de recursos financieros, materiales y humanos aplicados en esta producción. La tecnología se convirtió en un insumo importante de la industria pero los rendimientos mantuvieron su dependencia en la fuerza de trabajo de los artesanos transformados en obreros.

Durante la segunda etapa histórica, la producción científica se movilizó de los centros de enseñanza a las fábricas; esto permitió conceptualizar y desarrollar máquinas que no sólo transformaban las materias primas sino que agregaban la capacidad de producir otras máquinas. No fue sino hasta finales del siglo XIX cuando la industria encontró en el binomio producción/investigación la ventaja competitiva necesaria para incrementar su expansión y sostenimiento. La ciencia fue, a partir de entonces, una de las fuerzas impulsoras de la economía, y la aplicación de sus innovaciones en la industria multiplicó el rendimiento en el resto de los factores mediante la integración o la convergencia tecnológica. Tal como lo describe López

Leyva, la visión que compartían los acólitos de la producción en serie al concebir un mundo de fábricas cada vez más automatizadas en el que la necesidad de mano de obra empezaría a reducirse, se impuso de manera definitiva en esta etapa; lo que desencadenó una primera ruptura industrial que puso fin al ciclo de los talleres artesanales e inauguró el modelo de industria que Ford y Taylor consagrarían como el rasgo por excelencia del siglo XX.

En la tercera etapa el incremento en el rendimiento productivo de la fuerza laboral derivado de niveles más elevados de calificación y especialización de la mano de obra, así como de la aplicación extensiva de las nuevas tecnologías en la producción de bienes provocó que la innovación dejara de ser un insumo exclusivo de la industria y se colocara al alcance del consumidor medio. El modelo de desarrollo de la industria de la producción en serie empezó a desmantelarse al inicio de la década de 1980s erosionado por una doble crisis; por un lado, la pérdida de los mecanismos institucionales para ajustar los volúmenes de producción con el consumo, y por otro, la incapacidad del modelo de mercado y las regulaciones políticas para seguir el paso de la innovación y su dinámica. La crisis generó una segunda ruptura industrial que terminó por vincular de manera profunda el trabajo, la producción y la creatividad; a partir de ese momento la industria no estaría regida solamente por la producción masiva de bienes, sino que empezaría a orientarse hacia el consumo individual, la abolición del stock de mercancías y las redes globales de intercambio.

Este resumen histórico-conceptual sobre la evolución del capitalismo y sus formas de producción permite identificar dos condiciones de la producción industrial hasta finales del siglo pasado.

Primero, entre las formas de producción paleo-industriales del siglo XVIII y aquellas provocadas por la tercera revolución industrial a finales de 1970s e inicios de

1980s hay un paralelismo en el papel del factor humano en relación al valor de la producción; el capital intangible que aporta el nivel de habilidades, conocimiento, valores y experiencias, incide de forma directa e incremental en el rendimiento de la inversión total de recursos. La riqueza de la industria se vincula en dimensiones más profundas con la riqueza del capital humano.

En la segunda condición, las dos rupturas industriales previas y la relativa certeza de una nueva, pusieron de manifiesto la naturaleza autodestructiva inherente a la evolución del capitalismo. El final de cada onda económica pese a ser en cierta medida estables, está marcado por la irrupción abrupta de un colapso que todo lo reconfigura y resitúa, dotando del impulso necesario a una nueva ola. Un elemento imprescindible para movilizar la producción y el mercado hacia niveles de crecimiento relativamente constantes ha sido una de las principales tesis del capitalismo tras la crisis financiera de 1929: la intervención del estado como motor del crecimiento que fue consignada por Keynes; una intervención que busca incrementar la demanda mediante el flujo directo de capital colocado en la mesa por el propio Estado, ha sido una de las estrategias más recurrentes para «desencadenar» el crecimiento hasta nuestros días. Sin embargo, aunque esta demanda agregada puede resultar funcional en el corto plazo, los resultados económicos recientes empiezan a mostrar que los costos en el largo término -como lo pueden ejemplificar las tres décadas recientes- han generado un incremento significativo en la acumulación de deuda pública, además de crear distorsiones en la dinámica de los mercados y convulsiones económicas recurrentes a escala global.

En la medida en que el crecimiento poblacional genera presión en la disponibilidad y calidad de los recursos, el esquema autodestructivo del capitalismo amenazará aún más con derribar la estructura del ciclo económico anterior,

erosionando peligrosamente los factores con los que tendría que reconstruirse el nuevo ciclo.

Aunque en la última década la tendencia de los resultados de crecimiento económico global presentan ajustes a la baja en la mayoría de los países –sin considerar a algunas economías asiáticas como Singapur, China, Corea del Sur o Malasia- las naciones desarrolladas continúan creciendo, aunque a tasas inferiores que las economías emergentes; entonces, tal y como los pregunta Robert Barro “por qué las economías avanzadas pueden continuar creciendo a pesar de los rendimientos decrecientes en la acumulación de capital físico y humano” (1999, p. 240).

Para dar una respuesta a esta pregunta, este autor une dos teorías económicas que anteriormente parecían antagónicas: los modelos de crecimiento endógeno con énfasis en los procesos de difusión tecnológica y la escuela neo-clásica fundamentada en parámetros comparativos internacionales, entre los que se ha agregado la calidad formativa. Ambas teorías, pese a ubicarse en las antípodas de las perspectivas conceptuales, encuentran en el capital humano el común denominador en torno al cual se pueden explorar las explicaciones más acertadas para el desarrollo económico postindustrial.

Richard Nelson y Edmund Phelps (1966) ofrecieron en su artículo *Investment in humans, technological diffusion, and economic growth* una explicación sobre la capacidad determinante que la difusión tecnológica tiene en el crecimiento económico, particularmente desde dos componentes no observados con anterioridad.

El primer componente implica que un crecimiento relativamente equilibrado en todos los factores de la productividad requiere implementar los productos que la frontera del desarrollo tecnológico genera; el crecimiento se incrementa en la medida en que se reduce la distancia entre esta frontera y los niveles de productividad actual.

Si los países en desarrollo intentan ponerse al día en términos de innovación y tecnología, deben de transferir estos desarrollos desde las naciones más avanzadas.

El segundo componente complementa al anterior y considera que el grado de calificación del capital humano es un factor determinante en la reducción de la brecha entre la frontera de la innovación y la productividad actual. El estudio y la previsión de los índices de crecimiento deben incorporar esta relación como una variable significativa, no sólo en referencia al volumen del capital humano disponible sino en cuanto a la calificación de su formación y competencias, un argumento que es respaldado por los estudios posteriores de Barro (1999) y Benhabib & Spiegel (2005).

Robert Barro incluyó las cualidades del capital humano en un conjunto de regresiones sobre el crecimiento para el estudio comparado de 100 países. Los resultados, que serán tratados a mayor profundidad en el siguiente apartado, señalan que no son suficientes los años de instrucción formal para incrementar la acumulación de este capital y que resulta aún más relevante la calidad de esa instrucción.

3. 3. Capital humano y desarrollo económico

Los resultado de los estudios llevados a cabo por Barro y Lee (Barro & Lee, 2001) coinciden con los de otros autores y muestran que, en relación al desarrollo económico de un país, la calidad de la enseñanza escolar es más relevante que el conjunto de años cursados. A partir de estos resultados, Hanushek y Kim (1995) plantearon una nueva manera de abordar la capacidad del capital humano; para ello consideraron que al momento de determinar la calificación de la calidad de la enseñanza en distintos países, los años formativos no son necesariamente equivalentes entre los sistemas educativos y es probable que no resulten adecuados como criterio de medición, de modo que sometieron a revisión los resultados de pruebas internacionales de rendimiento académico –en las que incluyen temas como ciencia,

niveles de lectura y matemáticas- para ofrecer un modelo que permita medir el desempeño cognitivo de los estudiantes y se ajuste de forma más realista las estimaciones de crecimiento que utilizan esta variable.

En su trabajo compilatorio *Human capital and growth in cross-country growth regressions*, Robert Barro concluye que una economía nacional puede generar mayor crecimiento económico si consigue incrementar la proporción del capital humano -en volumen y calidad- en el conjunto de su capital físico, y para ello puede utilizar dos canales (1999):

(1) La incorporación del conjunto más reciente de innovaciones en la producción industrial por medio de un capital humano con niveles de formación más elevados; es decir, para asegurar la absorción de alta tecnología desde las fronteras de la innovación debe aumentarse la escolaridad y la calidad formativa de los recursos humanos. La evidencia empírica demuestra que aquellas personas con grados escolares más altos -secundaria o educación superior- consiguen desarrollar competencias que les permiten utilizar e incorporar hábilmente esas innovaciones en los procesos productivos (Barro, 1999; Benhabib & Spiegel, 2005; De la Fuente & Domenech, 2001; Correa-López, 2008).

(2) El ajustes en el capital disponible; ya que en el corto plazo resulta complejo realizar adecuaciones en el capital humano en comparación con el capital físico, el impacto de la actualización de los programas educativos empieza a dar resultados en el mediano y largo plazo, así que aquellas naciones que cuentan con un capital humano con mayor calificación pueden crecer más, en un periodo de tiempo menor, realizando ajustes en la cantidad y calidad del capital físico disponible (Barro, 1999).

El conjunto de los resultados en la línea de investigación sobre capital humano le permite a Barro afirmar que en el largo plazo, las economías desarrolladas difícilmente podrán asegurar índices estables de crecimiento del PIB superiores al uno o dos por ciento anual; por esta razón los países más avanzados establecen estrategias para aumentar, en periodos cortos de tiempo, el volumen y capacidad de su capital humano mediante esquemas de atracción y retención; una estrategia que se acompaña de ajustes en sus proyectos educativos, lo que les permite asegurar el crecimiento en el futuro mediano. Estas estrategias tienen al menos tres consecuencias en los sistemas educativos y e industriales: (1) adecuación en el repertorio de competencias, (2) transformación de los sistemas de aprendizaje, y (3) transformación en el proceso de producción y gestión del conocimiento en las firmas.

3.3.1. Adecuación en el repertorio de competencias necesarias para el desarrollo y expansión de la industria de las innovaciones. Reivindicar las habilidades, experiencias y conocimientos desarrollados en el ejercicio cotidiano de la práctica individual como un valor sustancial del factor humano que incide en la producción industrial, es un proceso que se originó en 1870 y representó una de las principales banderas de los movimientos sindicalistas de esa época. Alrededor de 100 años después, ese intento por recuperar la riqueza del bagaje simbólico del trabajador, encontró su equivalente en los sistemas universitarios cuando éstos empezaron comprender científicamente la importancia de los rasgos individuales en la eficiencia profesional (Gallego, 2012).

De acuerdo a González y González (2008) las primeras versiones acerca del concepto «competencia» fueron propuestas en la década de 1970s y ofrecían una definición simplista y pragmática, reducida a un conjunto aislado de cualidades cognitivas individuales que influían linealmente en la calidad del desempeño laboral.

Serían las condiciones de la industria basada en el conocimiento y las dinámicas del mercado de trabajo lo que permitiría un ordenamiento más comprehensivo del término en el que se incluyeron aspectos como la personalidad, el conocimiento, las capacidades instrumentales, la motivación intrínseca y la ética individual que cada persona integra en sus rasgos personales por medio de la interacción social, y que serán determinantes en el ejercicio productivo futuro de su profesión. La complejidad de los nuevos procesos de producción empezaron a transformar el significado de competencias

...hacia un enfoque personal y dinámico cuya atención está centrada no en cualidades aisladas, sino en la participación del profesional que, como persona, construye, moviliza e integra sus cualidades motivacionales y cognitivas en la regulación de una actuación profesional eficiente en escenarios laborales heterogéneos y diversos (González Maura & González Tirados, 2008, p.189).

En un contexto económico de relaciones profundamente interconectadas, donde domina la abundancia en los procesos sociales -culturales, políticos y económicos- resultaría arriesgado negar la determinación recíproca entre academia e industria, así como el mutuo potencial que tienen para generar conocimiento, recursos y capitales esenciales para el pleno cumplimiento de sus objetivos y funciones sociales. Transformar la riqueza en conocimiento y el conocimiento en riqueza, implica acercar las aspiraciones de una y otra institución en la construcción de una arquitectura del conocimiento que catalice sus capacidades combinadas (Nieto Nieto, 2010).

La responsabilidad social de la academia en la formación de personas valiosas para las distintas actividades productivas, se encuentra en dar a los individuos la

posibilidad de un aprendizaje transformativo, crítico y reflexivo que se puede extender a lo largo de toda su vida. De acuerdo a Harvey (2000) no hay forma de que una firma pueda agregarse con éxito a la constante evolución de la economía global sin la presencia de personas hábiles y académicamente calificadas para realizar este propósito. Las organizaciones empiezan a cambiar debido el impacto de la tecnología de la información, comunicación y colaboración; la participación activa y regularmente informada de los clientes; y la necesidad permanente de percibir y asimilar el proceso desde una perspectiva internacional. Harvey identifica tres cambios significativos en las estructuras organizacionales de las firmas: (1) el aligeramiento de las organizaciones, (2) el fin de las jerarquías, y (3) la flexibilidad de los acuerdos contractuales. A su vez, estos cambios han de afectar el futuro de los nuevos profesionistas en tres órdenes distintos: (1) falta de perspectiva para el futuro desempeño profesional, (2) necesidad de habilidades múltiples que flexibilizan sus competencias, y (3) la usencia de una progresión lineal de su carrera como egresados.

En estas condiciones ¿qué ocurre con las competencias ante la transformación de las organizaciones industriales orientadas a la producción de la innovación? La evolución de la industria implica la necesaria coevolución y recolocación de las competencias de los distintos perfiles profesionales, particularmente aquellos que se encuentran en el núcleo de los factores de producción.

Los cambios tecnológicos y organizacionales durante más de 25 años han agregado habilidades en tecnologías de comunicación e información, trabajo en equipo, flexibilidad y adaptabilidad. La resolución de problemas se transformó en solución creativa de problemas, mientras que la asunción de riesgos se volvió un atributo clave. Por otro lado, hay mucho menor énfasis en [la acumulación de]

conocimiento y mucha más atención en la disposición para continuar aprendiendo (Harvey, 2000: 8).

Para Harvey (2000), Blom & Saeki (2011) y González & González (2008) la industria ha generado un orden de relevancia nuevo para las competencias que inciden en ella, un orden que surge de la taxonomía de habilidades cognitivas elaborada por Bloom en 1956. De acuerdo a la taxonomía de Bloom en términos generales las competencias se dividen en dos órdenes de pensamiento que se distinguen por su profundidad y complejidad; la clasificación se organiza en (1) habilidades de pensamiento de orden elevado o también identificada como competencias específicas, en las que se incluyen de acuerdo a la escala ascendente de complejidad las competencias Analizar, Evaluar y Crear; y (2) las habilidades de pensamiento de orden bajo, o competencias generales, como son Recordar, Entender y Aplicar.

Estos autores coinciden en considerar que la industria de la innovación aprecia de manera especial a las competencias que no son únicamente de carácter técnico y científico, sino que prefieren personas con habilidades como la comunicación, el liderazgo, la adaptabilidad y flexibilidad laboral o el trabajo en equipo. En los procesos de evaluación del recurso humano, las firmas consideran significativas también las habilidades de interacción o los atributos personales de los candidatos por encima de la profesión o el campo de estudio. En su artículo *New realities: the relationship between higher education and employment*, Harvey (2000) clasifica las competencias en los siguientes grupos de habilidades y atributos:

(1) En primer término se encuentran las habilidades de interacción, aquellas capacidades y aptitudes de los profesionistas para integrarse eficientemente en los procesos de interacción en equipos de trabajo a distintas escalas. Entre las principales competencias que se incluyen en esta categoría están: comunicación oral y escrita con

recursos diversos; destreza para trabajar y coordinar equipos productivos; y pericia para interactuar en redes y grupos.

(2) En segundo término se encuentran los atributos personales y son de un orden distinto; Blom y Saeki los denominan habilidades suaves «*soft skills*» y se ubican en la categoría de habilidades del pensamiento de orden elevado. Se trata de capacidades y aptitudes que el profesionista construye a lo largo de su vida y facilitan su desempeño cotidiano mediante la comprensión amplia de factores agregados a la producción, tales como la capacidad intelectual, iniciativa, disposición y facultad para aprender a aprender, asunción de riesgos y un conjunto de auto-capacidades relacionadas con la motivación, confianza, autogestión y autopromoción.

En su trabajo *Employability and skills set of newly graduated engineers in India* (2011) Bloom y Saeki muestran los resultados de un proyecto de investigación auspiciado por la National Project Implementation Unit, NPIU del Banco Mundial y la Federation of Indian Chambers of Commerce and Industry, FICCI de este país. La investigación ofrece un diagnóstico sobre el estado de desarrollo de competencias en los ingenieros con al menos 5 años de egreso que han sido contratados por la industria. El estudio tuvo como base metodológica la experiencia de tres proyectos previos con los que compartió tema, justificación, referentes teóricos y metodología; fueron aplicados en los Estados Unidos y Egipto por organismos públicos y privados, realizados con el objetivo de evaluar el nivel de desarrollo de las competencias de los jóvenes ingenieros a partir de la comparación de las expectativas de empleadores con el ejercicio cotidiano de las competencias.

Adicionalmente Bloom y Saeki sometieron a revisión un grupo de investigaciones realizadas a escala estatal en EU y a partir de sus resultados realizaron un análisis factorial de las variables para establecer cuáles son los rasgos y atributos

personales de los ingenieros que resultan más importantes en su productividad para las firmas. El análisis factorial es un procedimiento estadístico que permite decantar las variables latentes que explican los atributos de las variables observadas y se tomó la decisión de emplearlo pues ha sido utilizado en investigaciones de corte psicológico y empresarial con resultados consistentes. Al examinar el conjunto de atributos personales los investigadores pudieron definir factores de clasificación en los que se agrupan aquellos que guardan un patrón común y que permiten relacionar los rasgos con distintos tipos de variables dependientes como el ingreso o la productividad.

Mediante el análisis factorial se identificaron 26 rasgos y atributos que fueron agrupados en los siguientes tres factores de clasificación.

(1) El primer factor se denominó Habilidades Nucleares de Empleabilidad y está compuesto por aquellas características personales que inciden en el conjunto general de las tareas laborales sin tratarse de habilidades específicas. Los rasgos con factor de carga superior al 0.55 de acuerdo a investigaciones exploratorias previas a la encuesta aplicada en la India son: Integridad, Autodisciplina, Fiabilidad, Auto-motivación, Habilidades Emprendedoras, Trabajo en Equipo, Entendimiento y Toma de Dirección para la Asignación de Tareas, y Voluntad de Aprender. En otras investigaciones este factor recibe el nombre de habilidades genéricas, catalíticas, nucleares o empleabilidad.

(2) El segundo factor se clasificó como Habilidades Profesionales y está integrado por competencias específicas de la ingeniería. Los rasgos con las cargas más significativas son: Identifica, Formula y Resuelve Problemas Técnicos y de Ingeniería; Construye/Diseña un Sistema, Componente o Proceso para Satisfacer las Necesidades; Uso Apropiado de Herramientas Modernas, Equipos y Tecnologías; y

Aplica el Conocimiento de las Matemáticas, la Ciencia y la Ingeniería. En otros estudios se les denomina Habilidades Técnicas.

(3) El tercer factor esta compuesto por Habilidades Comunicacionales y es una mezcla de un conjunto de rasgos como la capacidad comunicativa o cognitiva y el conocimiento en informática. En este factor los rasgos con los factores de carga más significativos son: Comunicación; Diseña y Conduce Experimentos y Analiza e Interpreta Datos; Lectura; y Comunicación en Inglés.

3.3.2. Transformación de los sistemas de aprendizaje. Las instituciones educativas, en un intento por integrar los procesos económicos en sus proyectos curriculares de enseñanza, empiezan a diseñar y participar en estrategias más estrechas de interacción con la industria; lo que les permite fortalecer sus proyectos de vinculación y programas curriculares con las prácticas y saberes del entorno industrial en el que se encuentran insertas (Feldman, 2001). En base a una escala geográfica se pueden identificar tres formas de interacción, cada una compuesta por actores diferenciados:

1. Macro-escala, en la que el desarrollo de competencias transversales intercambiables se presenta a nivel multinacional. Con estas respuestas a la complejidad de la economía del conocimiento, los países buscan ajustar los marcos institucionales para aumentar su capital humano y asegurar índices de crecimiento suficientes. Desde condiciones distintas, naciones con diferentes niveles de desarrollo han conseguido construir un mecanismo relativamente equitativo de transferencia del conocimiento para resolver los retos particulares de su propia condición como lo puede ser el constante déficit estadounidense de profesionistas especializados, el restringido bono generacional europeo, la abundante necesidad de educación masiva en las

economías asiáticas emergentes, el estancamiento en el crecimiento de la demanda educativa en las economías consolidadas del pacífico asiático, el flagelo de la inequidad y la violencia en África y Medio Oriente, y el lastre sistemático de instituciones caducas en gran parte de América Latina.

Esfuerzos como el consenso de Washington, el proyecto Tuning o las evaluaciones internacionales en la calidad de la educación son un ejemplo de estas estrategias.

2. Meso-escala, una forma de gestión que propicia ambientes regionales de cooperación interinstitucional. Para esto, se generan mecanismos que enlazan las necesidades, potencialidades, experiencias y conocimiento de organizaciones públicas y privadas de las esferas políticas, académicas e industriales, con el propósito de consolidar proyectos de interacción que extiendan su capacidad de desarrollo. En este grupo se pueden ubicar los espacios comunes para la educación como el Espacio Europeo para la Educación Superior; o la integración de distritos industriales con participación institucional concurrente como Silicon Valley, Boston Route 128 y las tecnópolis de Singapur.
3. Micro-escala, caracterizada por la implementación de proyectos específicos de vinculación entre industria y universidad mediante convenios institucionales de beneficio recíproco, lo que les permiten desarrollar innovación, construir espacios de aprendizaje en entornos reales, compartir experiencias y brindar un marco de referencia conjunto para la adecuación oportuna y eficaz de sus funciones.

En cada una de estas escalas es un deber de las instituciones universitarias incrementar su peso específico dentro del sistema para trasladar las experiencias y

oportunidades de la economía del conocimiento a la sociedad de las que proceden y a la cual responden. Entre las acciones que llevan a cabo para cumplir con su función en el escenario de la economía contemporánea destacan los siguientes.

1. Vinculación con la industria y el mercado mediante proyectos de participación multivariada, lo que significa buscar mecanismos que incorporen a las universidades en las áreas que mejor se ajusten a sus capacidades de desarrollo, lo que además les proporciona oportunidades para incrementar el flujo de capital y recursos para extender los límites de sus ingresos con fondos mixtos (Feldman, 2001; Harvey, 2000).
2. Educar para el desarrollo de competencias valiosas para el sociedad. Ofrecer soluciones no significa brindar las mejores respuestas, sino crear las rutinas de análisis y estrategias para que el individuo encuentre las preguntas adecuadas que solucionen problemas específicos. No es suficiente la pertinencia de los planes de estudios en relación a los campos profesionales que más se ajustan al mercado de trabajo, es necesario reconfigurar el enfoque curricular orientándolo a fortalecer las habilidades de razonamiento crítico y la inteligencia emotiva. Formar a la persona para autoconstruir el equilibrio entre sus competencias técnico-profesionales y las socio-personales, es también parte del trabajo de la educación universitaria y coadyuva en la conformación del ciudadano del nuevo siglo: propositivo, analítico y crítico de sus entornos; ciudadanos con la capacidad de elaborar estrategias eficientes y prácticas para la solución de problemas de distintos órdenes y contextos, y sobre todo, conscientes de su papel y responsabilidad social (Bisquerra Alzina & Pérez Escoda, 2012; Stiefel & García, 2002) .

3. Proyectos educativos incluyentes y viables. Implementar política de puertas abiertas y de ubicuidad institucional, de tal forma que una nueva extensión de los programas educativos y científicos brinden la oportunidad de ingreso a aquellos que reúnan el requisito de calidad para un candidato de estudios superiores, sin que en esto influya su condición social o geográfica. La universidad debe extender los límites de sus capacidades espaciales, diseñando y gestionando recursos en los sistemas de redes informáticas para atraer a los prospectos con el talento más sobresalientes de cada campo (Bradley & Oliver, 2002).
4. Universidad social. En economías de bajos ingresos es urgente aumentar el papel de la universidad en los procesos de aprendizaje a lo largo de la vida dirigidos a la sociedad en general “brindando a sus comunidades de usuarios – cercanas y remotas- actualizaciones constante sobre nuevas formas de resolver problemas, asegurando calidad, pertinencia y costos asequibles para los usuarios” (Avaro, 2011, p.15). La educación superior financiada por el estado en un contexto de recursos limitados debe ser exhaustivamente cuidadosa con las tasas de ingreso a sus programas. Calidad formativa y masificación educativa, son variables que difícilmente pueden congeniar en una ecuación con resultados positivos (Langa Rosado & David, 2006; Brunner, 2012); y reflejan la mayoría de las veces necesidades de la coyuntura política y no a las realidades sociales.

Hay un fenómeno inherente a la interconectividad de la sociedad de la información y el conocimiento que se relaciona con nuevas habilidades de aprendizaje incidental derivado del contacto entre individuos, colectivos sociales organizados en red y contenidos mediatizados. La riqueza en el abanico de los estímulos formativos

depende de las estrategias de significación con que cada persona construye sus explicaciones de la realidad circundante. Hasta el momento, no se le ha podido otorgar criterio de valor formal al aprendizaje producido por la hiper-conectividad del ciudadano contemporáneo, la multi-modalidad de la oferta mediática y la omni-direccionalidad de los procesos de comunicación.

Las instituciones sociales encargadas de validar el conocimiento tácito, deberán ajustar sus criterios para incluir a esas competencias, generadas por experiencias multidimensionales, como uno de los factores en la auto-construcción de marcos epistemológicos individuales que dotan de sentido y significado al mundo contemporáneo.

3.3.3. Transformación en el proceso de producción y gestión del conocimiento en las firmas. Desde la economía se han marcos explicativos sobre los procesos que se suscitan al interior de las firmas y que les permiten desarrollarse como entes productivos en un ecosistema con dinámicas y condiciones propias.

En su propuesta de carácter administrativo, Grant combina tanto el orden epistemológico como el pragmatismo de la gestión estratégica para entender a estas organizaciones como entidades receptoras y generadoras de diversos tipos de conocimiento. Inicialmente este autor enumera las tres principales posturas que la economía asume en el estudio de las firmas.

1. Primero están aquellos estudios que se concentran en la función que tienen las firmas en el proceso económico y analizan, a partir del concepto de equilibrio, el sentido de sus decisiones en los mercados de insumos y productos.
2. En segundo término ubica las posiciones científicas de corte organizacional que asumen que las firmas son entidades complejas con la capacidad de operar como un actor individual integrado por un sistema de estructuras

administrativas compuestas por múltiples individuos, las investigaciones de este corte se concentran en “analizar la estructura interna de la firma y sus relaciones entre las unidades constitutivas y los departamentos” (Grant, 1996, p. 109).

3. Por último identifica una postura adicional, en la que inserta su propuesta, que busca integrar las dos posiciones anteriores; de aquí se derivan la teoría del comportamiento de la firma (Cyert & March, 1963) y la teoría evolucionaria de la firma (Winter & Nelson, 1982).

Aunque los economistas utilizan el término en singular, no existe una única y multipropósito teoría de la firma. Cada una de ellas es una abstracción del mundo real de las empresas de negocios, diseñadas para dar cuenta de un conjunto particular de sus características y comportamientos (Machlup, 1967 en Grant, 1996, p. 109).

La gestión estratégica en la que se inscribe Grant ofrece dos perspectivas de estudio que conjugan las posturas anteriores de la economía.

1. Una de ellas que se concentra en la manera en que la organización gestiona y opera los recursos para lograr incrementos en los retornos de inversión para ganar una ventaja competitiva con respecto a otras.
2. La otra es un cuerpo de reflexión aún en construcción al que Grant denomina «teoría de la firma basada en el conocimiento» y va más allá de los principios de elección estratégica y ventaja competitiva, para concentrarse en los sistemas de coordinación interna de estas organizaciones, sus estructuras, los procesos para la toma de decisiones y las capacidades para innovar en cada una de estas esferas a partir de la información generada. De esta forma, esta

«teoría de la firma» trata de explicar de una forma integral la base del conocimiento a partir de cuatro objetivos de investigación.

- a. El primer objetivo ofrece explicaciones sobre las funciones de las firmas, entendidas como organismos gestores y generadores de conocimiento aplicado en el desarrollo y producción de bienes y servicios. Estas funciones no sólo ingresan conocimiento aplicado a procesos de organización y producción sino que administran el que internamente genera la firma como empresa.
- b. El segundo objetivo explora el sistema de coordinación al interior de las firmas, la dirección de las relaciones y las interconexiones entre los componentes de la estructura; reconoce que intrínsecamente en las empresas conviven distintas formas de estructura que les permiten optimizar sus recursos y surgen de los objetivos y funciones de las distintas áreas en las que se encuentra organizada.
- c. A partir de los resultados del objetivo anterior, el tercero analiza la composición y ordenamiento de la estructura organizacional y cómo impacta en los procesos de gestión, producción, flujo y derechos del conocimiento, así como su influencia en el ordenamiento jerárquico y los niveles de autoridad para la toma de decisiones.
- d. El cuarto objetivo define las fronteras institucionales de la firma, desde la que se producen las políticas y se ajustan las funciones organizacionales que configuran los procesos de interacción entre los elementos de sus estructuras y se re estructura la firma.

3.3.3.1 Las funciones de las firmas como organismos gestores y generadores de conocimiento aplicado. En el contexto económico contemporáneo las firmas se

organizan como una respuesta de las instituciones privadas a la asimetría en la disposición del conocimiento. El valor de este recurso se incrementa en la medida en que se incrementa la especialización en su uso, de tal forma que la producción de bienes y servicios hoy en día requiere de la coordinación de expertos individuales con un conjunto diverso de saberes y experiencias que les permiten impactar positivamente en las funciones de la organización. Spender define a estas organizaciones como “un cuerpo de conocimiento sobre las circunstancias, recursos, mecanismos causales, objetivos, actitudes y políticas organizacionales” (1989, p.112) y son por lo tanto instituciones que integran, adquieren y crean conocimiento que será aplicado para la consecución de sus objetivos.

Acercarse al estudio y comprensión de las firmas basadas en el conocimiento implica a asumir dos principios: (1) la creación de las múltiples formas de conocimiento en la organización es una actividad individual, y (2) la función primordial de la firmas es integrar y aplicar el conocimiento disponible en la producción de bienes y servicios por medio del aprendizaje de sus miembros o por la incorporación de nuevos integrantes con el conocimiento que la organización no tenía previamente (Simon, 1989).

Aunque se pueden explorar distintas formas para la disposición general del conocimiento aplicado en la producción, es el mercado el espacio donde se ajustan los requerimientos, la oferta disponible y el valor de transferencia y aplicación de ese conocimiento, independientemente a que el ajuste implique dos imperfecciones específicas que aún deben resolverse: (1) el pobre grado de transferibilidad del conocimiento tácito, entendido como ese conjunto de competencias que sólo le pertenecen al profesionista y que incrementan su impacto en la organización, y en contraste (2) el elevado potencial de transferencia del conocimiento explícito, como la

forma de conocimiento que puede ser consignada en un soporte específico, y la sencillez inherente con la que puede ser adquirido por cualquier otra organización.

Grant considera que “las instituciones existen por lo tanto para la producción de bienes o servicios debido a que pueden crear las condiciones por medio de las cuales múltiples individuos pueden integrar sus conocimientos especializados” (Grant, 1996, p.112). Cada firma busca generar y mantener una base relativamente estable y productiva de conocimiento mediante incentivos de baja potencia que fomentan e incentivan la coordinación entre especialistas individuales, como una estrategia para solucionar los problemas generados por los incentivos de alta potencia que se relacionan con el mercado del conocimiento y que tiene costos más elevados en su adquisición.

Las firmas que operan en la industria de la innovación son organismos que adquieren, generan, administran y gestionan distintas formas de conocimiento; por lo tanto es pertinente establecer bajo qué tipo de condiciones pueden desarrollarlo y aprovecharlo:

1. Transferibilidad: de acuerdo a sus objetivos, funciones y necesidades; cada firma genera distintos mecanismos que le permiten disponer y transferir el conocimiento tácito o explícito entre los miembros de la organización, áreas, departamentos y temporalidades que interactúan al interior de la empresa. La tipología del conocimiento influye en las estrategias de transferencia. Por ejemplo, es más sencilla la circulación del conocimiento explícito pues en su propia construcción incluye los mecanismos de transferencia pues es la comunicación una de sus propiedades fundamentales. En tanto que el conocimiento tácito se revela y reconstituye en la medida en que se aplica en los procesos de la organización, de tal forma que la firma elabora sistemas que

le permiten codificarlo, describirlo y, en la medida de lo posible, estandarizarlo con el propósito de acelerar su transferencia y reducir los costos e incertidumbres que implica la naturaleza de esta forma de conocimiento (Kogut & Zander, 1993).

2. Capacidad para la agregación: se vincula directamente con las capacidades de los actores de la producción -tanto en su condición corporativa como individual- que les permiten incorporar y/o desarrollar nuevo conocimiento. Aunque hay diferencias en cuanto al tipo de capacidades que permiten esto, la firma sólo puede ajustar directamente aquellas que se relacionan con la formación escolar y el entrenamiento laboral (Grant, 1996; Harvey, 2000).
3. Apropiabilidad: Grant define esta condición como “la capacidad del propietario de un recurso de recibir un retorno equivalente al valor creado por ese recurso” (1996, p.112). Sin embargo, como se ha mencionado previamente, el conocimiento ofrece una doble problemática. (1) El conocimiento explícito como bien público puede ser transferido comercialmente por aquellos que lo han adquirido sin perderlo, ya que al emplearse en los procesos de la firma se le ha incorporado al conjunto de las competencias de los empleados individuales y éstas, en el mejor de los casos, sólo pueden ser «arrendadas» por la organización; en tanto que el conocimiento explícito como un bien de mercado se encuentra disponible a todo el conjunto potencial de compradores sin más restricción que su capacidad de compra. (b) El conocimiento tácito no puede apropiarse directamente pues no puede transferirse de manera directa tampoco, se adquiere y transmite cuando se aplica en la actividad productiva. Aunque la industria ha desarrollado mecanismos de patentes y derechos de autor que

buscan proteger la propiedad legal del conocimiento, la dinámica y celeridad de los procesos de producción e innovación hacen del conocimiento un producto usualmente inapropiado para las transferencias de mercado. A nivel de la firma, los individuos construyen sus competencias incorporando conocimiento, habilidades, experiencias y valores que son generados en el ejercicio mismo de sus funciones, lo que complica el resguardo legal de este recurso y provoca dificultades de recuperación de la inversión en conocimiento.

4. Especialización en la adquisición del conocimiento: bajo el principio de la racionalidad limitada (Simon, 1989) el nivel de desarrollo cognitivo de un experto se basa en la incorporación de información ordenada y estructurada cerebralmente de manera finita lo que agrega ineficiencia a la producción de conocimiento, ya que la organización requiere incorporar a distintos especialistas en áreas específicas de experiencia. En la medida en que las formas de producción de las firmas se vuelven complejas, es necesario organizar equipos de expertos que aborden los problemas desde las perspectivas idóneas para su solución.
5. Los requerimientos de conocimientos de producción: producir es transformar insumos en productos o servicios. La productividad de los distintos actores que inciden en las firmas, agregados o individuales, se relaciona de forma directa y cada vez más profunda con el conocimiento. La integración de equipos productivos de forma uni, multi, inter o transdisciplinar, así como el nivel de profundidad y amplitud del conocimiento aplicado, responden a las necesidades, objetivos y funciones de la organización. La propuesta del

estudio de Grant asume “que el insumo crítico en la producción y principal fuente de valor es el conocimiento” (Grant, 1996, p. 112).

3.3.3.2. Sistema de coordinación al interior de las firmas. El andamiaje organizacional es el elemento sustantivo con el que las firmas ordenan el conocimiento aplicado en sus procesos. Independientemente si el origen del conocimiento es colectivo o individual, la firma ha de establecer las directrices e incentivos necesarios para lograr su integración mediante la interacción en equipos. En este proceso, la creación y aplicación del conocimiento ocurren de forma simultánea dentro de un contexto organizacional común.

El sistema de coordinación se concibe no sólo como una estructura que ordena el esfuerzo múltiple de los individuos, sino como un mecanismo para la reducción y resolución de conflictos al interior de la organización. Mientras los estudios de la economía institucional atienden los problemas que provoca la discrepancia de los intereses individuales en las distintas jerarquías o la ausencia de información entre las áreas de la estructura organizacional; la gestión estratégica se concentra en los formas de organización que permiten el logro de los objetivos institucionales aprovechando plenamente el insumo del conocimiento.

Como se ha indicado previamente, el volumen de conocimiento tácito al que recurre la organización para el cumplimiento de sus funciones es más importante que el explícito, lo que agrega complejidad al proceso de transferencia entre los miembros de la firma. Al respecto se ofrecen dos posibles soluciones: (1) generar estrategias de conversión que transformen el conocimiento tácito en explícito y viceversa mediante la sistematización procedimental o programas de formación (Nonaka & Krogh, 2009), y (2) organizar “comunidades de prácticas en proveer estructuras comunes y medios para la experiencia de aprendizaje” (Grant, 1996, p.114).

Ya que la producción en las firmas basadas en el conocimiento depende de la integración de saberes múltiples esto puede provocar un problema para lograr la convergencia entre las metas individuales y las organizacionales. Del tipo de producción, los objetivos de la organización y las características de la tecnología aplicada en el proceso va a depender la forma en que se configuran unidades de especialistas al interior de la firma y las estrategias de interdependencia con las que habrán de interactuar. A partir del trabajo de Thompson, Van del Vel, Delbecq & Koenig, Grant identifica tres tipos de interdependencia: agrupada, secuencial, recíproca y de equipo.

Mientras que estos mecanismos de integración son necesarios por la diferenciación del stock de conocimiento individual, todo depende de la existencia de un conocimiento común para su operación. La intersección del conjunto de los conocimientos individuales es lo que compone a esta forma de conocimiento compartida (Grant, 1996, p.115 y 116).

Mediante esta intersección del conjunto de conocimientos individuales se puede integrar de forma más eficiente el conocimiento que no es común entre los integrantes, a este mecanismo Nonaka lo denomina redundancia y lo define como el recurso que hace de la información individual una información colectiva a partir de las necesidades operativas de los integrantes, así los límites funcionales de cada individuo se traslapan a manera de acoplamientos discretos cuya interacción opera como mecanismo de control (Nonaka, Krogh, & Voelpel, 2006; Nonaka & Krogh, 2009). Grant (p. 116) afirma que esta integración es posible debido a cuatro condiciones: “(1) lenguaje, (2) otras formas de comunicación simbólica, (3)

comunidades de conocimiento especializado, (4) significado compartido y (5) reconocimiento de dominios de conocimiento individual”.

La capacidad que las firmas poseen como organización depende de la manera en que consigue integrar el conocimiento en actividades de producción en equipo con distintos niveles de complejidad. Es la institución la que requiere desarrollar los mecanismos idóneos para recuperar este conocimiento desde las distintas fuentes, procesos e individuos y lo hace desde su estructura organizacional en la que se desarrollan capacidades diferenciadas por la naturaleza de los procesos de producción, las funciones específicas de las distintas áreas o equipos y la eficiencia en el acceso e integración del conocimiento especializado de los empleados. Si hay un alto grado de movilidad de los integrantes de la firma, las capacidades organizacionales se fundamentan más en los mecanismos de integración que en el conocimiento individual especializado; en cambio, si se requiere de la confluencia de un nivel más sofisticado de conocimiento común en los equipos productivos se incrementa la eficiencia de la integración.

3.3.3.3. Estructura organizacional de las firmas. La configuración y ordenamiento de estas estructuras impacta a la organización en dos aspectos: (1) el sistema de jerarquías y (2) la ubicación en la toma de decisiones (Grant, 1996).

El orden jerárquico de la organización busca solucionar dos necesidades particulares de coordinación; (1) primero tratan de resolver la necesidad de la coordinación en sí misma, entendiéndola como el conjunto de mecanismos con los que la organización de dominio colectivo las directrices y procedimientos para el buen desarrollo de las funciones de sus integrantes. (2) En organizaciones cuya base operativa es la integración de conocimientos, experiencias y habilidades, busca

controlar la elevada necesidad de cooperación entre sus miembros, ya sean individuales o colectivos.

La evolución de las firmas requiere que del establecimiento de esquemas d orden y control de las interacciones entre todos los integrantes de la estructura, ya que estas organizaciones son sistemas complejos compuestos por subsistemas especializados. La jerarquía representa un mecanismo eficiente para agregar coordinación a sistemas de este tipo, este mecanismo se va desagregando y atomizando en componentes jerárquicos más pequeños hasta llegar a la base de los subsistemas de la firma. Cada nivel en la estructura genera su propias condiciones de interacción, más intensas que con el resto de los niveles; es justamente esa intensidad en las interacciones particulares la que propicia el agrupamiento, estratificación y relativa autonomía entre distintos órdenes y niveles de jerarquía, primero en torno a los integrantes recíprocamente interdependientes y después entre actores regulados por órdenes de interdependencia secuencial o agrupada.

Al nivel factual del orden organizacional, las jerarquías son intentos del diseño administrativo por acceder y apropiarse del conocimiento tácito de sus integrantes, en las firmas de corte eminentemente burocrático la integración se basa principalmente en reglas y directrices.

Sin embargo esta composición jerárquica no resulta funcional para las firmas basadas en el conocimiento. A este respecto Grant hace la siguiente pregunta:

si la producción, y las decisiones sobre ella, requieren de muchas formas de conocimiento, si ese conocimiento se encuentra disperso en múltiples individuos y los mecanismos de integración pueden involucrar sólo a un número relativamente pequeño de ellos ¿qué estructura organizacional es posible? (1996, p.118).

Las firmas basadas en el conocimiento utilizan una estrategia que trata de solventar las deficiencias que provoca la implementación de un sistema de jerarquización tradicional; para ello propician en la estructura organizacional el surgimiento de equipos con membresía fluida que, a partir de la necesidad en la aplicación de conocimientos específicos en proyectos de producción en desarrollo, movilizan al personal idóneo desde otras áreas de la organización para integrarlos en grupos productivos.

El movimiento del personal especialista de un área a otra responde a la necesidad de la organización de mover conocimiento para un uso más efectivo, lo que significa que distintas personas habrán de ocupar distintos roles emigrando constantemente entre múltiples equipos. Propagar la conformación de estos grupos es una declaración institucional de que el conocimiento fundamental para la firma se encuentra entre los especialistas operativos; las organizaciones no jerárquicas basadas en equipos les permiten acceder al conocimiento individual que se encuentra disperso en todos los niveles.

3.3.3.4. La ubicación en la toma de decisiones. La capacidad de decisión se encuentra vinculada con los derechos de propiedad de la firma, sin embargo, ante la distribución del insumo más valioso en distintos integrantes extendidos en la mayoría de la estructura organizacional esto podría significar que la mayor parte del valor de la empresa se encuentra en manos de los empleados. La medida más simple que tiene la firma para mantener esos derechos de propiedad es el arrendamiento de la fuente de conocimiento, sin embargo esto sólo le confiere derechos parcializados y medianamente definidos lo que limita significativamente las posibilidades autónomas de decisión de la empresa (Grant, 1996; Walter W. Powell, 1990).

El acotamiento en la capacidad de decisión de las empresas implica una reubicación de la forma en que se toman las decisiones y cómo estas son influenciadas por la distribución del conocimiento. La profundidad y calidad de la toma de decisión se vincula estrechamente con la relevancia del conocimiento.

Si la organización es capaz de concentrar en un punto específico de su estructura al conjunto total del conocimiento relevante entonces la centralización y verticalidad son factibles en ella; sin embargo esto cambia de acuerdo a la naturaleza del conocimiento pues esta altera la capacidad de la empresa para transferir y apropiarse del conocimiento. Como se expuso anteriormente, el conocimiento explícito es elevadamente transferible y puede colocarse indiscriminadamente en cualquier punto de la firma, en tanto que otras formas de conocimiento, con características muy específicas de aplicación –tanto en forma tácita como explícita– son más complicadas de agregarse o estandarizarse; usualmente esa forma de conocimiento «idiosincrático» se encuentra descolocado del centro de decisiones de la organización, mientras que aquel que se puede medir y estandarizar suele centralizarse (Grant, 1996).

3.4. Estudios sobre capital humano

Acemoglu y Autor (2011) elaboran una clasificación de cinco líneas generales de investigación del capital humano por parte de la economía, aunque los nuevos proyectos explicativos suelen ser el resultado de combinaciones teóricas y la aplicación de modelos estadísticos más modernos, es importante mencionar que en su mayoría encuentran como punto de partida las perspectivas que se exponen a continuación.

1. La visión de Becker. El capital humano se estudia por la utilidad que tiene en el proceso de producción, particularmente por el impacto positivo en la

productividad de los trabajadores en las distintas áreas de la firma. La complejidad de las variables que podrían relacionarse en la conformación de este capital se simplifica por una representación unidimensional que puede ser el conjunto de conocimientos o habilidades en una población específica, y como esta población impacta en la función de producción (Becker, 1970).

2. La visión de Gardner: este autor abandona el nivel de simplificación de Becker y propone aproximaciones que integran múltiples dimensiones y diversas características individuales. El enfoque divide las capacidades mentales y físicas que propician habilidades diferenciadas relacionadas con las condiciones particulares de las personas. Esta visión ha impactado en esferas ajenas a la economía como la psicología, contribuyendo a la teoría de las inteligencias múltiples (Gardner, 1995).
3. La visión de Schultz y Nelson-Phelps: que estudian al capital humano por el incremento que provoca en la capacidad de asimilación y adaptación tecnológica de las firmas. En sistemas de producción sensibles al ritmo de las transformaciones tecnológicas bajo condiciones de estrés -como lo es la industria de la innovación- este enfoque considera al capital humano como un recurso esencial para revertir el desequilibrio entre la innovación y su adopción gracias a la plasticidad adaptativa de los trabajadores especializados (Schultz, 1961; Phelps, 2007).
4. La visión Bowles-Gintis: desde una perspectiva más administrativa se concibe al capital humano como la capacidad de cumplir con las funciones laborales a partir de los lineamientos, directrices y regulaciones; los individuos se perciben permanentemente como miembros de distintos sistemas sociales jerarquizados y la educación es el vehículo que inculca el conjunto de

ideologías y enfoques sobre la vida que les permite adaptarse (Bowles, Gintis & Osborne, 2001).

5. La visión de Spender: con un acercamiento tangencial al concepto que considera que todas las variables observadas del capital humano son únicamente señales de sus capacidades totales, independientemente de la utilidad que estas pueden tener en el proceso de producción (J.-C. Spender, 1989; J. C. Spender, 1996).

3.4.1. Bases metodológicas para un estudio sobre el desarrollo de las competencias del capital humano y su percepción en la industria. En la revisión de la literatura se pueden identificar experiencias de estudios realizados a distinta escala en otros países. A continuación se exponen brevemente seis proyectos que ofrecen características comunes que ayudan a integrar una metodología en el estudio de las competencias profesionales.

En 2004 la firma consultora de educación superior Noel-Levitz, y la Universidad del Estado de Utah desarrollaron la aplicación de un estudio sobre competencias profesionales bajo la dirección de Joan Kleinke (Kleinke, 2005; Blom & Saeki, 2011). Con la participación de diecisiete universidades, 297 empresas receptoras de egresados en ingeniería y un 38% de tasa de respuesta, este proyecto es uno de los más extensos en Estados Unidos para conocer el estado de desarrollo de competencias de esta profesión después del sistema de acreditación de la ABET.

La diferencia entre la encuesta Noel-Levitz y ABET radica en que la firma consultora evalúa el nivel de satisfacción de los empleadores en tanto que la junta de acreditación lo hace con los programas de estudio en ingeniería.

El instrumento aplicado por la firma solicitaba que los empleadores evaluaran, en una escala de cinco puntos, la relevancia de una serie de competencias

organizadas en tres conjuntos de factores; al mismo tiempo se les solicitaba que calificaran el nivel de satisfacción de la firma con el ejercicio de esas mismas competencias. Esta investigación es útil debido a la sencillez del instrumento, su capacidad para evaluar simultáneamente dos aspectos de las mismas variables y la amplitud de cobertura geográfica que puede lograrse en un tiempo corto de aplicación.

Por su parte Volkwein, Lattuca, Terenzini y otros autores, evaluaron en el 2006 el impacto que el sistema de acreditación EC2000 introducido por la Accreditation Board of Engineering and Technology, ABET tuvo en los resultados del aprendizaje de los estudiantes a mediados de 1990. La encuesta fue aplicada a 1,622 empleadores y se les solicitó información sobre el nivel de formación de los recién graduados, el nivel de impacto que tuvo el EC2000 en el incremento de las habilidades de los ingenieros y la pertinencia e importancia que tienen para las empresas los once factores de competencias que se evalúan.

Aunque hay una variación en la metodología de estudio en comparación del realizado por la Noel-Levitz, Inc., la investigación en cuestión es significativa para el presente estudio por 4 razones: (1) el nivel de desarrollo de competencias se evalúa por la percepción que los empleadores tienen sobre su impacto en la empresa, (2) se califica el impacto que los procesos de acreditación de los programas educativos tienen en la mejora de la formación profesional, (3) se someten a prueba las competencias desde la perspectiva de la industria en la que se ejercen de manera cotidiana, y (4) la mayoría de las competencias de la ABET estadounidense coinciden con las de las pruebas EGEL en México pues ambos países mantienen acuerdos que reconocen de forma recíproca el grado escolar en ingeniería. Uno de los resultados significativos de la investigación es que un número importante de los empleadores

reconocieron un incremento significativo en las habilidades de los egresados a partir de la implementación del EC2000, sobre todo el conjunto de habilidades blandas «soft skills» que se desarrollaron (Volkwein, Lattuca, Terenzini, Strauss, & Sukhbaatar, 2004).

Tabla 49. Habilidades de acuerdo a cuatro factores

Habilidades específicas	Habilidades nucleares	Características personales	Habilidades de comunicación
Conocimiento de base de datos	Auto confianza	Ética de negocios	Habilidades para escuchar
Conocimiento de hoja de cálculo	Pensamiento crítico	Profesionalismo	Habilidades para hablar
Conocimiento de procesador de palabras	Pensamiento creativo		Comunicación escrita
Capacidad para adaptarse a tecnología cambiante	Habilidades interpersonales		
Habilidades técnicas	Habilidades de liderazgo		
Habilidades matemáticas	Experiencia con los problemas del mundo real		

(Volkwein et al., 2004, pp. 232-325)

Un estudio más realizado en el 2008 por el Ministerio de Educación Superior de Egipto solicitó a la Academy for Educational Development, AED un proyecto que arrojara recomendaciones para mejorar la calidad profesional de los graduados de las escuelas técnicas de nivel medio. Mediante una técnica de muestreo estratificado con base al tamaño de la empresa, la AED seleccionó a 240 firmas para la aplicación del instrumento con una tasa de respuesta del 38%. Los resultados de este estudio mostraron un incremento en las habilidades requeridas por los empleadores provocada por las exigencias de la transferencia de nueva tecnología, el aumento de la competencia y la demanda creciente del incremento a la calidad en los productos. La relevancia del trabajo de la AED está en la forma en que desagregaron las características de los empleadores y en la coincidencia con el del estudio de Volkwein, Lattuca & Terenzini al señalar que las empresas dan especial importancia a las habilidades blandas y las habilidades básicas en el desempeño de los ingenieros.

En relación a la forma de categorizar las habilidades y realizar el análisis factorial también hay dos estudios importantes realizados en Estados Unidos.

El primero lo llevaron a cabo Paranto & Kelkar en 1999 en el medio oeste estadounidense, su objetivo fue examinar qué tipo de habilidades eran importantes para los empleadores al momento de contratar a los egresados de los programas de negocios de las universidades regionales. A partir de las listas de empleadores de las oficinas de colocación de estas universidades se identificaron a 346 empresas a las que se les envió la encuesta, la tasa de respuesta fue de 39%, se trataba en su mayoría de empresas rurales. Como condición se solicitaba que hubieran contratado a estos egresados durante el periodo comprendido entre 1990 y 1994. Las habilidades se organizaron en cuatro categorías: habilidades específicas, habilidades nucleares, características personales y habilidades comunicativas (Blom & Saeki, 2011).

El segundo estudio fue realizado por Hill & Petty en 1995 y se concentró en la ética laboral de egresados de diversas profesiones, su objetivo era ofrecer un marco referencial que permitiera fortalecer las habilidades laborales relacionada con el trabajo ético. Se aplicó originalmente a 1,133 personas en una muestra aleatoria realizado con 158 tipos de negocios o industrias distintos. Como se muestra en la Tabla 2, se consideraron 48 habilidades que se organizaron en 3 factores: habilidades interpersonales, iniciativa y confiabilidad; y un factor adicional con descriptores negativos (Hill & Petty, 1995).

En el 2009 la NPIU del Banco Mundial en coordinación con la FICCI y la National Board Academy de la India desarrollaron un proyecto de investigación a escala nacional en este país, con la intención de evaluar el nivel de importancia y el grado de satisfacción de las empresas con las competencias desarrolladas por los ingenieros de reciente egreso. Aunque algunos aspectos genéricos de este estudio ya

fueron presentados con anterioridad en el apartado 2.1. del presente trabajo, es pertinente agregar algunas de sus características específicas pues serán utilizados para responder al objetivo 1 de este proyecto de investigación.

Tabla 50. Ética de trabajo de acuerdo a cuatro factores

Habilidades interpersonales	Iniciativa	Ser confiable	Aspectos reversibles
Cortés	Perceptivo	Puede seguir	Hostil
Amigable	Productivo	directrices	Rudo
Alegre	Ingenioso	Puede seguir	Envidioso
Considerado	Con iniciativa	regulaciones	Tortuoso
Agradable	Ambicioso	Confiable	Irresponsable
Cooperativo	Eficiente	Seguro	Descuidado
Servicial	Eficaz	Cuidadoso	Negligente
Simpático	Entusiasta	Honesto	Depresivo
Dedicado	Dedicado	Puntual	Tardo
Leal	Persistente		Apático
Buena presentación	Preciso		
Paciente	Conciencioso		
Agradecido	Independiente		
Trabajador	Adaptable		
Modesto	Perseverante		
Emocionalmente estable	Ordenado		
Tenaz			

(Hill & Petty, 1995)

La investigación de Blom y Saeki se realizó como parte de los preparativos de la Segunda Fase del Programa de Mejoramiento de la Calidad en la Educación Técnica, TEQIP-II que realizó el gobierno de la India con financiamiento del Banco Mundial entre septiembre y noviembre de 2009.

Durante la aplicación de la encuesta piloto se llevaron a cabo, en forma paralela, entrevistas con las firmas empleadoras que permitieron incorporar observaciones para enriquecer el instrumento.

A los empleadores se les preguntó sobre cuatro temas en específico:

1. La figura de autoridad al interior de la empresa que sería la adecuada para ofrecer una versión más amplia e informada respecto al tema en cuestión. Los

empleadores coincidieron en sugerir los departamentos de recursos humanos de las empresas, ya que los responsables en estas áreas puede reconocer el desempeño conjunto de los ingenieros de acuerdo a las especificaciones de la muestra.

2. El conjunto de ingenieros cuyas características serían las más relevantes para un proyecto que busca mejorar la condición formativa de los programas universitarios. Debido al elevado índice de rotación laboral en la India, se ajustó el estudio para eliminar en lo posible el efecto de los años de experiencia laboral en la empresa y de esta forma analizar sólo el resultado de la formación universitaria, se decidió entonces que la muestra estaría integrada por los recién graduados de instituciones tecnológicas o universidades hubieran sido contratados para su primer empleo en el campo de su profesión.
3. El nivel de evaluación al interior de la firma, es decir, hasta que punto se va a atomizar o desagregar la muestra y si esta será individual, por equipos de trabajo, por cohorte o global. Los empleadores recomendaron considerar la carga laboral de los responsables del área y diseñar un instrumento único para cada firma, con la acotación explícita de aportar sólo la información referente a los ingenieros contratados por primera vez en los últimos cuatro años.
4. El medio de distribución de las encuestas. La opción en línea fue la más apropiada debido a la sencillez para administrarse, recuperar y ordenar la información; también fue relevante el criterio de reusabilidad del instrumento para una segunda ronda de seguimiento a los resultados en la siguiente fase TEQIP-III. La FICCI generó una base de datos y le proporcionó a cada uno de las empresas afiliadas un nombre y contraseña para el acceso al instrumento.

El instrumento se dividió en tres secciones. (1) En la primera se solicita se responda sobre el nivel de satisfacción general del empleador respecto al desempeño de los ingenieros en una escala del uno al cinco; (2) en la segunda se pide que se califique el nivel de importancia y satisfacción de las 26 competencias identificadas por el análisis factorial en una escala del uno al cinco; (3) en la tercera sección se le solicita información adicional sobre las características generales de la empresa.

Para evitar ambigüedades en el significado de cada competencia se incluyen ejemplos sobre su aplicación en el trabajo cotidiano de los ingenieros; de esta forma se reduce el tiempo para responder por completo al instrumento con la intención de asegurar una tasa de respuesta aceptable para los criterios estadísticos.

Las competencias a evaluar están ordenadas en tres grupos de factores y son similares a los de otros estudios que emplean análisis factorial. Los resultados generales del análisis factorial se presentan en la Tabla 3, aquellos que se encuentran en gris obtuvieron factores de carga menores al 0.55.

Tabla 51. Habilidades agrupadas dentro de los tres factores

Factor 1. Habilidades nucleares de empleabilidad	Factor 2. Habilidades profesionales	Factor 3. Habilidades comunicacionales
Integridad	Identifica, formula y resuelve	Comunicación escrita
Autodisciplina	problemas técnicos y de	Diseña y conduce experimentos,
Confiabilidad	ingeniería	y analiza e interpreta datos
Automotivación	Construye/diseña un sistema,	Lectura
Habilidades emprendedoras	componente o proceso para	Comunicación en inglés
Trabajo en equipo	satisfacer necesidades	Habilidades técnicas
Entendimiento y toma de	Uso apropiado / herramientas	Comunicación verbal
dirección para la asignación de	modernas, equipos, tecnologías	Computación básica
tareas	Aplica el conocimiento en	Computación avanzada
Voluntad para aprender	matemáticas, ciencia e	
Flexibilidad	ingeniería	
Empatía	Habilidades de servicio al	
	cliente	
	Conocimiento de temas	
	contemporáneos	
	Creatividad	

(Blom & Saeki, 2011, p.12)

La similitud en resultados de otras investigaciones brinda consistencia a la posibilidad de emplear en próximos estudios un instrumento integrado por estos factores, incluso por encima de las propias competencias. Por ejemplo, las Habilidades Nucleares de Empleabilidad del proyecto de Blom y Saeki son correspondientes con las Habilidades Nucleares y Características Personales en Volkwein, Lattuca, Terenzini y otros autores; en la misma comparación, las Competencias Profesionales del estudio indio son semejantes a las Habilidades Específicas, mientras que las Habilidades Comunicaciones coinciden evidentemente con las Habilidades de Comunicación del proyecto desarrollado en Egipto.

Adicionalmente Blom y Saeki equiparan su propuesta factorial para el análisis e integración de las competencias con los dominios propuestos por la taxonomía de Bloom. Las competencias clasificadas bajo el factor Habilidades Nucleares de Empleabilidad se encuentran mayormente en el Dominio Afectivo de Bloom conformado por Integridad, Disciplina, Fiabilidad y Disposición para el Trabajo en Equipo. Las competencias que se ubican en el factor Habilidades Profesionales corresponden por completo al Dominio Cognitivo tales como Conocimiento, Comprensión, Aplicación, Análisis, Evaluación y Creación. En el caso del tercer factor no hay reciprocidad con ninguno de los dominios, aunque en su mayoría las competencias de este factor del estudio indio se incluyen en el Dominio Afectivo de Bloom.

Cuando Blom y Saeki comparan los resultados de la encuesta aplicada en la India con los de los estudios desarrollados en Estados Unidos encuentran que:

1. En diez habilidades la formulación es prácticamente la misma.

2. Para los empresarios de ambos países el trabajo en equipo, la aplicación del conocimiento de las matemáticas/ciencia/ingeniería, así como las habilidades de comunicación tienen elevada importancia.
3. Habilidades como conocimiento de los problemas contemporáneos, diseño de sistemas y diseño de experimentos son evaluadas en ambos países con baja importancia.
4. Hay diferencias en la valoración del aprendizaje permanente, con un valor alto para los empresarios indios es menor para los estadounidenses.

Las brechas entre nivel de importancia y grado de satisfacción más altas para ambos países se encuentra en las habilidades correspondientes al pensamiento de orden superior propuesto por Bloom, en tanto que las más pequeñas están en las incluidas con el pensamiento de orden inferior.

En conclusión, las habilidades de los programas de ingeniería se pueden ordenar en tres factores de habilidades:

1. Habilidades nucleares de empleabilidad, que cubren habilidades actitudinales y afectivos genéricos, tales como la fiabilidad y el trabajo en equipo.
2. Habilidades de comunicación como conocimiento de inglés, comunicación escrita y oral.
3. Habilidades profesionales que en general incluyen las habilidades cognitivas relacionadas con la profesión de ingeniería como la capacidad de aplicar los conocimientos de ingeniería, el diseño y realización de experimentos, y el análisis e interpretación de datos (Blom & Saeki, 2011, p. 27).

3.4.2. La aproximación de la micro economía al estudio del capital

humano. En el informe desarrollado para el Instituto de Análisis Económico campus Universidad Autónoma de Barcelona, De la Fuente y Ciccone ofrecen un panorama

general sobre el papel de capital humano en la economía del conocimiento desde las perspectivas micro y macro económicas.

Inicialmente definen al capital humano como aquel conjunto de conocimientos, habilidades y aptitudes que los individuos desarrollan y acumulan a lo largo de la vida a partir de distintas formas de aprendizaje, tanto formales como informales como lo pueden ser los estudios escolares, la formación extra escolar o extra laboral, el entrenamiento en y para el trabajo y la propia experiencia; todo este grupo de competencias pueden ser aplicadas en la producción de bienes, servicios y en la generación de más conocimiento.

Los autores reconocen dos niveles de análisis en estos estudios; el de las escuelas económicas laborales y el de la macroeconomía. Ambos brindan explicaciones en distintas escalas sobre el grado de determinación del capital humano en los índices de productividad de las empresas, naciones o regiones.

En el caso de los estudios de micro economía los economistas se han “preocupado por el impacto de la educación y las habilidades en los salarios individuales y en otros resultados del mercado laboral” (De la Fuente & Ciccone, 2002, p.11). En tanto que la macroeconomía desde hace poco más de 40 años, ha aplicado y mejorado los métodos, técnicas y modelos de estimación para medir y analizar la contribución de la educación al crecimiento económico; tal y como se indica en el informe en esta segunda vertiente

el desarrollo de una nueva generación de modelos teóricos atribuyen a la acumulación de conocimientos y habilidades un papel central en el proceso de desarrollo económico y permiten la construcción de un amplio conjunto de datos nacionales comparados que se pueden utilizar en el

análisis empírico de los determinantes del crecimiento económico (De la Fuente & Ciccone, 2002, p.11).

Los resultados de los estudios son relevantes para la acumulación de nuevos tipos de evidencia empírica en las que se incluyen condiciones y variables que anteriormente se escapaban del análisis tales como las distorsiones del mercado laboral, el retorno de la inversión en la educación y los nuevos mecanismos internacionales para la medir los índices educativos. A partir de esto, se puede considerar que el capital humano es un factor determinante para los siguientes aspectos de la industria de la innovación:

1. Incrementar y acelerar los índices de productividad a nivel individual y global.
2. Aumentar la capacidad de aprender y producir nuevo conocimiento en los distintos actores del proceso de producción industrial.
3. Facilitar los procesos de transferencia tecnológica a nivel de las firmas y de las economías nacionales.
4. Modificar las primas salariales e incidir en la desigualdad salarial en el mercado estratificado del trabajo.
5. Modificar la demanda de empleados con mayores habilidades y provocar un efecto negativo en la generación de empleos.

Antes de definir los componentes del capital humano que serán utilizados en este estudio es conveniente reconocer las distintas fuentes de su origen; en su texto compilatorio de economía laboral, *Lectures in labor economics* Acemoglu y Autor (2011, pp. 6-8) identifican puntualmente las siguientes.

1. Habilidades innatas; existe un componente de orden biológico en el índice de inteligencia o el desarrollo de habilidades específicas de cada persona, de tal forma que hay diferencias en cuanto al conjunto de competencias que cada

cual puede desarrollar y que afectan al capital humano de los trabajadores.

Aunque este debate parece propio de la biología social, algunos economistas creen necesario tomar parte de él y reconocen que estas observaciones son relevantes para la economía laboral por dos motivos: (a) no se puede dejar de atender las condiciones que provocan heterogeneidad en el capital humano, incluso cuando estas no están relacionadas con el acceso equitativo de oportunidades formativas o recursos financieros; y (b) cuando se realizan estudios empíricos, los economistas deben encontrar la forma de procesar esta fuente de diferencias, sobre todo cuando incide en otras variables del propio estudio.

2. Escolaridad; al tratarse del componente más sencillo de medir suele colocarse como el eje central de un gran número de investigaciones sin embargo, al menos en las regresiones lineales que originalmente se empleaban para describir los retornos económicos vinculados con la escolaridad, la R^2 relacionada con esta variable era relativamente baja, de modo que al emplear este método de análisis el número de años de escuela tendrá una influencia pequeña en el diferencial de los ingresos. Sin embargo, el valor de esta observación radica en el tipo de información que aporta cuando se considera que los principios estadísticos que permiten analizar los retornos marginales de la escolaridad, pueden ser empleados para reconocer los retornos marginales de la formación no escolarizada; por lo que “se puede deducir que los patrones de inversiones a la escolaridad se pueden repetir en las inversiones no escolares que son más difíciles de observar” (Acemoglu & Autor, 2011, p. 6).

3. Calidad de los centros educativos y de las inversiones no escolares; para lograr integrar aquellos elementos que pueden alterar la calidad de las observaciones como la tipología e intensidad de la inversión que cada persona realiza en componentes distintos de su capital humano, se han desarrollado estudios en gemelos; con esto se busca eliminar los diferenciales de las fuentes biológicas y se estabilizan relativamente el resto de las observaciones, sin embargo habrá variaciones entre ambos gemelos debido a los gustos, disposición para el trabajo o capacidades de comunicación personal de cada uno de ellos. Para muchos economistas estas condiciones no observadas son muy relevantes para comprender tanto la estructura del salario como sus variaciones aunque es necesario reconocer que los datos disponibles sobre estos componentes no son buenos.
4. Formación; son aquellos elementos del capital humano que se desarrollan tras concluir el proceso escolar y, aunque comparten parcialmente su estructura, no poseen el mismo grado de validación social como aquella que otorga el sistema escolar formal. Se relaciona con las competencias que serán de utilidad para la industria particular en la que cada trabajador decidió incorporarse; aunque los retornos son similares a las inversiones en escolarización formal la variación se encuentra en que es el individuo quien establece de manera particular cuánto invertir en ello. Estos elementos ofrecen una complejidad adicional para la observación, el trabajador en muchas ocasiones no cuenta con la información o los recursos suficientes para orientar las inversiones en sí mismo y es la firma la que interviene frecuentemente en los procesos de capacitación asumiendo una parte significativa de la inversión; es decir, ya que se trata de una inversión conjunta realizada por la empresa y

el trabajador se dificulta el análisis para determinar el nivel más exacto para reconocer cuánto incide cada uno en la formación del capital humano.

5. Las influencias pre-laborales en el mercado: aunque se trata de una influencia de carácter sociológico, hay un número creciente de economistas que consideran relevante la presencia de los grupos que rodean al individuo en la formación de su capital humano antes del mercado laboral. Si el entorno es una variable que no ha sido definida de forma completamente autónoma por el individuo, no se le puede dejar de considerar como parte de una inversión deliberada sino como un factor de aproximación en el desarrollo de las competencias; sin embargo, en algunas condiciones puede ser observarse como elemento de inversión autónoma e informado, y en este caso sus retornos marginales pueden ser estudiados por el análisis típico de estos componentes, como los retornos Mincerianos a la educación que se revisarán más adelante. Por ejemplo, una familia puede definir cuál será el entorno social más propicio para que sus hijos se desarrollan armónicamente, esa exposición a las influencias pre-laborales del mercado puede definir la capacidad de composición de su capital humano; en este sentido, la economía comparte los mismos problemas que tiene la teoría de la educación en integrar a sus estudios este tipo de observaciones.

Una vez revisadas las fuentes del capital humano se pueden establecer sus componentes, integrados por tres elementos a saber:

1. Competencias generales: relacionados con el lenguaje básico y la alfabetización cuantitativa y, más ampliamente, con la capacidad de procesar información y utilizarla en la resolución de problemas y en el aprendizaje.

2. Competencias específicas: son las relacionadas con el funcionamiento de determinadas tecnologías o procesos de producción.
3. Conocimiento técnico y científico: se refiere al dominio de los órganos específicos del conocimiento organizado y técnicas analíticas que pueden ser de relevancia en la producción o en el avance de la tecnología, como la física, la arquitectura o los principios de diseño de circuitos lógicos (De la Fuente & Ciccone, 2002, p. 9).

La universidad contemporánea no puede mantenerse aislada de estos escenarios, debe encontrar las rutas y convenios que le permitan participar en la dinámica de generación y desarrollo del avance científico y su aplicación tecnológica, enriqueciendo la formación integral de sus profesionistas; de este modo podrá integrarse como factor determinante de los sistemas regionales de innovación en una relación equilibrada con el resto de los agentes, y responder a las necesidades sociales del desarrollo económico y la prosperidad.

3.4.3. Bases teóricas para el estudio de la productividad del capital

humano. El punto de partida de las perspectivas teóricas que estudian al capital humano se localiza en los estudios desarrollados por Nelson y Phelps a mediados de la década de 1960 sobre la difusión tecnológica y la capacidad de adaptación de los agentes de producción. Bajo este enfoque de análisis, la educación adquiere un papel fundamental en la implementación y extensión del uso de la innovación tecnológica que impacta en los niveles de producción de la industria (Nelson & Phelps, 1966).

Correa-López plantea un nuevo acercamiento a la hipótesis de la que se deriva el modelo Nelson-Phelps: «la educación acelera el proceso de difusión tecnológica», y propone la aplicación del modelo multisectorial de Aghion y Howitt para desvelar “nuevas ideas sobre la relación entre el stock de capital humano y el proceso de

crecimiento” (2008. p.3) que demuestran la incidencia positiva de los logros educativos en las tasas de crecimiento productivo y la innovación. Algunas correcciones de las estimaciones identificadas por esta autora solucionan las deficiencias que Nelson y Phelps habían identificado en su planteamiento original, estas son: (1) El tratamiento exógeno de avances técnicos y la incapacidad de poder incluirlos como factores agregados a las variables del estudio, y (2) la ausencia de una base de datos y procedimientos que determinen con mayor precisión el nivel de instrucción.

En relación al impacto del capital humano en la industria de la innovación estos son algunos de los resultados de investigaciones realizadas al respecto y que permiten identificar las principales implicaciones que deben tenerse en cuenta al momento de desarrollar estudios posteriores.

1. Primera implicación. El nivel de productividad de los trabajadores se incrementa con el nivel de calificación de sus habilidades. Los resultados empíricos de algunos estudios realizados a nivel de las firmas encuentran una relación positiva entre la calidad formativa del capital humano y la productividad de la empresa. Los trabajadores con elevados niveles de calificación representan una fuente de información e innovación para las firmas y esto ayuda a incrementar la competitividad de la empresa en el largo plazo. Es por esto que las firmas tienen una predisposición favorable a ofrecer sueldos más altos por los servicios de estas personas ya que su propia productividad compensa por sí misma la inversión (De la Fuente & Ciccone, 2002).

Lynch & Black realizaron un estudio para el National Bureau of Economic Research en 1995 en el que vinculaban el impacto del nivel de escolaridad y el entrenamiento laboral posterior a la formación escolar con los resultados de las

prácticas laborales y la productividad. La investigación se propuso descubrir los factores que orientan el tipo de inversión de las firmas; qué tipo de relación que existe entre la escuela y los programas de capacitación proporcionados por la empresa que configuran las habilidades de los trabajadores; cuál es el perfil de los beneficiarios directos del entrenamiento laboral; qué vínculo existe entre las inversiones de capital físico y capital humano y cómo la transferencia de recursos al capital humano impacta positivamente en la productividad y los rendimientos de los negocios en Estados Unidos.

Como método de análisis utilizaron la función Cobb-Douglas por separado en los sectores de manufactura y de no manufactura con la aplicación de un instrumento único. Los resultados de la *Encuesta sobre la Calidad de la Educación de la Fuerza de Trabajo Nacional de Empleadores*, EQW-NES muestran que “el capital humano es un factor determinante en la productividad de los negocios” (Lynch & Black, 1995, p. 24) y que el componente de escolaridad tiene efectos positivos en los dos sectores de negocios estudiados. Esto se sostiene al revisar el coeficiente estimado del modelo sin restricciones que muestra que un aumento de alrededor de un año escolar, alrededor de 10% en la educación media, genera un incremento de 8.5% de productividad en el sector manufacturero y del 12.7% en el no manufacturero. Sin embargo, obtener resultados sobre el impacto del entrenamiento para el trabajo en la productividad de los negocios fue más complejo de establecer, ya que el equipo de investigación sólo pudo realizar dos mediciones en momentos distintos del estudio, en 1990 y 1993, por lo tanto no contaban con la totalidad de la información necesaria para la correcta proyección del modelo. Al respecto Lynch & Black consideran que es muy probable que en su estudio en particular se estén subestimando los verdaderos rendimientos del

entrenamiento; adicionalmente los primeros resultados permiten identificar problemas de multicolinealidad entre inversiones en capacitación y nivel educativo.

En otro proyecto desarrollado en el Reino Unido por Blundell, Dearden, Meghir & Sianesi (1999), se presenta una reseña descriptiva sobre el efecto causal que tiene la educación y la capacitación laboral individual en las empresas, tratando de controlar los sesgos en las estimaciones de rendimientos. Al comparar los resultados entre investigaciones realizadas en Gran Bretaña y Europa, los autores concluyen que “en todos los sectores examinados de las firmas continentales los promedios más altos de productividad se relacionan con un nivel elevado de competencias de la fuerza laboral” (p.13); mientras que en Reino Unido un bajo nivel de competencias de los trabajadores puede incidir de forma negativa a la productividad.

Esta relación no deja de ser compleja. Es evidente un efecto causal positivo del entrenamiento en la productividad de las firmas como lo muestran varios estudios desarrollados fuera de Inglaterra. Sin embargo las estimaciones presentan variaciones contrastadas en cuanto al nivel de impacto, particularmente por el efecto del entrenamiento previo proporcionado por otra firma que en Estados Unidos incrementa la productividad inicial del trabajador en un 9.5% aunque sólo en el corto plazo; a diferencia del entrenamiento laboral previo que el individuo adquiere fuera del puesto de trabajo con un incremento de 16% en la productividad en un plazo más duradero; esto significa que la formación laboral proporcionada por las firmas tiene un factor elevado de transferibilidad impactando a las competencias generales que integran el capital humano, aunque diluyendo su efecto con el paso del tiempo (Blundell et al., 1999).

El impacto de la transferencia de las habilidades producto de la capacitación para el trabajo suele tener efectos limitados en relación a dos factores; (a) el paso del tiempo afecta de forma creciente la aplicación de estas habilidades en el trabajo, y (b) los puestos laborales en empresas con un alto nivel de cambio tecnológico requieren de procesos permanentes de capacitación.

2. Segunda implicación. La capacidad para aprender y producir nuevo conocimiento se traduce en mejoras de los bienes o servicios producidos, o de los procesos para conseguirlo.

Todo aumento en la calidad de un bien o servicio refleja un incremento en la productividad del productor, la mejora sustancial y sostenida de estos productos intermedios representa el esfuerzo de innovación de las firmas. Un elemento central de la industria de la innovación es la aplicación de la base científica y técnica, así como el grado de transferencia desde los centros de desarrollo a los ámbitos de la empresa. Este contexto agrega externalidades entre los distintos sectores industriales que influyen en la orientación, volumen y velocidad en los desarrollos, por lo que la figura del investigador se beneficia en la misma medida en que aporta con la base del conocimiento común que se comparte en esta economía.

El crecimiento de las firmas depende de las innovaciones verticales que están altamente relacionados con la inversión en Investigación y Desarrollo y el stock disponible de investigadores. De acuerdo a Correa-López (2008) la figura del investigador en la innovación vertical es relevante pues se convierte en un intermediador individual entre los desarrollos científicos y la producción de innovaciones de las empresas.

Peter Howitt (1999) utilizó el modelo de crecimiento endógeno de Schumpeter para demostrar que el efecto a escala del crecimiento poblacional y su impacto en el

mercado laboral se disipa con el aumento de la producción de bienes intermedios derivados de la innovación horizontal o imitación a un costo de transferencia menor. A partir de este trabajo y de un análisis basado en el modelo Aghion-Howitt, Correa-López utiliza el marco más simple para abordar la Investigación y Desarrollo y concentra en el efecto que tiene la mano de obra no investigativa en el crecimiento de las firmas (Correa-López, 2008).

Al interpretar el modelo analizando el volumen de capital humano disponible en los segmentos de mano de obra no relacionados con la investigación, se puede demostrar que la economía en general no muestra cambios en su escala relacionados con los cambios en el stock del capital humano siempre y cuando este capital incremente el rango y nivel de sus capacidades. En general los efectos a escala que se exponen en el trabajo de Correa-López muestran que la tasa de crecimiento de la producción se relaciona positivamente con el número de investigadores que inciden tanto en el desarrollo como en la intermediación de la innovación en la industria, y por otro lado, hace notar que el volumen de personas relacionadas con el trabajo no investigativo afecta de forma negativa la compensación.

3. Tercera implicación. La transferencia e implementación de la tecnología se encuentran relacionadas con los niveles formativos de los empleados.

En los tiempos recientes el grado de desarrollo, versatilidad, costos y difusión del conocimiento y la tecnología en información, comunicación y cooperación, ha contribuido a la producción de conocimiento y a la creciente importancia del capital humano en los procesos asimilación y extensión de las tecnologías (Clarke, Durand, Pilat, & Torres, 2001).

En su artículo *Human capital and technology diffusion* (2005) Benhabib & Spiegel al igual que Correa-López retornan a las observaciones de Nelson & Phelps

sobre el papel significativo que el nivel de capital humano tiene en la velocidad en que se reduce la brecha entre la frontera tecnológica y su impacto en el nivel de productividad; sin embargo, para estos autores el logro educativo no puede ser el único elemento a considerar en la integración del capital humano, ya que representa en todo caso uno más del conjunto de elementos que algunas veces pueden escapar de las observaciones que se integran al análisis.

La velocidad en el cambio y desarrollo tecnológico influye en la volatilidad de las competencias que conforman el capital humano, y por lo tanto, en la incertidumbre de las inversiones vinculadas a él, pues una inferencia equivocada puede provocar tasas de inversión en discordancia con el desarrollo de la innovación. Bartel & Sicherman (1998) fueron parte del equipo que desarrolló la Encuesta Nacional Longitudinal de la Juventud en Estados Unidos, y encontraron que aquellas personas contratadas para labores de producción en aquellas industrias de manufactura que fueran más sensibles al cambio tecnológico, eran más propensos a recibir entrenamiento laboral por parte de las empresas; y ya que los empleados menos calificados son quienes reciben más entrenamiento laboral, ante tasas de cambio tecnológico mayores se reduce la distancia de formación entre los que tienen mayor educación y lo que tienen menos.

La Tecnología de Información, Comunicación y Colaboración genera impactos de largo alcance en la economía al extender sus aplicaciones en múltiples sectores de la producción de bienes y servicios incrementando la capacidad de las personas en la forma en que almacenan, acceden y procesan la información a costos cada vez menores y velocidades más elevada.

Por lo tanto, los avances en las TIC posiblemente se extendieron gradualmente a los sectores de usuarios, generando un rápido cambio

tecnológico y organizacional en toda la economía, del que se puede esperar que contribuya a la aceleración del progreso técnico y su difusión, al proporcionar a los investigadores nuevas y potentes herramientas y acceso prácticamente instantáneo a la información en todo el mundo (De la Fuente & Ciccone, 2002, p. 10).

La tecnología aumenta la participación y la competencia en mercados diversos al brindarles a las empresas la oportunidad de abastecerse de clientes y proveedores en una escala global, de acuerdo a las necesidades y expectativas de desarrollo de cada firma. El incremento en el flujo de participantes en los mercados de carácter virtual reduce los costos de localización y erosiona la inversión para la transferencia de conocimiento e información. Ante una presión competitiva más alta al interior y exterior de las economías nacionales el acceso a suministros suficientes y sostenidos de personas capacitadas, adquiere relevancia estratégica para que las economías en desarrollo puedan mantener el paso de los países ubicados en la frontera tecnológica, y así beneficiarse de la aplicación de las nuevas tecnologías.

El desarrollo mismo de la tecnología impacta también en la forma en que se genera el conocimiento. La producción de innovaciones depende cada vez más de actividades intensivas de Investigación y Desarrollo que se interpolan con la ciencia formal permitiendo que la base del conocimiento científico pueda ser aplicado en múltiples procesos de esta producción.

Múltiples estudios consideran que las industrias con la aplicación intensiva de las TICC o aquellas basadas en Investigación y Desarrollo, demandaron más empleados con formación universitaria a un ritmo más acelerado en las década de 1980. Entre estos estudios De la Fuente & Ciccone muestran especial interés por el realizado por Amos, Dunne & Troske en 1997 en el que se concluye que la

modernización de la tecnología en las empresas se acompaña de un aumento en la demanda de trabajadores con un alto capital humano que representa un requisito previo a la aplicación de nuevos desarrollos. Investigaciones semejantes como las llevadas a cabo en 1997 por Aguirrebriria & Alonso-Borrego; Dueguet & Greenan; y Haskel & Heden en España, Francia e Inglaterra respectivamente, muestran conclusiones similares (De la Fuente & Ciccone, 2002).

A nivel de las firmas, Berman, Bound & Griliches (1994) así como Katz (2000), documentan una correlación positiva entre la inversión para el acceso y modernización de equipo de cómputo de vanguardia en las industrias y la demanda de capital humano más calificado.

También sobresale el estudio de Machin & Van Reenen (1998) en el que a partir de la información comparada de distintas economías y empleando la intensidad de la inversión en Investigación y Desarrollo como parámetro de medición de desarrollo tecnológico, se vinculó el nivel formativo del capital humano con la producción e implementación de innovaciones en Dinamarca, Francia, Alemania, Japón, Suecia y Reino Unido.

Aunque se ha logrado establecer que el cambio tecnológico incide en la demanda de trabajadores con alto capital humano no se han desarrollado un número significativo de investigaciones para describir los mecanismos exactos de esta relación. Autores como Dunne, Haltiwanger & Troske (1997) y Machin & Van Reenen (1998) otorgan a la evolución y cambio de la estructura organizacional un rol fundamental en la incorporación, formación y retribución del personal con capital humano específico a los objetivos de cada firma. En este mismo sentido Caroli & Van Reenen (1999) desarrollan una investigación en las empresas británicas y francesas para establecer cómo los cambios organizacionales en la descentralización de la

autoridad, el reordenamiento en la estructura de las jerarquías y el incremento de las funciones multitarea influyen en los requerimientos de capital humano; los resultados indican que estos cambios provocan una reducción en la contratación de trabajadores con capital humano bajo y un mayor crecimiento de la productividad en las empresas con capital humano más alto.

4. Cuarta implicación. La capacidad del capital humano se incrementa con los años de educación formal.

La economía laboral distingue tres fases del capital humano acumulado relacionadas con el ciclo de vida de las personas (De la Fuente & Ciccone, 2002). (a) El primero en desarrollarse es el capital humano temprano, un proceso que ocurre principalmente el hogar y por el contacto social del entorno inmediato de los individuos. (b) El segundo es el capital humano adquirido por medio de la educación formal, y es una mezcla de conocimientos y habilidades estructurados por sistemas de enseñanza oficializados, aunque posee componentes elevados de conocimiento explícito su valor radica en el conocimiento tácito que las personas pueden desarrollar por cuenta propia a partir de lo explícito. (c) El tercero es el capital humano acumulado en el puesto de trabajo, en él se integran la educación fuera del sistema escolar, la capacitación para el trabajo y la experiencia laboral. Ya que el capital humano desarrollado en la educación formal es más sencillo de medir, la mayor parte del trabajo de los investigadores se concentra en las consecuencias que tiene en el mercado de trabajo.

Los estudios económicos entendían el beneficio en el aumento de la educación a partir de entender su producto marginal; aunque en el contexto de la economía del conocimiento se ha encontrado que la educación se vincula fuertemente con la tasa de crecimiento de los factores totales de la producción en la misma medida en que

determina el grado de difusión tecnológica, lo que ha provocado que “su beneficio se mida en términos de la suma de su impacto en todos los niveles de producción en el futuro” (Benhabib & Spiegel, 2005, p. 4).

En el modelo de estudio elaborado por Correa-López (2008) se pone especial atención en el papel que juega el sector formativo como un motor fundamental para la difusión tecnológica. El incremento en cualquier factor en los dos niveles de trabajadores al interior de las firmas, reduce el tiempo de transferencia y aplicación de la tecnología; por ejemplo, una fuerza laboral más preparada del personal con especialidad media o baja reduce los tiempos de atraso en la adopción y acelera la difusión tecnológica. La autora considera que de acuerdo a este contexto, el tiempo de adopción se explica como una función decreciente de la distribución de la habilidad en los trabajadores con especialidad baja o media, “la solución al modelo muestra que la tasa de crecimiento estacionario de la tecnología y de los rendimientos, aumenta con un incremento en la distribución de las habilidades de trabajo de calificación media y baja y de la elasticidad de la calidad de estas habilidades” (Correa-López, 2008, p. 7).

En la mayoría de los modelos existe una probabilidad elevada de “subvaluación de los retornos reales a la educación, relacionados con la medición de los retrasos en la difusión tecnológica y la brevedad del periodo sobre el cual se calculan las tasas de crecimiento” (De la Fuente & Ciccone, 2002, p. 34).

5. Quinta implicación. Una demanda más alta de capital humano con elevadas competencias impacta en las primas salariales relacionadas con el nivel educativo.

Los estudios acerca de los retornos marginales a la educación estiman el efecto de los años adicionales de educación formal en el incremento de los salarios; el problema se encuentra en el uso de métodos típicos de análisis, la dificultad de

estudiar este efecto de forma realista es que el capital humano se diferencia entre cada trabajador en muchos aspectos que van más allá del nivel escolar; en la conformación de dichos capitales se han agregado nuevos rasgos como la influencia familiar, el entorno social, la capacidad física y mental, entre otros que difícilmente pueden observarse con exactitud y estimarse en su justa dimensión y peso. Mientras nuevos métodos empiecen a incluirlas en su análisis empezarán a reflejarse en explicaciones más comprehensivas sobre su influencia y papel.

Si bien el método estándar de mínimos cuadrados puede utilizarse para definir porcentajes en las variaciones de los sueldos vinculados a la educación formal e incluir, con relativo éxito, otros componentes menos susceptibles a las mediciones; De la Fuente & Ciccone (2002) consideran que en relación a este tipo de estimaciones es necesario tomar en cuenta que (a) la capacidad individual derivada de las condiciones físicas o mentales de cada persona puede influir tanto con los resultados académicos como con la productividad y los salarios; aunque las estimaciones por mínimos cuadrados frecuentemente relaciona de forma excluyente el monto de los sueldos con la capacidad de educación, esto significa que se puede estar sobreestimando el papel del grado educativo en relación a las retribuciones. (b) La calidad de las observaciones sobre el nivel educativo individual suele incluir información inexacta o difícil de estandarizar entre una economía y otra, lo que significa que se estaría subestimando el efecto de la educación en los salarios en este caso.

Los resultados de los estudios coinciden en señalar que los incrementos salariales relacionados con la escolarización y la desigualdad de los mismos son impulsados por el cambio tecnológico. Mincer (1996) reconoció que los ingresos de los graduados universitarios en general se incrementaron en Estados Unidos a la par

de las inversiones en Investigación y Desarrollo entre 1963 y 1987. Allen (1996) mostró que la prima salarial se incrementó en un promedio mayor en las industrias con mayor inversión en Investigación y Desarrollo y alta tecnología entre 1979 y 1989, efecto que se repite en Krueger (en De la Fuente & Ciccone, 2002) quien sostiene en su estudio realizado en 1993 que la inversión en tecnología de información y comunicación ha modificado la estructura de los salarios en los Estados Unidos.

3.4.4. El resultado de los Retornos Mincerianos a la educación. Al revisar las estimaciones obtenidas con distintas metodologías, De la Fuente y Ciccone consideran que en el análisis estadístico se debe tener precaución con las primeras estimaciones realizadas sobre los retornos de la escolarización que fueron originalmente propuestas por Jakob Mincer, pues el uso de la técnica de mínimos cuadrados requiere ser contrastada con los resultados de estimaciones obtenidas con otras técnicas, como los estudios de gemelos o con el enfoque instrumental variable, para comprender el nivel de confiabilidad de los resultados.

Al respecto, una vez realizada esta comparación, se puede reconocer que los datos obtenidos con estas dos últimas técnicas son relativamente mayores a la de MCO (De la Fuente & Ciccone, 2002). Sin embargo, pese a esta falta de armonía entre los resultados de la técnica de estimación usada para el retorno Minceriano y las técnicas más recientes, una vez que se realizan ajustes en las variables y se aumenta el control del estudio, las diferencias se reducen en un 50% y no son tan significativas.

Emplear los salarios como coeficientes de la ecuación que estiman la productividad del capital humano es, en el mejor de los escenarios, el criterio menos imperfecto del conjunto de información disponible que podría utilizarse. Esto se debe a que el salario puede relejar la contribución de la educación en la productividad al

mismo tiempo en que puede capturar la aversión social a la desigualdad salarial y la intervención de agencias estatales que generan compresión en los sueldos. En todo caso, “el error de medición sólo implica que los mínimos cuadrados resultantes subestiman el efecto de la educación formal en los salarios” (De la Fuente & Ciccone, 2002, p. 13) pero continúan reflejando la relación de efecto. En múltiples investigaciones el salario es tomado como un elemento que refleja la productividad marginal del trabajo y por lo tanto puede ser empleado para analizar los efectos de la educación formal en la productividad.

Para intentar solventar algunas de las dificultades que plantean los determinantes no observables de los salarios en función con la educación y los errores en la estimación de la enseñanza individual, los investigadores plantean observar el efecto de los salarios mediante un estudio comparado de gemelos idénticos; o bien, emplear la técnica de estimación instrumental variable en el que se agrega un conjunto de elementos adicionales -o instrumento- que afecta al grado escolar como variable pero no se correlaciona con los determinantes no considerados de los sueldos o los errores de medición del nivel de enseñanza. Cuando se emplea esta última técnica primero es necesario obtener la estimación con que el instrumento afecta la variable escolarización y salarios, y a partir de este resultado se calcula la estimación instrumental variable de los salarios en función de la educación formal dividiendo el resultado la segunda estimación entre el resultado de la primera. En la práctica por ejemplo, se incluyen como instrumentos “los cambios institucionales que influyen en la edad de egreso o la variación en los costos de la matrícula” (De la Fuente & Ciccone, 2002, p. 14).

3.5. Modelo de interacción de triple hélice

El tercer objetivo de la presente investigación es realizar un análisis sobre las condiciones de interacción entre universidad e industria, dos de los tres núcleos que explican el proceso de innovación industrial desde la perspectiva sistémica del modelo de triple hélice. Para ello es pertinente realizar algunas acotaciones sobre los elementos, estructura, dinámica y funciones del modelo que ayudan a determinar el enfoque con el que serán consideradas las variables y su análisis en este estudio.

En la introducción del artículo *Triple Helix system: an analytical framework for innovation policy and practice in the Knowledge Society* (Ranga & Etzkowitz, 2013), sus autores definen la triple hélice como una interpretación evolutiva de un sistema de producción industrial que pasa de la diada industria-gobierno a una relación tripartita creciente entre universidad, industria y gobierno. La concepción inicial del modelo fue desarrollada a principios de la década de 1990 por Etzkowitz y Leydesdorff tomando como referencia el trabajo de Lowe y Sabato & Meckenzie de 1982. La tesis general considera 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 de triple hélice está compuesto por tres agentes institucionales o hélices que interactúan de acuerdo a tres condiciones: (a) relaciones relativamente simétricas entre ellos con un rol destacado de la universidad en el proceso de producción de innovaciones; (b) colaboración que se traduce en políticas para la innovación derivadas de la interacción recíproca y no del

ejercicio vertical tradicional de los organismos gubernamentales;

(c) multifuncionalidad, cada agente institucional cumple con sus funciones específicas al tiempo en que asume las de otros para reasignarse nuevos roles, las instituciones que asumen nuevos roles se consideran una hélice con mayores potenciales de innovación (Human Sciences and Technologies Advanced Research Institute, 2011).

En las nuevas versiones del modelo, Etzkowitz y Zhou (2007) introducen dos elementos no considerados en estudios previos: Campo y Circulación.

El Campo es un concepto que rescatan de la física y es utilizado para explicar los procesos aparentemente antagónicos de superposición e independencia entre las hélices que se asume como la fuerza movilizadora del modelo en general. El concepto Circulación, por su parte, encuentra su origen en la biología y lo emplean para ayudar a determinar la dinámica de interacción entre las hélices. Una explicación más detallada se ofrece en el apartado 4.2. de este trabajo.

3.5.1. Bases teóricas generales del Modelo de Triple Hélice. El capital intelectual y el desarrollo de innovación tecnológica hoy 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, en donde creatividad e innovación son dos de los componentes inmateriales más relevantes para la economía del conocimiento (Powell y Snellman, 2004).

A la economía del conocimiento se le puede caracterizar por tres rasgos distintivos.

1. Primero, se trata de procesos acelerados y complejos, tanto al interior como al exterior de las redes de sistemas y subsistemas públicos o privados, que

interactúan desde distintas esferas -industrial, comercial, académicas y normativas- y son capaces de catalizar la creación, producción, retención y depreciación del conocimiento (Avaro, 2011; Aghion y Howitt, 1990; Hermens, 1941; Schumpeter, 1934).

2. Un segundo rasgo lo representan las transformaciones profundas en los modelos de producción y gestión de nuevas formas de capital que se generan, desarrollan, progresan y caducan a ritmos que escapan y desbordan la previsiones de quienes lo proyectan, generan, regulan o consumen (Avaro, 2011).
3. El tercero es la migración conceptual permanente de las redes multi lineales de información hacia los sistemas multidimensionales de interacción y determinación recíproca, que dependen directamente de la innovación para establecer vínculos de utilidad social entre el uso global del capital intelectual y una sociedad conformada por nuevos tipos de ciudadanos y consumidores (Hauge, 2009; Castells y Cardoso, 2006; Etzkowitz, 2003; Adler, 2001).

Es esta relación valorativa la que permite que a la innovación se le vincule con los modelos de socialización del conocimiento en distintas escalas de complejidad, de modo que la sociedad pueda ser capaz de utilizar en un mismo espacio de interacción “diferentes tipos de conocimientos: intelectual, codificado, integrado y personalizado. Lo que da por resultado una amalgama de codificadores y recodificadores que se adaptan a diferentes circunstancias o necesidades de consumo personalizado” (Avaro, 2011, p.6).

La innovación es hoy en día uno de los derivados más valiosos de la economía del conocimiento, 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)disponibilidad de activos intelectuales pertinentes, suficientes y adaptables; (c)industria y mercados con fuertes bases en el desarrollo y aplicación del conocimiento; y (d)vínculos de interacción entre este conjunto de estos factores.

Una parte de las disciplinas de las ciencias sociales se han concentrado en nuevas líneas de estudio sobre la generación, desarrollo y socialización de la riqueza basada en el conocimiento; las investigaciones derivadas han permitido comprender bajo qué escenarios y condiciones interactúan y se transforman las distintas esferas institucionales que participan en el proceso.

Como ya se ha mencionado de una forma más extensiva en el presente trabajo, 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.

El modelo de triple hélice depende de distintos órdenes de interacción en los que se vinculan tanto a los factores del entorno como a las distintas hélices entre sí.

Entre estos órdenes se destacan los siguientes:

1. Las condiciones, recursos y capitales disponibles ofrecen un entorno propicio para la dinámica de producción de bienes y servicios basados en la aplicación

intensiva del conocimiento (Rohrbeck, Hölzle, & Gemünden, 2009; Adner, 2006; Moore, 2006).

2. Los proyectos específicos para desarrollo de innovación capaces de generar nuevas espirales en el modelo (Martín-de-Castro, López-Sáez y Navas-López, 2008; Feldman, 2007 y 2001).
3. Los procesos de retención e intercambio de información entre las esferas institucionales generados con el propósito de estabilizar la incertidumbre hacia niveles óptimos para las expectativas de productividad del modelo (Leydesdorff et al., 2013; Leydesdorff, Dolfsma, & Van der Panne, 2006b; Leydesdorff & Meyer, 2006).
4. La transformación recíproca de las hélices, sus núcleos, estructuras y funciones no son construcciones herméticas sino reactivas a la interacción (Etzkowitz, 2003; Peters & Etzkowitz, 1990).

El doctor Loet Leydesdorff de la Escuela de Investigación en Comunicación de la Universidad de Ámsterdam ha construido un modelo de estudio que permite identificar con mayor precisión los procesos de transmisión en las interacciones de los núcleos institucionales de la Triple Hélice y de esta manera elaborar una versión más realista y actualizada de su funcionamiento. En su tesis la forma en que el modelo opera y controla los niveles de incertidumbre entre sus elementos tiene un papel predominante, esta operacionalización del «caos» provoca el surgimiento de un subsistema que moviliza, impulsa y transforma a las hélices a partir de nuevas subdinámicas de interacción y producción (David & Foray, 2002; Etzkowitz & Leydesdorff, 2000).

Una disposición en red de interrelaciones sobrepuestas entre un conjunto de interfaces de relaciones bilaterales puede sustituir en cierta

medida las funciones de integración central. En este caso, un virtual hiper-ciclo se integra potencialmente al sistema complejo al proveerlo de una estructura adicional (Leydesdorff, Dolfsma, & Van der Panne, 2006, p. 184).

El modelo de Leydesdorff ha sido aplicado exitosamente en investigaciones de distinta naturaleza (Etzkowitz & Ranga, 2010; Ivanova & Leydesdorff, 2014; Leydesdorff et al., 2006a) y demostró dos cualidades sobresalientes.

1. Solidez, al brindar resultados estables para distintos abordajes teóricos, entre los que destacan: las investigaciones de corte histórico basadas en la economía evolucionista en las que ha logrado identificar qué áreas del sistema se transforman en un periodo de tiempo específico; en proyectos de investigación neo-evolucionista ha sido una herramienta que ayuda a definir cómo es que los cambios en las funciones de las hélices generan una transformación en beneficio de la totalidad del modelo; y en el estudio de los sistemas complejos, ha permitido determinar cuáles son los rasgos y consecuencias de la multideterminación en redes sistémicas y subsistémicas (Etzkowitz & Leydesdorff, 2000).
2. Versatilidad, ya que ha permitido incorporar datos de distinta naturaleza para alimentar su matriz, arrojando 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, 2006b).

En su trabajo para el Departamento de Historia Económica de la Universidad de Uppsala, Jonathan M. Feldman identifica un subsistema derivado de la interacción intensa de las esferas de la triple hélice al que denomina Espacio Creativo, termino

que ha sido cambiado para efectos de precisión conceptual por el de Centros de Innovación. Estos espacios se definen como un producto del crecimiento armónico, sistemático y organizado de los procesos creativos, en el que concurren los capitales adecuados para mantenerlos en operación, y desde el que se organiza estratégicamente el recurso simbólico, humano, institucional y tecnológico (Feldman, 2001). Ya que están específicamente orientados al desarrollo de innovaciones y representan el marcador que permite reconocer proyectos, empresas e instituciones educativas relevantes para que los sistemas de recursos públicos y privados los patrocinen. El autor pone como ejemplo tres experiencias regionales: la Universidad de Stanford y su papel en la fundación y sostenimiento de Silicon Valley; la British Aerospace System Virtual University, que se basa en una red de 50 universidades internacionales y empresas del ramo aeroespacial vinculadas con la industria británica; y el University Programmes and New Information Technologies de la Universidad de Michigan.

Feldman reconoce tres elementos comunes en espacios creativos:

(a) organizaciones diversas que se interrelacionan en un entorno o ecosistema de innovación propicio; (b) se organizan en torno a proyectos específicos que les permiten generar procesos de aprendizaje recíproco y (c) la capacidad para identificar los principios que promueven el tipo de relaciones necesarias para el aprendizaje organizacional.

La creatividad pueden considerarse como un recurso que permite transformar el capital intelectual en valor y riqueza; y representa una de las bases de la pertinencia, factibilidad y autonomía de proyectos de desarrollo valiosos para la economía del conocimiento; sin embargo resulta complejo integrar el concepto a la colección de unidades de análisis que se utilizan en la mayoría de los estudios de corte

cuantitativo. Incorporar las propuestas metodológicas empleadas con mayor frecuencia para evaluar el desempeño y productividad de los espacios creativos, y enriquecerlas con el estudio de las cualidades del particulares del proceso en relación a su impacto en el desarrollo regional puede ofrecer un marco de referencia más preciso para su comprensión y definir los indicadores de la creatividad como una variable objetiva (Feldman, 2001, 2007).

Las investigaciones sobre los procesos de producción de innovación realizada por distintas disciplinas -sociología, economía, administración, educación, ciencias de la comunicación, o más recientemente, matemática y estudios culturales- y desde de diversos abordajes teóricos –teoría sistémica y neosistémica, evolucionismo, teoría del caos o diseño estratégico empresarial- coinciden en considerar al fenómeno como una confluencia multivariada de elementos que, si bien difieren en la forma en que los abordan y explican, coinciden tanto en su condición dinámica de interacción como en el tipo y número de ejes (Leydesdorff & Meyer, 2006; Etzkowitz & Leydesdorff, 2000).

Es común que las distintas disciplinas académicas también intenten definir en qué condiciones, con qué tipo de agentes y cómo van a interactuar los elementos en relación a un entorno que facilita la sinergia, al que denominan ecosistema de innovación. Este ecosistema es al mismo tiempo generador y resultado de la confluencia de políticas públicas de producción, gestión y diseminación del conocimiento; programas académicos institucionales de generación y desarrollo de investigación e innovación; y la integración de los recursos de la innovación a la producción industrial y el mercado (Moore, 2006; Adner, 2006).

El motor de la economía contemporánea está cada vez más integrado por formas de producción postcapitalista capaces de producir niveles muy elevados de

riqueza a partir del valor del conocimiento. Una condición que es explorada como una posibilidad seria de desarrollo por las economías emergentes que empiezan a focalizar sus políticas públicas hacia el desarrollo del capital humano altamente apreciado por la economía del conocimiento (Etzkowitz & Klofsten, 2005).

3.5.2. Dependencia y superposición de los campos. Etzkowitz & Zhou consideran que toda interacción en el modelo de triple hélice se origina de acuerdo a tres condiciones: independencia, superposición de funciones y libertad relativa de acción; de esta interacción surgen organizaciones híbridas que se dedican de forma intensiva al desarrollo de innovaciones, como pueden ser los parques científicos, los spin-off, las empresas dirigidas por la universidad o las incubadoras; organizaciones que permiten multiplicar las capacidades y rendimientos del modelo. Intrínsecamente cada una de las hélices posee:

un núcleo interno y un campo de espacio externo, lo que ayuda a explicar por qué mantienen en una relativa independencia y distinto estatus, muestra cuándo tienen lugar las interacciones y explica por qué la dinámica de la triple hélice se puede constituir(...) una esfera institucional puede perder su carácter distintivo si no puede mantener su independencia relativa (Etzkowitz & Zhou 2007, pp. 10 y 11).

Cada hélice genera rendimientos diferenciados de acuerdo a las características y expectativas de retribución de los campos respectivos, estos se pueden agrupar en:

1. Rendimientos de la universidad, que inciden en la formación de recursos humanos, desarrollo científico, inventos, spin-off y start-ups.
2. Rendimientos de la industria en los que se incluye la producción de bienes, la generación de impuestos, inversiones para investigación y desarrollo, y la disposición de capitales de riesgo.

3. Rendimientos gubernamentales de los que se derivan fondos públicos, políticas, leyes y redes interinstitucionales de información.

El concepto de los campos ayuda a comprender hasta que punto se transforman los núcleos en diferentes procesos regionales de innovación. Aquellos que surgen en un contexto económico «laissez-faire» poseen campos que tienden a compactarse debido a la influencia recíproca que ejercen unos contra otras; mientras que los núcleos tienden a amplificarse en contextos de contención estatal para contrarrestar la fuerte regulación gubernamental (Etzkowitz & Zhou, 2007).

En el proceso de adecuación de los límites de los núcleos, los factores internos y externos de cada uno pueden tener pérdidas que se expresan como vacíos en el modelo; encontrar estrategias para llenar este vacío permite alcanzar el equilibrio de la hélice; los autores reconocen dos tipos de estrategias que motivan el surgimiento de proyectos y redes de colaboración mediante acuerdos institucionales, estos son:

1. Organizador de Regional de Innovación, representado por los acuerdos y estrategias interinstitucionales que poseen capacidad de convocatoria entre los distintos agentes de los núcleos.
2. Iniciador Regional de Innovación, que son los acuerdos y estrategias establecidos entre agentes con el prestigio y la autoridad suficiente para agregar recursos e iniciar proyectos (Etzkowitz & Zhou 2007).

3.5.3. Circulación en la triple hélice. Cada hélice capitaliza de manera distinta el conocimiento generado en los núcleos de modelo, pues cada una se integra en la interacción con objetivos diferenciados. Sin embargo comparten un resultado inherente al modelo: la transformación del conocimiento en capital convierte a los individuos involucrados en emprendedores potenciales y cofundadores de los procesos de innovación. La relación entre todos los elementos de cada hélice representa la

materialización del ejercicio articulado de todos los recursos de comunicación, la integración de redes y el surgimiento de micro organizaciones entre las hélices.

La circulación ocurre tanto al nivel macro como micro. La macro-circulación se mueve entre las hélices, mientras que la micro-circulación tiene lugar dentro de alguna de ellas en particular. Lo que primero fue la creación de políticas de colaboración, proyectos y redes se convertirá después en producto de las hélices individuales (Etzkowitz & Zhou, 2007, p.13).

Los autores reconocen que hay al menos tres formas de circulación en el modelo de triple hélice:

1. Circulación de personal, en donde las personas fluyen de un núcleo a otro y representa una forma de intercambio que transfiere conocimientos, ideas y experiencias entre organizaciones dotando de sustento y viabilidad a los proyectos de colaboración.
2. Circulación de información, en donde se moviliza información en varios niveles al interior de los núcleos, entre ellos o fuera del sistema en el ámbito local, regional, nacional o global.
3. Circulación de producción, en la que se transfieren de forma recíproca los bienes y servicios generados en el proceso de innovación de modo que la interacción pueda redituar los beneficios correspondientes a cada hélice.

El presente estudio dará especial importancia al sistema de interacción entre las hélices universidad e industria, enfocándose en el impacto que esta relación tiene en el desarrollo de las competencias del capital humano para la industria a partir de la calificación formativa de los ingenieros y la circulación de personal e información entre las dos. Para ello se hará uso del modelo de información de Shanon que permite

integrar los datos de las variables en tres dimensiones y definir el nivel de incertidumbre de los componentes del sistema.

4. Metodología y resultados

El modelo estadístico empleado ha sido probado con buenos resultados en estudios de diferente índole, por ejemplo: (1) para medir la producción científica de un país en proyectos de investigación que utilizan los datos de los sistemas de patentes nacionales o de la SCI como unidades de análisis (Ye, Yu, & Leydesdorff, 2013; Park & Leydesdorff, 2010; Park, Hong, & Leydesdorff, 2005); o (2) en estudios de econometría en los que las unidades de análisis estaban integradas por datos generados por las firmas tales como su tamaño, clasificación tecnológica y domicilio que fueron empleados como proxies de las dimensiones económica, tecnológica y gubernamental en distintas naciones como Holanda (Leydesdorff, Dolfsma, & Van der Panne, 2006a); Alemania (Leydesdorff & Fritsch, 2006); Hungría (Lengyel & Leydesdorff, 2011); Noruega (Strand & Leydesdorff, 2013); Suecia (Leydesdorff & Strand, 2013) y la Federación Rusa (Perevodchikov, Uvarov, & Leydesdorff, 2013).

Aunque el procedimiento estadístico es funcional los investigadores advierten sobre algunos aspectos que confían en corregir conforme se avance en el desarrollo del procedimiento, entre los que destacan:

1. Los resultados de los indicadores no predicen condiciones de integración sólo describen su condición en tres o más dimensiones, definir el nivel de interacción del sistema dependerá de la interpretación de los resultados empíricos .
2. Los resultados de los indicadores son herramientas que requieren procedimientos adicionales para lograr distinguir la densidad, fortaleza e integración de las relaciones entre las variables

Las correlaciones espurias pueden reducir incertidumbre sin ser visibles en los datos sin análisis –y por lo tanto estar latentes; mientras

que la correlación parcial puede ser medida usando estadísticas como la $r_{xy|z}$ de Pearson u otras mediciones como la $H_{xy|z}$ de incertidumbre de Shanon en dos dimensiones condicionadas a una tercera, o la de correspondencia de información mutua $T_{xy|z}$. (Leydesdorff et al., 2013, p. 9).

4.1. Delimitación del proyecto

La primera parte del proyecto va a utilizar los datos estadísticos de 2012 relacionados con la actividad económica de la sector aeroespacial, concentrándose en tres rubros: (1) los programas con fondos para la investigación, desarrollo, diseño y producción en la 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.

Se eligió este año pues es el periodo del que se tiene mayor riqueza de información al contar con el reporte de resultados del censo económico de los Estados Unidos más reciente.

Los datos utilizados en esta parte del proyecto provienen, de acuerdo a la región del estudio, de las siguientes fuentes:

1. Para el sur de California se recuperó información 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.

2. Para la región Noroeste de Inglaterra la información se obtuvo del Censo Económico del Reino Unido, reporte del Gasto del Reino Unido, reportes del Sistema Aeroespacial británico, la Oficina Europea de Estadística y los reportes privados elaborados por Deloitte y KPMG.

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.

1. Para el sur de California se utilizó el Sistema de Clasificación Industrial de América del Norte¹, y se consideraron en el estudio 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. En el caso del Noroeste de Inglaterra se usó la Nomenclatura de Actividades Económicas dentro de la Comunidad Europea², 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).

En relación a ambas clasificaciones, es importante considerar que versión norteamericana es más exhaustiva en desagregar las actividades industriales en tanto que la nomenclatura europea tiende hacia la generalización de las actividades.

Los datos a considerar para definir la entropía probabilística de la información mutua entre las variables independientes son: (1) número de proyectos de vinculación entre Universidad e Industria; (2) número de proyectos de vinculación entre Universidad y Gobierno; (3) número de proyectos de vinculación entre Industria y Gobierno; (4) número de proyectos de vinculación entre Universidad, Industria y Gobierno; (5) número de programas universitarios sin relación con el resto de las hélices; (6) número de empresas sin relación con el resto de las hélices; (7) número de agencias gubernamentales sin relación con el resto de las hélices.

Para fines del estudio se va a considerar:

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 serán 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 serán aquellos organismos que operan fondos fiscales federales o estatales cuyas funciones primarias se relacionan con el sector aeroespacial.

Para la segunda parte del proyecto las fuentes de información fueron determinadas de la siguiente manera:

Las posiciones de liderazgo representativas de cada una de las tres hélices de cada región de acuerdo a las sugerencias surgidas de las pláticas exploratorias con expertos en el tema.

1. Las posiciones de liderazgo representativas de cada una de las tres hélices de cada región de acuerdo a las sugerencias surgidas de las pláticas exploratorias con expertos en el tema.
2. Las Universidades regionales que cuentan con programas de Licenciatura en Ingeniería Aeroespacial de acuerdo a su cercanía geográfica con los centros de innovación regional.
3. Las bases de datos sobre fondos públicos y privados para investigación, desarrollo, diseño y producción en la sector aeroespacial.

¹North America Industrial Classification System (NAICS).

²Nomenclature des Activités Économiques dans la Communauté Européenne (NACE).

4.2. Hipótesis

Para el presente proyecto se plantean dos hipótesis de trabajo, la primera trata de explicar la correlación de las Unidades de Observación en la determinación de la incertidumbre en un sistema de triple hélice. La segunda trata de correlacionar la influencia de un sistema de regional de innovación de Triple Hélice en la configuración de competencias altamente especializadas en el recurso humano.

4.2.1. Hipótesis 1. En los modelos de triple hélice de aquellos sistemas regionales de innovación liderados por el Gobierno hay una mayor sinergia entre Universidad, Industria y Gobierno en cuanto a proyectos de investigación, desarrollo, diseño, producción y fondos de financiamiento gubernamentales para el sector aeroespacial, que en aquellos donde la Industria asume el liderazgo.

Variable independiente 1. Proyectos de investigación, desarrollo, diseño y/o producción universitarios para el sector aeroespacial.

Para efectos de la investigación serán considerados sólo aquellos proyectos con fondos públicos o privados, que las universidades con programas educativos de ingeniería aeroespacial convienen con la industria y/o la(s) agencia(s) gubernamental(es) vinculadas con este sector.

Para integrar los datos de esta variable se sumarán los proyectos de este tipo de todas las instituciones universitarias que se relacionan con las empresas y la(s) agencia(s) gubernamental(es), así como el total de universidades que no tienen vínculo alguno. Como fuente de información se recurrirá a los reportes de las universidades sobre ingresos destinados a la investigación, desarrollo y diseño para el sector aeroespacial, así como los reportes de gastos gubernamentales para la industria aeroespacial civil o militar.

Variable independiente 2. Proyectos de investigación, desarrollo, diseño y/o producción de las industrias del sector aeroespacial.

Serán considerados sólo aquellos proyectos con fondos públicos o privados que las empresas del sector aeroespacial convienen con la(s) universidad(es) y/o la(s) agencia(s) gubernamental(es) relacionadas con el sector.

Para construir esta variable se sumarán el total de los proyectos que la industria tiene con la(s) universidad(es) y/o las agencias gubernamentales, así como el total de empresas de la región que no tienen proyecto alguno. Se va a recurrir a los reportes de gastos gubernamentales para la industria aeroespacial civil o militar.

Variable independiente 3. Fondos de financiamiento gubernamentales para el sector aeroespacial.

Sólo se incluirán aquellos proyectos financiados por las agencias del gobierno relacionadas con el sector aeroespacial que éstas convienen con la(s) universidad(es) y/o las empresas del sector.

Se sumará la totalidad de los proyectos de financiamiento gubernamentales con la(s) universidad(es) y/o las empresas del sector. Para esto se va a recurrir a los reportes del gasto gubernamental para sector aeroespacial civil o militar.

Variable dependiente. Interacción entre Universidad, Industria y Gobierno.

Entre Gobierno e industria, la hélice que coloque en el sistema regional de innovación la mayor cantidad total de programas con fondos para el financiamiento de proyectos de investigación, desarrollo, diseño y producción será la que sea considerada líder del sistema.

La información mutua de una serie de variables independientes en tres o más dimensiones puede ser utilizada como indicador de sistematicidad entre ellas; la sinergia será aquella reducción objetivable de la incertidumbre probabilística de esta información mutua (Leydesdorff y otros, 2013).

Abramson (1963) y McGill (1954) consideran 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*)-, mas la incertidumbre de información mutua en las tres dimensiones del sistema (universidad/industria/gobierno). Es decir:

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

En tanto que 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 esto se traduce como un exceso de redundancia, lo que se considera de acuerdo al modelo de Triple Hélice como indicador de la sinergia del sistema.

Para medir el valor de TH se va a utilizar la rutina automatizada TH.exe desarrollada por el equipo de colaboradores de Leydesdorff en 2008 y disponible en <http://www.leydesdorff.net/th>, en la que se pueden utilizar siete valores de siete variables relevantes: Universidad (u), Industria (i), Gobierno (g), Universidad/Industria (ui), Universidad/Gobierno (ug), Industria/Gobierno (ig) y Universidad/Industria/Gobierno (uig).

4.2.2. Hipótesis 2. A mayor interacción entre Universidad, Industria y Gobierno mayor importancia a las competencias cognitivo/comunicacionales del capital humano para el sistema regional de innovación.

Variable independiente. Interacción entre Universidad, Industria y Gobierno.

Se va a tomar en cuenta sólo los resultados de transmisión de los cinco sistemas regionales de innovación aeroespacial más relevantes en el sur de California liderados por el gobierno y del sistema privado de lanzadoras, cohetes y naves espaciales. Estos se describen con mayor detalle en la siguiente tabla:

Tabla 1. Sistemas regionales de innovación				
Origen	Nombre	Ubicación	Especialidad	Agencia o empresa
Gubernamental	Ames	Sunnyvale, CA	Aeronáutica y Naves Espaciales Pequeñas	NASA
Gubernamental	Dryden	Mojave, CA Experiencia:	Aviones y vuelos espaciales humanos	NASA
Gubernamental	Centro de Sistemas Espaciales y	Los Angeles AFB	Defensa	Departamento de Defensa

Misiles (SMC)				
Gubernamental	Jet Propulsion Laboratory (JPL)	Pasadena, CA	Aeronáutica y Pequeñas Naves Espaciales	NASA
Gubernamental	Comando de Sistemas Espaciales y Navales	San Diego, CA	Defensa	Departamento de Defensa
Privado	Sin nombre	Hawthorne y Huntington Beach, CA	Desarrollo, producción y lanzamiento de satélites.	Boeing Commercial Satellites & Space Exploration Technologies/ SpaceX

Variable dependiente. Importancia de las competencias cognitivo/comunicacionales.

Las competencias Cognitivo/Comunicacionales son aquellas de orden superior en la taxonomía de Bloom relacionadas con la capacidad de aprendizaje, abstracción de datos, experimentación, comunicación en medios diversos y en más de un idioma, así como habilidades básicas y avanzadas en sistemas de cómputo (Bloom, 1956; Krathwohl, 2002).

Entrevista a líderes académicos, industriales y gubernamentales del sector aeroespacial en la que se evalúe el nivel de importancia, grado de satisfacción y requerimientos de desarrollo futuro de 25 competencias vinculadas a capital humano de los sistemas regionales de innovación; estas competencias se organizan en tres factores (Blom & Saeki, 2011; Kleinke, 2006):

1. Competencias Núcleo con aquellas características personales transversales a distintas ocupaciones sin corresponder a alguna de ellas en especial, estas son: Integridad; Autodisciplina; Confiabilidad; Auto Motivación; Habilidades de Emprendimiento; Trabajo en Equipo; Comprensión y Cumplimiento de Instrucciones para Misiones de Trabajo; Disposición para Aprender; Flexibilidad; Empatía.

2. Competencias Profesionales son habilidades, conocimientos y valores específicos de diversas profesiones: Identificar, Formular y Resolver Problemas Técnicos; Diseñar Sistemas, Componentes o Procesos para Satisfacer Necesidades Específicas; Uso Apropiado de Herramientas Modernas, Equipo y Tecnología; Aplicar el Conocimiento en Matemáticas, Ciencia e Ingeniería; Conocimiento en Temas Contemporáneos; Creatividad.
3. Competencias Cognitivo-Comunicacionales son diferentes tipos de habilidades cognitivas, comunicativas y computacionales tales como: Comunicación Escrita; Diseño y Dirección de Experimentos e Interpretación de Datos; Lectura y Comunicación en Inglés; Habilidades Técnicas; Comunicación Verbal; Computación Básica y Computación Avanzada.

Los resultados de estas entrevistas se cotejarán con los resultados comparados del censo 2007 y 2012, y las Estadísticas Laborales del Departamento de Comercio de los Estados Unidos de 2015 sobre comportamiento de los empleos en términos de número de puestos de trabajo e ingreso.

4.3. Modelo para la medición de la entropía en un sistema de innovación regional de Triple Hélice

En el presente proyecto de investigación se va a tomar como metodología estadística la desarrollada por Loet Leydesdorff, Park y Lengyel (2013) para describir el nivel de interacción de los componentes de un sistema compuesto por tres unidades o núcleos. De acuerdo a la teoría de la Triple Hélice, de forma típica las unidades o núcleos de estos sistemas de innovación regional son Universidad, Gobierno e Industria, aunque hay matices en esta teoría que requieren de modelos de cuatro hélices, incorporando al mercado o a la participación de variables endógenas al sistema de innovación que están estudiando.

Estos autores utilizan como base el segundo teorema de la teoría de la información de Shanon (1948) como un método para establecer el nivel de entropía de los componentes de un sistema de tres dimensiones y medir la transmisión probabilística entre ellos, es decir, la posibilidad de que ambos puedan ocurrir simultáneamente. Para esto fue necesario modificar la propuesta inicial de Shanon, pensada para sistemas binarios, a sistemas con al menos tres conjuntos de variables independientes que permitieran describir la relación de intercambio de información en escalas comprensibles y objetivas.

4.3.1. Justificación del modelo. El origen del modelo estadístico desarrollado para exponer el grado de incertidumbre y transmisión de los elementos de un sistema es la teoría de la información de Shanon.

Shanon incorpora dos nuevos factores al estudio de la comunicación: (1) el efecto del ruido en el canal de transmisión de un mensaje; y (2) el ahorro de pérdidas en el mensaje debido a su estructura estadística y a la naturaleza del destinatario final de la información.

Del los sistemas de comunicación se identifican tres categorías de clasificación. (1) Discreta, cuando el mensaje y la señal son una secuencia símbolos discretos finitos, por ejemplo la comunicación en sistemas digitales en línea en los que el mensaje es una secuencia de letras mientras que la señal es una combinación alfanumérica de datos. (2) Continua, en la que el “mensaje y la señal se asumen como funciones continuas como es el caso de los mensajes típicos de televisión y radio”. (3) Mixta, en la que se utilizan ambos tipos de variables, discretas o continuas, como lo pueden ser las transmisiones de video o audio en streaming.

Para el desarrollo de la teoría de la información Shanon se concentró en desarrollar modelos estadísticos para el estudio de la comunicación discreta.

En la comunicación discreta el componente semántico del proceso de comunicación no es relevante. Un mensaje es sólo una elección de un conjunto posible de mensajes que no fueron elegidos por el usuario. Partir del principio de que el número de mensajes posibles es finito permite asumir que este número, o su función monótonica, pueden tomarse como medidas de la información que genera la selección de un mensaje entre todo el conjunto disponible; cada una de las elecciones serán equitativamente posibles y por lo tanto pueden de ser descritas mediante métodos estadísticos comúnmente expresadas en mediciones logarítmicas.

Shanon justifica el uso del logaritmo como la forma de expresión de la unidades de medida de la información debido a: (1) que es un sistema común donde los parámetros que miden pueden variar linealmente con el logaritmo que representa el número de posibilidades; (2) da un sentido de medición apropiado pues permite definir unidades por comparación lineal con estándares comunes; (3) son matemáticamente preferibles ya que algunas operaciones pueden expresarse de forma sencilla en términos logarítmicos pero al plantearlas en términos del número de posibilidades requieren formulaciones rudimentarias que no dan cuenta plena de lo que se pretende medir.

La multiplicidad disponible de mensajes posee una estructura estadística homogénea o condición ergódica que será siempre asumida como tal a menos que se defina previamente lo contrario. Esta condición permite identificar los promedios sobre una secuencia de posibilidades y los promedios sobre el conjunto de secuencias posibles disponibles.

Elegir un mensaje en particular depende tanto de la frecuencia del mismo en una secuencia finita como de su frecuencia relativa en el conjunto de secuencias, es decir, la medida de información de 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 $P_i(j)$.

De acuerdo al proceso de Markoff esto se puede describir de la siguiente forma:

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

A partir de esta representación de la fuente de información discreta Shannon elabora un sistema de medición en términos de rango con la que se produce la información en un proceso. Para ello, toma como principio la existencia de 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 en específico ocurrirá. Prever el evento implica conocer el volumen de incertidumbre de cada una de las posibilidades, lo que se expresa como $H(p_1, p_2, \dots, p_n)$ (Shannon, 1948; MacKay, 2003).

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

1. Continuidad de H en p_i .
2. Si todas las razones de " p_i son iguales, $p_i = 1/n$ entonces la incertidumbre (H) deberá ser una función monótonica creciente de n " (Shannon, 1948, p. 10). Es decir, 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. Los resultados de este teorema juegan un rol central en la teoría de la información como medida de información,

elección e incertidumbre. H es la forma de entropía definida en ciertas formulaciones estadísticas donde p_i representa la probabilidad de que un sistema se encuentre en la celda i en un momento en específico, es decir, la entropía de la posibilidad de que una variable ocurra. La entropía 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 entropía funcione en la comprensión de la interacción de un sistema de Triple Hélice, Leydesdorff, Park, Carlsson, Cohen y Levinthal consideran necesario modificar al menos dos condiciones de la propuesta de Shanon: (1) extender el modelo de matriz bidimensional descrito por el Teorema de la Entropía a dimensiones adicionales, al menos tres, 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 más precisa el grado interacción de las variables del sistema de utilizando el valor de Transmisión de información originalmente desarrollado por Shanon (Leydesdorff et al., 2013; Park & Leydesdorff, 2010; Carlsson, 2003; Cohen & Levinthal, 1990).

Para ello Loet Leydesdorff retoma una propuesta de información mutua en tres dimensiones desarrollada por Ulanowicz en 1986, elaborada para poner en evidencia la sistematicidad en al menos tres conjuntos independientes de datos. Para distinguir el nivel de interacción nacional de las instituciones vinculadas con los sistemas de Triple Hélice, Leydesdorff empleó las direcciones postales de universidades, industria y gobierno que provee el Índice de Citación Científica (SCI), a la que llama sinergia y que “puede ser considerada como la reducción de incertidumbre entre las relaciones universidad-Industria-Gobierno” (Leydesdorff et al., 2013, p. 29).

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 más una entropía de Shanon ya que su valor puede expresarse en unidades positivas, negativas o iguales a cero, en tanto que los tipos de información de Shanon han de ser necesariamente positivos por encima de cero (Theil, 1973). De esta manera la información mutua o transmisión (T) entre tres dimensiones (T_{xyz}) se puede expresar de la siguiente forma (Abramson, 1963; McGill, 1954):

$$T_{xyz} = H_x + H_y + H_z - H_{xy} - H_{xz} - H_{yz} + H_{xyz}$$

En tanto que la incertidumbre probabilística en una variable es:

$$H_x = - \sum P_x \log(p_x)$$

Y para dos o más variables discretas:

$$H_{xy} = - \sum P_{xy} \log(p_{xy})$$

Si en la expresión se utiliza la base dos del logaritmo la medida de incertidumbre se expresa en bits de información o distribuciones probabilísticas.

4.3.2. Descripción general del procedimiento estadístico. Las unidades de análisis 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 proxie se utilizará (1) la distribución geográfica (*zc*), utilizando los

códigos postales de la industria, universidad y departamento o agencia federal en la región.

1. Agrupar los casos de acuerdo a la zona geográfica, primero para la totalidad de los territorios de California y Noroeste de Inglaterra y después para de cada una de las regiones económicas de California y condados del Noroeste de Inglaterra empleando los Códigos Postales correspondientes.

Tabla 2. Regiones y condados del estudio

Región económica	Condado
Southern Border	Imperial/ San Diego
Southern California	Los Angeles/ Orange/ Riverside/ San Bernardino Ventura
Central Sierra	Alpine/ Amador/ Calaveras/ Inyo/ Mariposa/ Mono/ Toulumne
San Joaquin Valley	Fresno/ Kern/ Kings/ Madera/ Merced/ San Joaquin/ Stanilaus/ Tulare
Central Coast	Monterey/ San Luis Obispo/ Santa Barbara
Bay Area	Alameda/ Contra Costa/ Marin/ Napa/ San Benito/ San Francisco/ San Mateo/ Santa Clara/ Santa Cruz/ Solano/ Sonoma
Greater Sacramento	El Dorado/ Placer/ Sacramento/ Sutter/ Yolo/ Yuba
Northern Sacramento Valley	Butte/ Colusa/ Glenn/ Shasta/ Tehama
Northern California	Del Norte/ Humboldt/ Lake/ Lassen/ Mendocino/ Modoc/ Nevada/ Sierra/ Siskiyou/ Trinity
Northwest, Inglaterra	Greater Manchester
Northwest, Inglaterra	Lancashire
Northwest, Inglaterra	Merseyside

Los dos condados ingleses restantes de esta región, Cheshire e Isle of Man, no cuentan con los elementos necesarios para el proceso estadístico por lo que no se incluyen en el análisis.

2. Determinar el valor de la incertidumbre estadística o entropía para cada una de las dimensiones utilizando la sumatoria ponderada de la distribución estadística de las unidades de análisis.

Tabla 3. Unidades de análisis.

Dimensión	Expresión de entropía
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	$H_{iug} = -\sum_{iug} \log_2 iug$

3. Calcular el valor de transmisión entre las tres dimensiones de la Triple Hélice de acuerdo a la expresión;

$$T_{iug} = H_i + H_u + H_g - H_{iu} - H_{ig} - H_{gu} + H_{iug}$$

4. Definir el grado de interacción entre las dimensiones de la Triple Hélice a partir de los siguientes criterios.

$T < 0$ = Incertidumbre menor, mayor interacción.

$T > 0$ = Incertidumbre mayor, menor interacción.

Se utilizaron las siguientes fuentes de información.

1. El presupuesto federal de los Estados Unidos del año 2012, específicamente de los Departamentos, Agencias y Fundaciones Federales que están involucradas directamente en el sector aeroespacial.
2. Del 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). Se seleccionaron contratos o subsidios federales relacionados con las siguientes actividades:

Tabla 4. Contratos del DOD

NAICS	Actividad
333314	Optical instrument and lens manufacturing
334111	Electronic computer manufacturing
334511	Search, detection, navigation, guidance, aeronautical, and nautical system and instrument manufacturing
336411	Aircraft manufacturing
336412	Aircraft engine and engine parts manufacturing
336413	Other aircraft parts and auxiliary equipment manufacturing
336414	Guided missile and space vehicle manufacturing
336419	Other guided missile and space vehicle parts and auxiliary equipment manufacturing
511210	Software publishers
517410	Satellite telecommunications
541330	Engineering services
541511	Custom computer programming services
541512	Computer systems design services
541710	Research and development in the physical, engineering, and life sciences
541990	All other professional, scientific, and technical services

Tabla 5. Contratos de la NASA

NAICS	Actividad
333314	Optical instrument and lens manufacturing
334111	Electronic computer manufacturing
334511	Search, detection, navigation, guidance, aeronautical, and nautical system and instrument manufacturing
335312	Motor and generator manufacturing
336411	Aircraft manufacturing
336412	Aircraft engine and engine parts manufacturing
336413	Other aircraft parts and auxiliary equipment manufacturing
336414	Guided missile and space vehicle manufacturing
336419	Other guided missile and space vehicle parts and auxiliary equipment manufacturing
517410	Satellite telecommunications
541330	Engineering services
541380	Testing laboratories
541690	Other scientific and technical consulting services
541710	Research and development in the physical, engineering, and life sciences
541990	All other professional, scientific, and technical services
611310	Colleges, universities, and professional schools
813920	Professional organizations

Tabla 6. Subsidios de la NSF

NAICS	Actividad
611310	Colleges, universities, and professional schools
334511	Search, detection, navigation, guidance, aeronautical, and nautical system and instrument manufacturing

3. Los informes generales del presupuesto del 2012 en Inglaterra, así como el reporte de inversiones públicas para investigación y desarrollo entregado por la Cámara de los Comunes a solicitud del investigador. Se seleccionaron los fondos relacionados con las siguientes actividades:

Tabla 7. Códigos NAICS.

NAICS	Actividad
C30.3	Manufacture of air and spacecraft and related machinery
C30.3.0	Manufacture of air and spacecraft and related machinery
C30.4	Manufacture of military fighting vehicles
C30.4.0	Manufacture of military fighting vehicles

- a. Los reportes anuales disponibles de las firmas industriales dedicadas a la industria aeroespacial en ambos países.
- b. 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.
- c. El censo económico de los Estados Unidos e Inglaterra que se refiere específicamente a las actividades del sector aeroespacial.

4.4. Resultados de la aplicación del modelo en la determinación de la incertidumbre de información mutua en tres dimensiones de acuerdo al criterio de región geográfica.

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 de aquellos que corresponden a unidades sin información recíproca son: 14.05% a industria, 0.46% a gobierno y 1.3% a universidades; en tanto que los porcentajes correspondientes a binomios de unidades son: 42.53% a gobierno-industria, 25.46% a gobierno-universidad y 11.5% a

universidad-industria; mientras que 4.68% corresponde a unidades con relación gobierno-industria-universidad.

Tabla 52. California

Programas	#					
Industria sin relación	303	DOD		NASA	NSF	Univ.
Gobierno sin relación	10	Contratos		Contratos	Subv.	Vinculación+ R&D
Universidades sin relación	28			Subv.	Subv.	
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

De las 332 interacciones de los componentes de la Triple Hélice del Noroeste de Inglaterra de sus tres principales condados entre los que se incluyen contratos, subsidios, proyectos de investigación y desarrollo y proyectos de vinculación de la industria, universidades y gobierno federal el porcentaje de aquellos que corresponden a unidades sin información recíproca son: 31.6% a industria, 1.2% a gobierno y 1.8% a universidades; en tanto que los porcentajes correspondientes a binomios de unidades son: 44% a gobierno-industria, 6.6% a gobierno-universidad y 6.9% a universidad-industria; mientras que 7.8% corresponde a unidades con relación gobierno-industria-universidad.

Tabla 53. Noroeste de Inglaterra

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

Los resultados del cálculo del valor de la incertidumbre probabilística de cada unidad de análisis así como el valor de transmisión de todo el sistema regional de innovación aeroespacial en California son los siguientes:

Tabla 54. California

Programas	Sumatoria $\sum p_i$	Incertidumbre probabilística $(-)\sum p_i \log_2 p_i$	Unidad de observación
Industria sin relación	-0.1405	0.3978	H_i
Gobierno sin relación	-0.0046	0.0359	H_g
Universidades sin relación	-0.0129	0.0813	H_u
Gobierno-Industria	-0.4253	-0.5245	H_{gi}
Gobierno-Universidad	-0.2546	-0.5025	H_{gu}
Universidad-Industria	-0.1150	-0.3588	H_{ui}
Gob-Ind-Univ	-0.0468	0.2068	H_{gui}
Suma	-1	-0.6639	T_{gui}

El resultado de la expresión $T_{gui}=H_i+H_g+H_u-H_{gi}-H_{gu}-H_{ui}+H_{gui}$ que describe el valor de la interacción de los componentes del sistema de triple hélice de la industria de la innovación aeroespacial en California es -0.6639 lo que significa que el sistema tiene niveles bajos de incertidumbre probabilística (entropía) y de acuerdo a la posición teórica de los autores, muestra mayores niveles de interacción.

En tanto que el valor de la incertidumbre probabilística de la industria de innovación aeroespacial en el Noroeste de Inglaterra es -0.0530, por lo que el sistema de innovación tiene un nivel de interacción bajo en comparación con el sistema aeroespacial californiano.

Tabla 55. Noroeste de Inglaterra

Programas	Sumatoria $\sum p_i$	Incertidumbre probabilística $(-)\sum p_i \log_2 p_i$	Unidad de observación
Industria sin relación	-0.3162	0.5252	H_i
Gobierno sin relación	-0.0120	0.0768	H_g
Universidades sin relación	-0.0180	0.1046	H_u
Gobierno-Industria	-0.4397	-0.5212	H_{gi}
Gobierno-Universidad	-0.0662	-0.2594	H_{gu}
Universidad-Industria	-0.0692	-0.2668	H_{ui}
Gob-Ind-Univ	-0.0783	0.2877	H_{gui}
Suma	-1	-0.0530	T_{gui}

4.4.1. Aportación por regiones económicas en California. La aportación específica de cada región económica de California en las relaciones de interacción entre dos de los tres ejes del modelo es la siguiente:

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% del total.

Tabla 56. Gobierno-Industria California.

Región	Incertidumbre Probabilística	% de aportación
Southern Border	-0.4383	23.97 %
Southern California	-0.4801	26.25 %
Central Coast	-0.318	17.39 %
Bay Area	-0.4272	23.36 %
Greater Sacramento	-0.1457	7.97 %
San Joaquin	-0.0193	1.05 %

La mayor aportación a la interacción entre industria y universidad la genera 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. Greater Sacramento aparece en un cuarto nivel de aportación con el 20.01% del total.

Tabla 57. Industria-Universidad California.

Región	Incertidumbre Probabilística	% de aportación
Southern Border	-0.457	24.67 %
Southern California	-0.4893	26.4 %
Central Coast	-0.1465	7.9 %
Bay Area	-0.3897	21.02 %
Greater Sacramento	-0.371	20.01 %

También en la interacción del binomio gobierno-universidad Southern California aporta el 32.94% de la interacción total, mientras que Bay Area y Southern Border aportan el 32.82% y el 20.84% de la interacción.

Tabla 58. Gobierno-Universidad California.

Región	Incertidumbre Probabilística	% de aportación
Southern Border	-0.3325	20.84 %
Southern California	-0.5255	32.94 %
Central Coast	-0.2137	13.4%
Bay Area	-0.5235	32.82 %

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%.

Tabla 59. Gobierno-Industria- Universidad California.

Región	Incertidumbre Probabilística	% de aportación
Southern Border	0.3651	24.87 %
Southern California	0.4322	29.44 %
Central Coast	0.1845	12.57 %
Bay Area	0.4861	33.11 %

4.4.2. Aportación por condados 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 de los tres condados, seguido por Lancashire con 32.8% y Merseyside con 30.75%.

Tabla 60. Gobierno-Industria Noroeste Inglaterra.

Región	Incertidumbre Probabilística	% de aportación
Greater Manchester	-0.5269	36.51 %
Lancashire	-0.4736	32.82 %
Merseyside	-0.4438	30.75 %

En cuando a la interacción Industria-Universidad es el clúster más grande de Inglaterra el que encabeza el porcentaje de participación con 46.1%, mientras que Greater Manchester participa con el 27.4% y Merseyside con el 26.48%.

Tabla 61. Industria-Universidad Noroeste Inglaterra.

Región	Incertidumbre Probabilística	% de aportación
Greater Manchester	-0.1776	27.41 %
Lancashire	-0.2987	46.10 %
Merseyside	-0.1716	26.48 %

La 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% restante.

Tabla 62. Gobierno-Universidad Noroeste Inglaterra.

Región	Incertidumbre Probabilística	% de aportación
Greater Manchester	-0.4643	49.09 %
Lancashire	-0.0805	8.51 %
Merseyside	-0.4010	42.39 %

En la interacción de la triple hélice 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%

**Tabla 63. Gobierno-Industria-Universidad
Noroeste Inglaterra.**

Región	Incertidumbre Probabilística	% de aportación
Greater Manchester	-0.2160	30.32 %
Lancashire	-0.3248	45.59 %
Merseyside	-0.1716	24.08 %

Conclusiones

5. Interacción en sistemas de innovación regional de triple hélice de la industria de la innovación aeroespacial

A partir de los resultados obtenidos por el modelo estadístico y el conjunto de entrevistas desarrolladas, se describen las características específicas de cada uno de los componentes que integran el modelo de Triple Hélice con el ciclo de innovación, descritos por Leydesdorff y Hagi.

De acuerdo a lo planteado en la teoría los valores menores, incluyendo los números negativos, son indicativo de mayores niveles de entropía lo que reduce la incertidumbre en los procesos de interacción de las unidades analizadas. Estas se pueden dividir en Unidades sin Relación, que son aquellas interacciones que forman parte de los procesos de innovación, pero que se dan de forma independiente al resto de las unidades del modelo, es decir, interacciones que sólo las unidades Universidad, Industria o Gobierno agregan al proceso de innovación. Por otro lado, el modelo permite describir los valores de incertidumbre de interacciones duales entre las hélices, es decir, Universidad-Industria, Universidad-Gobierno, Industria-Gobierno; o bien, la entropía de la relación recíproca de las tres unidades de la hélice, Universidad-Industria-Gobierno.

Tanto el sistema regional de innovación de California como el del Noroeste de Inglaterra obtuvieron entropías negativas, -0.6639 y -0.0530 respectivamente, lo que significa que ambos tienen niveles de incertidumbre reducidos; lo que significa que sus procesos de circulación del recurso humano, información y productos con óptimos, lo que es congruente tanto con el planteamiento teórico como con investigaciones previas en otras regiones.

Tabla 64. Comparación de entropías en sistemas regionales de innovación.

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

Sin embargo, 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 aunque 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 se puede identificar que en la región Noroeste de Inglaterra todas las unidades sin relación, Gobierno e Industria, tienen valores más altos de incertidumbre que las del sistema californiano.

Esto se explica por el número de organizaciones e interacciones que participan en el proceso de innovación, ya que California es el centro regional aeroespacial más grande del mundo, por lo que la cantidad de firmas y universidades es significativamente más alto que Inglaterra. En el caso de los programas gubernamentales, Estados Unidos cuenta con un grupo concurrente de fondos de la administración pública, en el que se incluye el Departamento de Defensa (DOD), la Agencia Aéreo Espacial Nacional (NASA) y la Fundación Nacional para la Ciencia (NSF), en tanto que el gobierno inglés concentra todos los recursos en un solo fondo administrado por el Departamento de Negocios, Energía y Estrategia Industrial

(BEIS), incluso aquellos recursos del Ministerio de Defensa, lo que reduce el número de participantes e interacciones y afectan sus mediciones de incertidumbre.

En el caso de las interacciones entre los binomios de Unidades de Análisis, California también tiene niveles de incertidumbre más bajos que Inglaterra en los tres tipos de interacción: Universidad-Industria, Industria-Gobierno y una diferencia particularmente alta en Universidad-Gobierno.

La operación de los fondos gubernamentales para investigación y desarrollo de la industria aeroespacial en California proviene 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 de California desarrollan programas de vinculación con el sector privado que les ha permitido operar Centros de Investigación bajo el auspicio de estas inversiones y 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 DBIS se gestionan en forma directa y en su gran mayoría (80%) con las industrias, son éstas quienes 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, por lo que los proyectos y la infraestructura escolar es adecuada para el desarrollo de programas de investigación y desarrollo, sin embargo, estas instituciones no requieren de fondos concurrentes privados y los centros de investigación financiados con estos recursos no son tan frecuentes, por lo que la

interacción Universidad-Industria tiene áreas de oportunidad que pueden aprovecharse.

Al comparar la interacción entre las tres Unidades de Análisis, Universidad-Industria-Gobierno, Inglaterra tiene mayores niveles de incertidumbre que California. Sólo Greater Manchester tiene valores negativos de entropía por lo que en ese condado el proceso de interacción tiene incertidumbres reducidas; los centros de innovación de las Universidades del condado, los proyectos de investigación y desarrollo, así como los programas de vinculación con la industria les permite atraer recursos que ajustan el proceso a sus formas óptimas. En el caso de California, todas las regiones económicas tienen niveles reducidos de entropía por lo que los procesos de interacción parecen estar adecuados al ciclo de innovación planteado por el modelo teórico.

De acuerdo a estos valores y a partir de las entrevistas desarrolladas durante el proyecto, se puede identificar que los procesos de circulación de recursos humanos, información y productos está integrado de forma más eficiente en el sistema regional californiano. 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 quienes se les permite realizar estancias parciales o totales en las firmas; esto genera un capital humano con las competencias óptimas que le permiten interactuar eficientemente en ambas hélices, identificar de forma directa las problemáticas en la interacción y proponer soluciones.

En ambos sistemas regionales, los procesos de intercambio de información entre las hélices son muy eficientes y mantienen canales institucionales abiertos, efectivos y seguros para generar la aglomeración, disposición y análisis de datos necesarios para la toma de decisiones.

El modelo de triple hélice del ciclo de la innovación agrega dos elementos que se mueven entre los recursos de circulación: (1) Organizadores Regionales de Innovación (RIO) y (2) Iniciadores Regionales de Innovación (RII).

5.1. Organizadores Regionales de Innovación (RIO)

En ambos sistemas regionales los RIO son mayoritariamente áreas del gobierno responsables de la gestión de fondos públicos para investigación y desarrollo, ya sea en forma de subsidios, becas o contratos con el sector privado o educativo.

En California opera el Laboratorio de Propulsión de Cohetes (JPL) a cargo de la NASA, que opera la mayor cantidad de fondos no provenientes de la Defensa que se invierten en proyectos de investigación y desarrollo vinculados directamente con las universidades más importantes de Sur de California, Costa Central y Área de la Bahía. Mientras que el DOD opera los contratos de Centro de Control de Misiles en California del Sur. Adicionalmente la NSF gestiona financiamiento para investigación científica aplicada bajo las recomendaciones de un comité académico independiente.

En el Noroeste de Inglaterra, los fondos de inversión operan por medio de programas de financiamiento que, de acuerdo a las leyes británicas, deben destinar porcentajes específicos a las grandes y medianas empresas, así como promover la participación de programas educativos de las universidades regionales. También es importante la gestión de la Asociación Aéreoespacial, Defensa y Seguridad que se encarga de gestiones comerciales dentro y fuera de Reino Unido.

5.2. Iniciadores Regionales de Innovación (RII)

En Estados Unidos sobresalen dos proyectos que impactan directamente en la industria aeroespacial de California. Por un lado el programa privado de lanzamiento de cohetes recuperables Space X, que representa la incursión más ambiciosa del

sector privado en la industria espacial y una de las aperturas más importantes del mercado de lanzamiento de cohetes a nivel mundial. El programa se ha consolidado como uno de los agentes receptores más significativos tanto de fondos directos como de subsidios fiscales para promover sus proyectos de investigación, lo que le permitirá al estado consolidarse como una de las plataformas de lanzamiento y colocación de satélites más económicos y competitivos del mundo. Por otro lado se encuentra la asociación de profesionistas del Instituto Americano Aeronáutica y Astronáutica, responsable de gestión de fondos para investigación y desarrollo, divulgación científica y galardones.

El proyecto británico más significativo surgió en el 2015, cuando se organizó un grupo concurrente de agencias de gobierno, iniciativa privada y académicos para definir una estrategia común para el desarrollo de su industria aeroespacial denominado Instituto de Tecnología Aeroespacial (ATI). En él participan el departamento de estado BEIS, la asociación civil Innovate UK y la IP con el propósito de otorgar fondos que superiores a los 8 millones de Libras para proyectos de investigación y tecnología que permitan al Reino Unido mantenerse a la vanguardia en esta industria.

5.3. El papel de la universidad en los centros de innovación aeroespacial de California y Noroeste de Inglaterra.

El modelo de triple hélice del ciclo de la innovación identifica cuatro funciones fundamentales de la Universidad dentro del sistema de interacciones recíprocas:

1. Centro de desarrollo de recursos humanos. Aunque esta es una de las funciones originales de estas instituciones, el proceso de formación de recursos humanos debe incorporar necesariamente espacios de experiencia de formación escolar vinculados directamente con los centros de trabajo. Los

modelos educativos se replantean no sólo como programas de estudio que orientan el modelo curricular para desarrollar competencias profesionales, que proveen de la base general del conocimiento y metodologías científicas específicas de determinadas áreas del conocimiento; sino que han estructurado sus ofertas para diversificarse como espacios de desarrollo de experiencias de aprendizaje, en las que los estudiantes y docentes pueden desarrollar sus competencias individuales y cognitivo/comunicacionales en armonía con las necesidades contemporáneas de la industria, el mercado laboral y la sociedad en general.

2. Investigación científica. La universidad se mantiene como uno de los centros más relevantes para el desarrollo y avance de la ciencia, al ofrecer proyectos de investigación básica y aplicada abiertos tanto a las necesidades propias de cada campo científico, como a brindar soluciones para la industria. En este sentido, las instituciones de educación superior han desarrollado programas de investigación de alta especialización que les permiten cumplir con otra de las funciones sustantivas de estos centros: transformar los recursos financieros, humanos y técnicos en conocimiento científico.
3. Aplicaciones tecnológicas. Los centros de investigación y desarrollo organizados bajo la tutela de las universidades son también uno de los principales proveedores de innovaciones tecnológicas. En el proceso de estos desarrollos, las instituciones modifican sus procesos organizacionales de gestión y administración de recursos, transformándose en pequeñas unidades de emprendimiento que requieren la confluencia de docentes, investigadores, estudiantes de pre y posgrado, agentes de la industria y el mercado que

permiten la transferencia de tecnología hacia los sectores que así lo requieren de forma más eficiente y funcional.

4. Incubadora de proyectos de negocios. Como resultado de los proyectos de vinculación industrial e investigación y desarrollo, los centros universitarios son también un espacio que brinda las bases para arrancar proyectos de emprendimiento con capacidades para operar de forma independiente a la institución bajo dos modalidades básicas; (1) Start Ups, apoyadas en programas universitarios de desarrollo de unidades empresariales, asesoradas por la institución académica que proporciona una plataforma de arranque sustentada en cuatro ejes fundamentales: administración de negocios, gestión de recursos, capital semilla, y procesos de generación innovadora de bienes y servicios. (2) Spin Off que surgen de los proyectos de vinculación, investigación y desarrollo organizados en conjunto con la industria, que abren áreas de oportunidad para el desarrollo de nuevas unidades de negocios paralelas a las firmas que les dieron origen pero que requieren independencia administrativa para operar de forma eficiente.

Las instituciones universitarias que forman parte de cada uno de los dos sistemas regionales de innovación de este estudio, ofrecen programas de estudio que incorporan modalidades diversas de vinculación con la industria, como parte de sus esfuerzos para fortalecer el desarrollo de competencias en sus docentes y estudiantes. Estos programas ofrecen además la oportunidad institucional de obtener información sobre el estado del arte del sector industrial, lo que permite evaluación y adecuación de los programas de estudio para ponerlos a la vanguardia del desarrollo del campo académico, científico y tecnológico

El 100% de los programas de estudio analizados en ambos sistemas incorporan experiencias de formación vinculadas directamente con la industria y el mercado laboral, estas experiencias son parte integral de los créditos lectivos de la curricula de sus programas y ofrecen la oportunidad a los futuros egresado de incorporar habilidades específicas que responden a las necesidades reales del sector industrial, además de generar oportunidades de contratación para los futuros egresados.

La diferencia fundamental entre los programas de estudios del sistema en California y el sistema de innovación inglés, radica en la organización de distintas modalidades curriculares que le permiten a los estudiantes británicos decidir la profundidad de las experiencias de aprendizaje in situ; cada programa de ingeniería en Inglaterra ofrece al menos dos opciones de formación, una con menor cantidades de créditos vinculados a las prácticas de vinculación con la industria y otra en la que éstos tienen más peso con los requisitos institucionales para el egreso de los candidatos a grado profesional.

En el diseño de estos programas influye además el perfil poblacional de ambas regiones. Mientras que en California las modalidades de aprendizaje son presenciales en su totalidad y requieren a estudiantes de tiempo completo con la posibilidad de asistir a los programas extensivos de prácticas profesionales; en Inglaterra, con perfiles de aspirantes de ingreso con edades más altas en promedio si se les compara con California, y que son en un número importante de casos, personas que ya se encuentran trabajando en la industria, egresados de colegios con programas de profesiones y que desean incrementar sus capacidades para encontrar mejores oportunidades laborales en sus espacios de trabajo, los programas de estudios se han adaptado para incorporarlos a la formación universitaria, valorando su experiencia laboral previa y eliminando la obligatoriedad de cursar créditos adicionales.

En ambos sistemas regionales las universidades cuentan con sólidos programas de investigación científica que se refleja en la incorporación de prácticas en los programas de estudio de pre y posgrado y el desarrollo de Centros de Investigación al interior de las escuelas de ingeniería que operan con recurso mixtos. Esta autonomía en la gestión de recursos, permite que los Centros organicen estrategias de desarrollo propias que les permiten fortalecer las líneas de producción y generación del conocimiento, los vínculos con los sectores públicos y privados, y la movilidad del personal, tanto académico como estudiantil, hacia proyectos intra e interinstitucionales.

Las universidades y tecnológicos estatales en California cuentan con Centros de Investigación auspiciados directamente por el sector privado, así como la modalidad de asociación científica con las firmas industriales interesadas en participar de la investigación de vanguardia de estos Centros, tanto con el financiamiento como con la estructuración de proyectos específicos que les permitirían transferir conocimiento en forma de aplicaciones tecnológicas.

En Inglaterra la política tiene una estructura distinta, el presupuesto que el Estado aporta a las Universidades incluye el desarrollo de programas de investigación y el financiamiento de Centros de Investigación, las instituciones de educativas cuentan con autonomía suficiente como para negociar convenios de vinculación con las empresas, independientemente a los fondos o estímulos fiscales, sin embargo la política de inversión de recursos públicos para proyectos de este tipo se operan desde el BEIS preferentemente hacia las firmas industriales, con la intención de asegurar que haya duplicidad de ejercicio presupuestal; esto debilita la interacción dual entre Universidad y Gobierno al reducir el número de proyectos vinculados con el sistema de innovación establecidos entre ambos, más allá de los fondos públicos que financian por decreto a las Universidades.

El desarrollo de aplicaciones tecnológicas es armonioso con las necesidades de ambos sistemas regionales. Aunque las estrategias para el fondar proyectos de investigación aplicada y transferencia tecnológica tienen algunas diferencias, tanto California como el Noroeste de Inglaterra han logrado elaborar procesos que les permiten el mejor aprovechamiento de los recursos de las instituciones educativas en este proceso.

En California son particularmente significativos los programas de investigación para el desarrollo de aplicaciones tecnológicas, destacan los proyectos vinculados a Centros de Investigación asociados con firmas industriales y aquellos que surgen de los programas para la generación de innovaciones del JPL y que aporta recursos importantes para CalTech y el sistema de Universidades de California.

En el caso de Inglaterra es relevante la alianza entre el sector público y privado a través del Instituto de Tecnología Aeroespacial y sus cuatro líneas de financiamiento para la investigación aplicada: Propulsión de Futuro, Aeroestructuras del Futuro, Aeronaves Inteligentes y Aeronave del Futuro.

En relación a la incubación de proyectos de negocios, tanto las instituciones académicas como el sector privado por sí mismo tienen proyectos consolidados para generar Start Ups y Spin Off. Entre ellos sobresalen los programas de fondeo para proyectos de innovación y Start Ups especialmente vinculados con la industria aeroespacial, entre los que sobresale la empresa fundada por Ellen Chang en el 2015: LightSpeed Innovations.

Con sede en San Diego, este acelerador de arranque de empresas está orientada de forma exclusiva a la asesoría de nuevas empresas en tecnología de vanguardia para la industria aeroespacial, lo que incluye espacio, aviación y tecnologías intermedias. La empresa se encarga de ofrecer asistencia y asesoría mediante una red de mentores

dedicados a orientar empresas desde el diseño de su proyecto hasta las rondas previas de la adjudicación del capital semilla. Han colaborado en la creación de 18 empresas en nueve distintas áreas del sector aeroespacial: Big Data Geoespacial, Servicios En-Órbita, Software Espacial, Tecnología de Drones, Espacio Profundo, Impresión 3D, Propulsión Espacial, Sistemas de Prevención de Obstáculos en Aeronaves, y Robótica Espacial.

Hasta el momento su portafolio de empresas exitosas incluyen a Koolok, Orbital Siderick, Intelligent Space, Chandah, Kubos, Atlas Space Operations, NNDrones, Inova Drone, Nimble Aircraft, Skylift, Aerial, Raven, DSI, Lumenora, Redworks, Phasefour, Quelzal y Karman.

En el caso de los proyectos de Start Ups y Spin Off en el sistema regional inglés, las instituciones de educación superior británicas aprovechan las oportunidades de financiamiento de la ATI, en la que se gestionan recursos mediante competencias y adjudicación utilizando concursos que valoran los méritos de los proyectos en torno a tres ejes: Programas Estratégicos, Competencias de Colaboración Temática en R&D, y Proyectos para Pequeñas Empresas.

Un ejemplo de la forma en que operan las incubadoras de negocios se encuentra en la Universidad de Manchester. Desde el 2015 opera el University of Manchester Innovations Optimiser (IO) como parte de las funciones del departamento de Propiedad Intelectual de esta universidad (UMIP). A tres años de haber entrado en funciones, el IO ha trabajado directamente con 80 proyectos de emprendimiento y ha logrado desarrollar 20 Start Ups. Para incrementar las posibilidades de éxito de los nuevos proyectos de negocios la universidad ha vinculado al IO con el Manchester University Innovation Center (UMIC) para albergar un centro de trabajo conjunto para Start Ups tecnológicas. Adicionalmente la institución muestra su alto nivel de

compromiso en los procesos de incubación de negocios poniendo a disposición de este programa tres instalaciones dedicadas en forma total o parcial a esto: el Edificio Incubadora de Manchester, Instalación para Tecnología Núcleo y la Incubadora del Campus Norte.

Adicionalmente, la Universidad de Manchester ha participado con proyectos exitosos en el Reto Global auspiciado por la Red Internacional de Sistemas de Innovación Hello Tomorrow, que provee oportunidades de inversión para proyectos de innovación disruptivos.

5.4. La participación de la industria en la Triple Hélice de los centros de innovación en California y Noroeste de Inglaterra.

Este modelo identifica cinco funciones de la industria como parte del proceso de interacción:

1. Inversión de riesgo, al proporcionar fondos financieros que generen investigación de vanguardia que habrá de ser aprovechada para el desarrollo del sector industrial. Estos fondos implican retornos inciertos o a largo plazo de la inversión, pero las firmas reconocen que sin un entorno basado en las innovaciones difícilmente podrían mantener la dinámica de mercado que brinda equilibrio entre productores de bienes y servicios y la sociedad.
2. Proyectos de investigación y desarrollo. Los modelos de universidades altamente comprometidas con la formación de sus cuadros académicos y estudiantiles, así como a las actividades de emprendimiento como fuente de experiencias de aprendizaje, aplicación de la ciencia y proveedoras de recursos financieros, requieren la participación de agentes externos que acompañen y patrocinen de forma parcial o total estos procesos de investigación y desarrollo, de lo contrario el riesgo de la inversión pública sería tan alto que resultaría

complicado comprometer fondos para su financiamiento. La industria adquiere un papel relevante en el avance de proyectos específicos que impactan la frontera tecnológica del sector al que pertenecen, particularmente al de una industria como la aeroespacial en una etapa de transformación disruptiva.

3. Spin-off. La dinámica del mercado aeroespacial y su industria han motivado que las empresas generen proyectos de innovación que debido a su complejidad resulta más convenientes operarlos desde firmas paralelas a ellas, empresas que dependen financieramente de la firma principal pero que poseen la autonomía financiera y fiscal que se requiere para hacer avanzar estos proyectos de una forma eficiente y rápida.
4. Desarrollo de bienes y servicios que respondan a las necesidades de la sociedad y a los requerimientos del mercado; las nuevas tendencias de la industria satisfacen no sólo al entorno de competencia comercial, sino a aspectos que se vinculan cada vez más con la eficiencia energética, la reducción de emisiones contaminantes como gases de invernadero y ruido, los sistemas de seguridad y automatización de vuelos, y el replanteamiento de los diseños y materiales de las aeronaves de la próxima generación de vehículos. Esto responde además, a la renovación global de las flotillas aéreas de las empresas de vuelos comerciales que requieren vehículos con costos operativos más bajos que permitan un mercado más dinámico, eficiente y competitivo.
5. Impuestos. La industria tiene un doble papel en el caso de los impuestos; proveer de recursos fiscales a la administración pública sin menoscabo de la eficiencia y utilidades de la empresa; y obtener subsidios, contratos o financiamientos para mejorar las características de sus bienes y servicios.

5.5. Alcances y límites del presente proyecto.

Debido a la dinámica de esta industria y a la evolución de la tecnología dedicada tanto al desarrollo de productos y servicios finales como a la sofisticación de los procesos de producción, el presente proyecto debe considerarse como un punto de partida para explorar nuevas formas de complementar sus alcances. Los resultados no ofrecen un índice que permite medir el desempeño absoluto de la Triple Hélice y predecir su evolución o resultados, en todo caso permite desarrollar parámetros que describen un comportamiento del modelo en un momento específico del tiempo. En este sentido es necesario anualizar el presente estudio para reconocer los procesos evolutivos que dan razón al modelo inicial propuesto por Leydesdorff y Etzkowitz y comprender cómo han influido las políticas públicas hacia la industria, la transformación de la dinámica académica, el avance del campo de investigación, los requerimientos de la industria y el mercado.

Por otro lado, como ya lo habían reconocido los mismos autores del modelo, 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 han señalado la posibilidad de emplear procedimientos de mínimos cuadrados ordinarios que están aún explorándose y han empezado a desarrollar metodología para la investigación de redes que les faciliten la comprensión de los sistemas de interacción y la circulación dentro y fuera del sistema.

Leydesdorff expuso la adecuación de su modelo para pasar del estudio de Sistemas Regionales de Innovación basado en el concurrencia significativa de información con niveles de bajos entropía al estudio de Sistemas de Innovación

Global fundamentados en los procesos abiertos de comunicación con niveles naturalmente elevados de incertidumbre. De esta forma sus estudios regresan al punto original de partida de su investigación: los sistemas poieticos planteados por la teoría evolucionista de Luhman, donde el recurso de la información es el instrumento de cohesión de sistemas dinámicos de interacciones complejas.

Conviene también ajustar las unidades de análisis para evitar la asimetría en la disposición de la información entre los distintos países y regiones. Por ejemplo: el código industrial utilizado en Norteamérica (NAIC) es más exhaustivo al desglosar actividades industriales y de servicios, mientras que el código europeo (NACE) o internacional de la OMC suelen ser mucho más generales en su sistema de clasificación.

Es conveniente seguir la línea de posiciones abiertas presentadas por parte de cada uno de los agentes que conforman el modelo, el mismo Leydesdorff mostró su interés en evaluar las interacciones a partir de los fondos implicados en el proceso de producción de innovaciones aunque también expresó su preocupación respecto a la disponibilidad de las bases de datos necesarias para hacerlo.

Resultaría interesante en términos del avance en la aplicación del modelo, realizar un estudio sobre los sistemas de innovación de esta industria en México, de esta forma se puede describir el estado actual del sector, la forma en que interaccionan las tres hélices en el modelo, identificar las mejores prácticas y señalar áreas de oportunidad, riesgos, debilidades y fortalezas de sector, al tiempo en que se depura el modelo de investigación.

7. Referencias

- Abramson, N. (1963). *Information theory and coding*. New York: McGraw-Hill.
- Acemoglu, D., & Autor, D. (2011). *Lectures in labor economics*. Retrieved from <http://economics.mit.edu/files/4689>
- Adler, P. S. (2001). Market, Hierarchy, and Trust: The Knowledge Economy and the Future of Capitalism. *Organization Science*, 12(2), 215–234.
<https://doi.org/10.1287/orsc.12.2.215.10117>
- Adner, R. (2006). Match Your Innovation Strategy to Your Innovation Ecosystem. Retrieved March 27, 2015, from <https://hbr.org/2006/04/match-your-innovation-strategy-to-your-innovation-ecosystem>
- Aghion, P., & Howitt, P. (1990). *A Model of Growth Through Creative Destruction* (Working Paper No. 3223). National Bureau of Economic Research. Retrieved from <http://www.nber.org/papers/w3223>
- Allen, S. G. (1996). Technology and the wage structure. National Bureau of Economic Research.
- Anselmo, J.C. (2011). Defense Budget: the Calm Before the Storm: *Aviation Week & Space Technology*. <http://aviationweek.com/awin/defense-budgets-calm-storm>
- Barro, R. J. (1999). Human Capital and Growth in Cross-Country Growth Regressions. *Swedish Economic Policy Review*, 6(2).
- Barro, R. J., & Lee, J.-W. (2001). International data on educational attainment: updates and implications. *Oxford Economic Papers*, 3, 541–563.
- Bartel, A. P., & Sicherman, N. (1998). Technological change and the skill acquisition of young workers. *Journal of Labor Economics*, 16(4).
- Becker, G. S. (1970). *Human capital: a theoretical and empirical analysis with special reference to education*. Columbia University Press.

- Benhabib, J., & Spiegel, M. M. (2005). Human capital and technology diffusion. *Handbook of Economic Growth, 1*, 935–966.
- Berman, E., Bound, J., & Griliches, Z. (1994). Changes in the demand for skilled labor within U.S. manufacturing: evidence from the annual survey of manufacturers. *The Quarterly Journal of Economics, 109*(2), 367–397.
- Bisquerra Alzina, R., & Pérez Escoda, N. (2012). Las competencias emocionales. *Educación XXI: Revista de La Facultad de Educación, 10*, 6–81.
- Blom, A., & Saeki, H. (2011). Employability and skill set of newly graduated engineers in India. *World Bank Policy Research Working Paper Series, Vol.* Retrieved from http://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=1822959
- Bloom, B. S. (1956). *Taxonomy of educational objectives. Vol. 1: Cognitive domain.* New York: McKay.
- Blundell, R., Dearden, L., Meghir, C., & Sianesi, B. (1999). Human capital investment: the returns from education and training to the individual, the firm and the economy. *Fiscal Studies, 20*(1), 1–23.
- Bombardier Bussines Aircraft. (2014). Market Forecast. 2015-2020. Recuperado de https://www.bombardier.com/content/dam/Websites/bombardiercom/supporting-documents/BA/Bombardier-Aerospace-20140716-Business-Aircraft-Market-Forecast_2014-33.pdf
- Bowles, S., Gintis, H., & Osborne, M. (2001). The determinants of earnings: A behavioral approach. *Journal of Economic Literature, 1137–1176.*
- Bradley, C., & Oliver, M. (2002). The evolution of pedagogic models for work-based learning within a virtual university. *Computers & Education, 38*(1–3), 37–52. [https://doi.org/10.1016/S0360-1315\(01\)00078-1](https://doi.org/10.1016/S0360-1315(01)00078-1)

- Brunner, J.-J. (2012). La idea de universidad en tiempos de masificación. *Revista Iberoamericana de Educación Superior*, 3(7). Retrieved from <https://ries.universia.net/article/view/86/idea-universidad-tiempos-masificacion>
- Carlsson, B. (2003). Internationalization of Innovation Systems: A Survey of the Literature (p. 26). Presented at the Conference in honor of Keith Pavitt: What Do We Know about Innovation?, Sussex, UK: Science & Technology Policy Research.
- Caroli, E., & Van Reenen, J. (1999). *Organization, skills and technology: evidence from a panel of British and French establishments*. Institute for Fiscal Studies. Retrieved from http://www.researchgate.net/profile/John_Reenen/publication/5111959_Organization_skill_and_technology_evidence_from_a_panel_of_British_and_French_establishments/links/02e7e51ffd7b8eb259000000.pdf
- Central Intelligence Agency. (2012). The CIA World Factbook, rates the U.S. 24th in terms of percent of GDP: *CIA*. <https://www.cia.gov/library/publications/the-world-factbook/rankorder/2034rank.html>
- Clarke, R., Durand, M., Pilat, D., & Torres, R. (2001). *The new economy: beyond the hype: the OECD growth project*. Paris: Organisation for Economic Cooperation and Development.
- Cohen, W. M., & Levinthal, D. A. (1990). Absorptive Capacity: A New Perspective on Learning and Innovation. *Administrative Science Quarterly*, 35(1), 128–152. <https://doi.org/148.231.115.94>
- Correa-López, M. (2008). Revisiting the Nelson-Phelps Hypothesis in a Model of Growth with Quality-Improving Innovations. *Papers EEA-ESEM*, 49.

- Cyert, R. M., & March, J. G. (1963). *A behavioral theory of the firm* (Vol. 2). Englewood Cliffs.
- David, P. A., & Foray, D. (2002). An introduction to the economy of the knowledge society. *International Social Science Journal*, 54(171), 9–23.
<https://doi.org/10.1111/1468-2451.00355>
- De la Fuente, A., & Ciccone, A. (2002). *Human capital in a global and knowledge based economy*. Institute of Economic Analysis. Retrieved from
<http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.175.6041&rep=rep1&type=pdf>
- De la Fuente, A., & Domenech, R. (2001). Schooling data, technological diffusion, and the neoclassical model. *American Economic Review*, 323–327.
- Department of Commerce. (2010). Flight Plan 2010: Analysis of the US Aerospace Industry. Recuperado de
https://www.trade.gov/td/otm/assets/aero/Flight_Plan2010.pdf
- Dosi, G., Marengo, L., & Fagiolo, G. (2001). *Learning in evolutionary environments*. LEM Working Paper Series. Retrieved from
<http://www.econstor.eu/handle/10419/89462>
- Dunne, T., Haltiwanger, J., & Troske, K. (1997). Technology and jobs: secular changes and cyclical dynamics. *Carnegie-Rochester Conference Series on Public Policy*, (46), 107–178.
- Etzkowitz, H. (2003). Innovation in Innovation: The Triple Helix of University-Industry-Government Relations. *Social Science Information*, 42(3), 293–337.
<https://doi.org/10.1177/05390184030423002>

- Etzkowitz, H., & Klofsten, M. (2005). The innovating region: toward a theory of knowledge-based regional development. *R&D Management*, 35(3), 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*, 29(2), 109–123. [https://doi.org/10.1016/S0048-7333\(99\)00055-4](https://doi.org/10.1016/S0048-7333(99)00055-4)
- Etzkowitz, H., & Ranga, M. (2010). A Triple Helix System for knowledge-based regional development: From “Spheres” to “Spaces.” In *VIII Triple Helix Conference, Madrid, October*. Retrieved from <http://www.triplehelixconference.org/thpast/th8/downloads/Theme-Paper.pdf>
- Etzkowitz, H., & Zhou, C. (2007). Regional innovation initiator: the entrepreneurial university in various triple helix models. In *Triple Helix 6th Conference theme paper, Singapore*. Retrieved from <http://www.triplehelixconference.org/th/6/SingaporeConferenceThemePaper050107.pdf>
- Federal aviation Administration. (2012a). Commercial Space Transportation: 2011 Year in Review. Recuperado de https://www.faa.gov/about/office_org/headquarters_offices/ast/media/2012_YearinReview.pdf
- Federal Aviation Transportation. (2012b). FAA Aerospace Forecast Fiscal Years 2012-2036. Recuperado de https://www.faa.gov/data_research/aviation/aerospace_forecasts/media/FY2016-36_FAA_Aerospace_Forecast.pdf

- Feldman, J. M. (2001). Toward the Post-University: Centers of Higher Learning and Creative Spaces as Economic Development and Social Change Agents. *Economic and Industrial Democracy*, 22(99), 98–143.
<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*, 15(8), 1027–1045. <https://doi.org/10.1080/09654310701448162>
- Gallego, M. (2012). Gestión humana basada en competencias contribución efectiva al logro de los objetivos organizacionales. *Revista Universidad EAFIT*, 36(119), 63–71.
- Gardner, H. (1995). Reflections on multiple intelligences: Myths and messages. *Phi Delta Kappan*, 77, 200–200.
- González Maura, V., & González Tirados, R. M. (2008). Competencias genéricas y formación profesional: un análisis desde la docencia universitaria. *Revista Iberoamericana de Educación*, (47), 185–210.
- Grant, R. M. (1996). Toward a knowledge-based theory of the firm. *Strategic Management Journal*, 17(S2), 109–122.
- Hanushek, E. A., & Kim, D. (1995). Schooling, Labor Force Quality, and Economic Growth. *NBER Working Paper*, (5399).
- Harvey, L. (2000). New realities: The relationship between higher education and employment. *Tertiary Education & Management*, 6(1), 3–17.
- Hauge, A. (2009). Knowledge economies: innovation, organization and location Wilfred Dolfsma. *Journal of Economic Geography*, 9(2), 285–287.
<https://doi.org/10.1093/jeg/lbn037>

- Hermens, F. A. (1941). Business Cycles Joseph A. Schumpeter: Business Cycles: A Theoretical, Historical and Statistical Analysis of the Capitalist Process. Two vols., New York: McGraw Hill Book Co. Pp. xvi, 1095. \$10.00. *The Review of Politics*, 3(02), 261–264. <https://doi.org/10.1017/S0034670500001170>
- Hill, R. B., & Petty, G. C. (1995). A new look at selected employability skills: a factor analysis of the occupational work ethic. *Journal of Vocational Education Research*, 20(4), 59–73.
- Howitt, P. (1999). Steady endogenous growth with population and R&D inputs growing. *Journal of Political Economy*, 107(4), 715–730.
- Human Sciences and Technologies Advanced Research Institute. (2011). The Triple Helix concept | Triple Helix IX International Conference 11-14 July 2011. Retrieved November 16, 2015, from <http://www.triplehelixconference.org/th/9/the-triple-helix-concept.html>
- Islam, R., & others. (2010). Human capital composition, proximity to technology frontier and productivity growth. *Department of Economics, Discussion Paper*, 23(10), 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>
- Katz, L. F. (2000). *Technological change, computerization, and the wage structure*. MIT Press, Cambridge MA. Retrieved from <https://books.google.com/books?hl=en&lr=&id=dpf2hL6E-GcC&oi=fnd&pg=PA217&dq=%22educational+and+occupational+wage+differentials.+For+example,+Goldin+and+Katz%22+%22with+little+or+no+obse>

rved+foreign+outsourcing%22+%22the+minimum+wage+in+the+1980s)+also+contributed+to+the+magnitude+of+recent+increases+in%22+&ots=sUuHc
c0jaI&sig=opdR3rebNjNyhwhf9PfGDHd9ESGA

- Kleinke, J. (2005). *Noel-Levitz employer satisfaction survey Utah University*. Iowa: Noel-Levitz Inc.
- Kogut, B., & Zander, U. (1993). Knowledge of the firm and the evolutionary theory of the multinational corporation. *Journal of International Business Studies*, 24(4), 625–645.
- Krathwohl, D. R. (2002). A Revision of Bloom’s Taxonomy An Overview. *Theory into Practice*, 41(4), 212–264.
- Langa Rosado, D., & David, M. E. (2006). A massive university or a university for the masses? continuity and change in higher education in Spain and England. *Journal of Education Policy*, 21(3), 343–365.
- Lengyel, B., & Leydesdorff, L. (2011). Regional innovation systems in Hungary: the failing synergy at the national level. *Regional Studies*, 45(5), 677–693.
- Leydesdorff, L., Dolfsma, W., & Van der Panne, G. (2006a). Measuring the knowledge base of an economy in terms of triple-helix relations among ‘technology, organization, and territory.’ *Research Policy*, 35(2), 181–199.
- Leydesdorff, L., Dolfsma, W., & Van der Panne, G. (2006b). Measuring the knowledge base of an economy in terms of triple-helix relations among ‘technology, organization, and territory.’ *Research Policy*, 35(2), 181–199.
<https://doi.org/10.1016/j.respol.2005.09.001>
- Leydesdorff, L., & Fritsch, M. (2006). Measuring the knowledge base of regional innovation systems in Germany in terms of a Triple Helix dynamics. *Research Policy*, 35(10), 1538–1553.

- Leydesdorff, L., & Meyer, M. (2006). Triple Helix indicators of knowledge-based innovation systems: Introduction to the special issue. *Research Policy*, 35(10), 1441–1449. <https://doi.org/10.1016/j.respol.2006.09.016>
- 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*, 99(1), 27–35. <https://doi.org/10.1007/s11192-013-1079-4>
- 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*, 64(9), 1890–1902.
- López Leyva, S. (2005). *La vinculación de la ciencia y la tecnología con el sector productivo. Una perspectiva económica y social*. Editorial UAS.
- Lynch, L. M., & Black, S. E. (1995). Beyond the incidence of training: evidence from national employers survey. *NBER Working Paper*, 5231.
- Machin, S., & Van Reenen, J. (1998). Technology and changes in skill structure: evidence from seven OECD countries. *Quarterly Journal of Economics*, 1215–1244.
- MacKay, D. J. C. (2003). *Information Theory, Inference, and Learning Algorithms*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Martín-de-Castro, G., López-Sáez, P., & Navas-López, J. E. (2008). Processes of knowledge creation in knowledge-intensive firms: Empirical evidence from Boston's Route 128 and Spain. *Technovation*, 28(4), 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* (Vol. 19, pp. 97–116). Psychometrika.
- Mincer, J. (1996). Changes in wage inequality, 1970-1990. National Bureau of Economic Research.
- Moore, J. F. (2006). Business Ecosystems and the View From the Firm. *Antitrust Bulletin*, 51, 31.
- National Aerospace Agency. (2013). 2013 Year in Review: *Nasa*.
<https://www.nasa.gov/content/year-in-review-2013-feature>
- Nelson, R. R., & Phelps, E. S. (1966). Investment in Humans, Technological Diffusion, and Economic Growth. *American Economic Review*, 56(2), 69–75.
- Nieto Nieto, J. (2010). *Y tú... ¿innovas o abdicas?* (2nd ed.). España: Antiguos Alumnos UPV.
- Nonaka, I., & Krogh, G. von. (2009). Tacit Knowledge and Knowledge Conversion: Controversy and Advancement in Organizational Knowledge Creation Theory. *Organization Science*, 20(3), 635–652.
- Nonaka, I., Krogh, G. von, & Voelpel, S. (2006). Organizational Knowledge Creation Theory: Evolutionary Paths and Future Advances. *Organization Studies*, 27(8), 1179–1208. <https://doi.org/10.1177/0170840606066312>
- Office of Governor Edmund G. Brown. (2013). Governor Brown Delivers 2013 State of the State Address: *Office of Governor*.
<https://www.gov.ca.gov/2013/01/24/news17906/>
- Organization for Economic Co-operation & Development. (2014). The space sector in 2014 and beyond, Chapter I. The Space Economy at a Glance 2014.

Recuperado de https://www.oecd-ilibrary.org/economics/the-space-economy-at-a-glance-2014_9789264217294-en

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*, 25(2), 3–27.

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*, 39(5), 640–649.

<https://doi.org/10.1016/j.respol.2010.02.009>

Perevodchikov, E., Uvarov, A., & Leydesdorff, L. (2013). Measuring synergy in the Russian innovation system. Presented at the 12th international conference about the triple helix of university-industry-government relations., London.

Peters, L. S., & Etzkowitz, H. (1990). University-industry connections and academic values. *Technology in Society*, 12(4), 427–440. [https://doi.org/10.1016/0160-791X\(90\)90013-3](https://doi.org/10.1016/0160-791X(90)90013-3)

Phelps, E. S. (2007). Macroeconomics for a modern economy. *The American Economic Review*, 543–561.

Powell, W. W., & Snellman, K. (2004). The Knowledge Economy. *Annual Review of Sociology*, 30, 199–220.

Ringstrom, A. (2011). Global military spending hits high but growth slows: *Reuters*.

<http://www.reuters.com/article/2011/04/10/us-military-spending->

[idUSTRE73937y20110410](http://www.reuters.com/article/2011/04/10/us-military-spending-idUSTRE73937y20110410)

QS World University Rankings by Subject 2014 - Engineering - Mechanical,

Aeronautical & Manufacturing | Top Universities. (n.d.). Retrieved from

<http://www.topuniversities.com/university-rankings/university-subject->

rankings/2014/engineering-

mechanical#sorting=rank+region=+country=+faculty=+stars=false+search=

Ranga, M., & Etzkowitz, H. (2013). Triple Helix systems: an analytical framework for innovation policy and practice in the Knowledge Society. *Industry and Higher Education*, 27(4), 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*, 39(4), 420–430. <https://doi.org/10.1111/j.1467-9310.2009.00568.x>

Satellite Industry Association. (2014). State of the Satellite Industry Report.

Recuperado de https://www.sia.org/wp-content/uploads/2014/09/2013-State-of-the-Satellite-Industry-Report-Oct-Update-Final_low-res.pdf

Schumpeter, J. A. (1934). *The Theory of Economic Development: An Inquiry Into Profits, Capital, Credit, Interest, and the Business Cycle*. Transaction Publishers.

Schultz, T. W. (1961). Investment in Human Capital. *The American Economic Review*, 51(1), 1–17.

Shanon, C. E. (1948). A Mathematical Theory of Communication. *The Bell System Technical Journal*, 27, 379–423, 623–656.

Simon, H. A. (1989). *Bounded rationality and organization learning*. (Technical report No. 1) (p. 18). Carnegie Mellon University and University of Pittsburgh.

Spender, J.-C. (1989). *Industry recipes: the nature and source of managerial judgement*. Oxford: Basil Blackwell.

- Stiefel, B. M., & García, T. A. (2002). *Educación para la ciudadanía: un enfoque basado en el desarrollo de competencias transversales*. (Vol. 67). Narcea Ediciones.
- Stockholm International Peace Research Institute. (2014). SIPRI Military Expenditure Database: *SIPRI*. <https://www.sipri.org/database/millex>
- 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*, 80(3), 471–484. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2012.08.010>
- Syafputri, E. (2011). US foresees \$46 billion in 2011 military sales: *AntaraNews*. <https://en.antaranews.com/news/72593/us-foresess-46-billion-in-2011-military-sales>
- Theil, H. (1973). *Statistical decomposition analysis; with applications in the social and administrative sciences*. London North-Holland.
- The World Bank. (2012). Military Expenditure % of GDP: *World Bank*. <https://data.worldbank.org/indicator/MS.XPND.GD.ZS>
- U.S. Department of Commerce, Bureau of Economic Analysis. (2012). International Trade in Goods and Services, Trade Balance 2012. Recuperado de <https://www.bea.gov/data/intl-trade-investment/international-trade-goods-and-services>
- U.S. Department of Commerce. (2011). Flight Plan 2011: Analysis of the U.S. Aerospace Industry.
- Volkwein, J. F., Lattuca, L. R., Terenzini, P. T., Strauss, L. C., & Sukhbaatar, J. (2004). Engineering change: A study of the impact of EC2000. *International Journal of Engineering Education*, 20(3), 318–328.

- Walter W. Powell. (1990). Neither market nor hierarchy: networks forms of organization. *Research in Organizational Behavior*, 12, 295–336.
- Winter, S. G., & Nelson, R. R. (1982). *An evolutionary theory of economic change*. University of Illinois at Urbana-Champaign's Academy for Entrepreneurial Leadership Historical Reference in Entrepreneurship.
- 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*, 64(11), 2317–2325.
- Yeung, R. W. (2008). *Information theory and network coding*. Springer Science & Business Media.