

INDUSTRIA AERONÁUTICA: CAMBIOS EN LA CADENA GLOBAL DE VALOR Y OPORTUNIDADES PARA LAS PYME MEXICANAS EN 2023

Área de investigación: Tecnología e innovación en las organizaciones

Romina Castillo Malagón

Facultad de Contaduría y Administración
Universidad Nacional Autónoma de México
México
rcastillom86@gmail.com

María de Lourdes Álvarez Medina

Facultad de Contaduría y Administración
Universidad Nacional Autónoma de México
México
malvarez@fca.unam.mx

4, 5 y 6 de octubre de 2023

Ciudad Universitaria

Ciudad de México





INDUSTRIA AERONÁUTICA: CAMBIOS EN LA CADENA GLOBAL DE VALOR Y OPORTUNIDADES PARA LAS PYME MEXICANAS EN 2023

Resumen

La industria aeronáutica es considerada como estratégica a nivel mundial, fue una de las más afectadas por la llegada del virus SARS-CoV-2. En 2022 presentó signos de recuperación y en 2023 se prevén retos a lo largo de la cadena global de valor impulsados por la reconfiguración de proveedores y las estrategias de relocalización industrial. Para hacer frente a estos cambios, se ha sugerido que las empresas inviertan en tecnología para atender de manera oportuna los nuevos requerimientos de las empresas líderes de la Cadena Global de Valor (CGV). México cuenta con la presencia de 386 empresas en este sector, de este universo 35% son empresas cuyo capital de origen es mexicano y de ellas 90% son pequeñas y medianas. En esta investigación nos preguntamos ¿cuáles son las tendencias tecnológicas que están impulsando la industria aeroespacial y cuáles son los retos de las Pyme mexicanas que participan en la cadena de valor para transitar a estos cambios? Se utiliza el análisis de la CGV ubicando la participación de las Pyme mexicanas, se detectan las tendencias científicas y tecnológicas mediante revisión sistemática de la literatura y análisis de patentes y se reconocen tecnologías transversales y específicas para áreas necesarias de intervención.

Palabras clave: industria aeronáutica, cadena global de valor, innovación pyme, nearshoring México

Introducción

La industria aeroespacial es considerada como un sector vital en la economía global por su contribución al transporte, seguridad nacional y la exploración espacial; es también una red compleja de proveedores,





fabricantes, distribuidores y prestadores de servicios que operan en diferentes ubicaciones geográficas (Sturgeon y Gereffi, 2013).



Después de la crisis mundial derivada del cierre de fronteras para contener la propagación del virus SARS- CoV-2, el año 2022 se caracterizó por un incremento en la demanda de viajes aéreos lo que impactó en la recuperación paulatina del sector y en la demanda de aeronaves comerciales. Por ejemplo, Airbus cerró 2022 con una venta de 661 aeronaves, y al primer trimestre de 2023 se contabilizaron 127 aviones comerciales vendidos (A21, 2023).

Con la recuperación económica la industria aeronáutica enfrenta nuevos retos para mantener un crecimiento constante, la demanda tiende a aumentar, pero problemas geopolíticos como la invasión rusa a Ucrania dificultan la obtención de materias primas, especialmente para metales críticos y elementos de tierras raras, además se exacerbó la volatilidad del precio del combustible (Deloitte, 2023, IATA, 2013). A lo anterior se suma la pérdida de proveedores a nivel mundial, lo que ha ocasionado interrupciones en la entrega de piezas y componentes necesarios para el ensamblaje final y ha provocado modificaciones en la cadena global de valor (CGV). También se señala como un desafío la escasez de talento calificado y las nuevas tecnologías (Deloitte, 2023).

La geografía de la industria aeroespacial está cambiando como respuesta al aprendizaje que se tuvo con la pandemia y tensiones comerciales que afectaron el funcionamiento de las CGV. La reubicación de proveedores a lugares cercanos a sus mercados, con el objetivo de disminuir riesgos de interrupción de las Cadenas Globales se ha observado en varias industrias. Este fenómeno conocido como nearshoring está acelerando la inversión y el crecimiento de capacidades de producción en México. Además, el desarrollo de proveduría de empresas ya instaladas en México se está incentivando para atraer la producción de más piezas en los próximos años (Becerril, 2023).

La industria aeroespacial en México tuvo resultados negativos en la pandemia; de acuerdo con cifras emitidas por la FEMIA, en 2020 las exportaciones cayeron 31% y pequeñas empresas proveedoras que estaban iniciado su incursión en el sector tuvieron que cancelar operaciones (CEPAL, 2020). Sin embargo, la industria ha retomado su crecimiento recuperándose rápidamente: el sector arrojó en 2022 ventas



al exterior por 8,000 mil millones de dólares y en 2023 se espera alcanzar 9,682 millones igualando las exportaciones de 2019. De estas exportaciones 80 por ciento tienen como destino final Estados Unidos y se prevé un crecimiento de 9.8 por ciento para 2024 alcanzando 10,635 millones de dólares (Valdez, 2023).



México cuenta con la presencia de 386 empresas en este sector, instaladas en 19 estados de la República y emplean alrededor de 60 mil trabajadores, de este universo, 35% son empresas cuyo capital de origen es mexicano y de ellas el 90% son pequeñas y medianas empresas (Pyme). Ante los profundos cambios organizativos y tecnológicos pospandemia la industria aeroespacial se encuentran examinando posibles modificaciones en sus cadenas de proveeduría que los ayude a mantenerse más competitivos, razón por la cual estas empresas deben adaptarse a dicho entorno generando estrategias que les permitan superar sus propias barreras.

El objetivo de esta investigación es identificar las tendencias tecnológicas que están impulsando a la industria aeroespacial y explicar los retos que tienen las Pyme para transitar hacia estos cambios. La investigación se sustenta en el marco teórico de la cadena global de valor, la cual permitirá caracterizar a la industria y explicar cómo los requerimientos y cambios implementados por las OEMs impactarán en las actividades de las pequeñas y medianas empresas mexicanas.

Para responder a estos propósitos, se procedió a hacer una revisión y una síntesis teórico-documental de lo que se ha publicado a este respecto. i) se analizó la cadena global de valor y se identificaron los eslabones en los que se ubican las pymes mexicanas; ii) se identificaron tendencias tecnológicas en publicaciones científicas mediante el análisis sistemático de la literatura con la herramienta de software Vos Viewer y se llevó a cabo un análisis de patentes mediante el buscador Derwent Innovation Index de Clarivate Analytics, iii) se analizaron reportes especializados de la industria aeroespacial emitidos por las consultoras KPMG y Deloitte y iv) finalmente se realizó un análisis de los resultados comparando las tendencias científicas, las tendencias en patentes, las propuestas de las consultoras y los resultados de la cadena de valor para definir las tendencias tecnológicas relevantes.



Esta ponencia está organizada en cuatro apartados además de esta introducción. En primer lugar, se presentan los antecedentes teóricos de cadenas globales de valor y se estructura la cadena de valor aeroespacial en México lo que permite ubicar eslabones y funciones en las que participan las pymes mexicanas. En el segundo apartado se analizan las nuevas tecnologías en la industria mediante la revisión de la literatura y de fuentes secundarias, además se realizó un análisis de patentes para definir aquellas señaladas como relevantes para las Pyme de la cadena de valor en México. En el tercer apartado se presenta una discusión para abordar los retos que tienen las Pyme para transitar estos cambios y proponer algunas de las acciones a realizar para lograr esta transformación, finalmente se presentan las conclusiones.

1. Cadenas globales de valor y participación de la cadena de valor aeroespacial en México.

Con el fin de la Segunda Guerra Mundial, se reestructuraron los sistemas de producción y las empresas decidieron abrir filiales en países en vías de desarrollo para aprovechar su ubicación geográfica, recursos naturales y mano de obra barata como mecanismos para reducir costos (Uharte, 2014). Después de la década de 1970 esta transformación generó Cadenas Globales de Valor (CGV) que se crean con la producción de partes de componentes necesarios para generación de un bien final en diferentes ubicaciones geográficas. Estas cadenas contemplan diversas actividades como investigación y desarrollo, diseño producción, marketing, distribución, consumo y post – consumo y pueden estar concentradas en una empresa o divididas en múltiples firmas y dirigida o *gobernada* por una de ellas (Fernández – Stark y Gereff; 2011, 2019).

La gobernanza es “la relación de autoridad y poder que determina como se asignan recursos financieros materiales y humanos que fluyen dentro de una CGV (Gereffi, 1994, p. 97). La gobernanza contribuye en el análisis de las relaciones entre los actores de la cadena, se identifica a los líderes de dicha cadena quienes deciden qué se va a producir (diseño del producto), cómo se va a producir (el proceso de producción, la tecnología, las normas de calidad) y cuánto se va a producir. Esta gobernanza puede producirse a través de relaciones de mercado en condiciones de igualdad o a través de relaciones que no son de mercado



e impactan el desempeño innovador de las empresas en la cadena (Humphrey y Schmitz, 2000).

Desde este enfoque, la gobernanza es importante para las Pymes mexicanas porque, aunque estas logren insertarse en la CGV como proveedoras, y se beneficien a través del acceso a conocimientos a los que de otra forma no podrían acceder, las actividades de innovación, así como el desarrollo de tecnología, están supeditadas a los requerimientos y necesidades del líder que gobierna la cadena.

Gereffi y Fernández Stark (2011) proponen diferentes tipos de gobernanza para las CVG basándose en tres variables: la complejidad de la información compartida entre los actores de la cadena, cómo puede ser codificada la información para la producción y el nivel de competencia del proveedor (Frederik & Gereffi, 2009; Gereffi et al., 2005).

La gobernanza de **mercado**; involucra transacciones que son relativamente simples; el mecanismo central de la gobernanza es el precio. En la gobernanza **Modular**: los proveedores hacen productos conforme a especificaciones de un cliente y asumen la responsabilidad total por la tecnología del proceso usando maquinaria genérica que disemina inversiones a través de una amplia base de clientes. En la gobernanza **Relacional** ocurre cuando compradores y vendedores se apoyan en información compleja que no es fácilmente transmitida o aprendida, lo que requiere de confianza y generan dependencia mutua, que está regulada a través de la reputación, proximidad social y espacial, vínculos familiares y étnicos, y similares. Las CGV con gobernanza del tipo **Cautiva** los pequeños proveedores dependen de uno o pocos compradores que a menudo detentan un gran poder; existe un alto grado de monitoreo y control por parte de la firma líder. La asimetría en el poder en las redes cautivas obliga a los proveedores a vincularse con su comprador bajo condiciones específica de ese comprador particular, llevando a gruesos lazos y altos costos en caso de cambiar para ambas partes. La gobernanza **Jerárquica** se caracteriza por la integración vertical de un control gerencial dentro de las firmas líderes que desarrollan y fabrican productos internamente. Esto ocurre usualmente cuando las especificaciones del producto no pueden ser codificados, los productos son complejos o no se pueden encontrar proveedores altamente competentes.





El estudio de los sistemas de producción desde la óptica de las CVG permite explicar y entender cómo trabajadores, empresas y consumidores finales están interconectados en una misma industria a nivel local y global. Además, permite identificar el nivel de desarrollo de un país en un determinado sector productivo, así como cuáles son las posibilidades de que las empresas de capital nacional, especialmente aquellas localizadas en países en vías de desarrollo, puedan mejorar su posicionamiento en la CGV, este fenómeno se conoce como escalamiento o “upgrading” (Fernández – Stark y Gereff; 2011, 2019).

El escalamiento puede darse en productos, en procesos o en eslabones de la cadena de valor y requiere del diseño de una estrategia que considere a los actores claves de la industria y los vínculos potenciales que pueden generarse con éstos, en virtud de desencadenar procesos de aprendizaje. El integrarse a la CGV es una oportunidad para las Pyme de pertenecer al mercado global y acceder a tecnología y conocimientos que de otra manera no podrían acceder, sin embargo, la gobernanza ejercida en la CGV puede limitar su crecimiento (Gereffi, 2001; 2005).

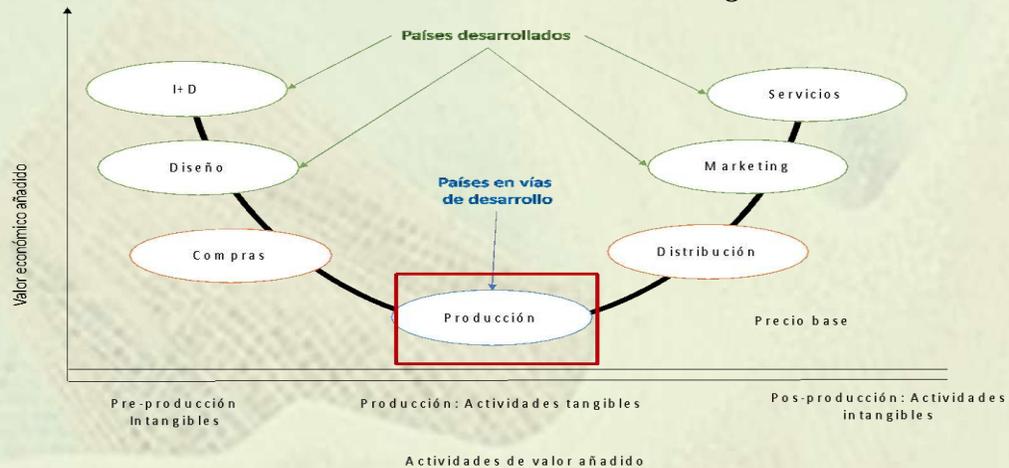
La figura 1, conocida como la gráfica de la sonrisa, explica los potenciales de valor agregado entre los diferentes componentes de la industria de fabricación de dispositivos tecnológicos en una CGV. En esta investigación se utilizará para explicar la ubicación de México en la misma. En los extremos de la gráfica se encuentran las actividades que añaden mayor valor al producto y en el medio se encuentran las actividades que añaden menos valor. Por esto, las actividades de investigación-desarrollo y servicios que se observan en la gráfica tienen un potencial superior de valor agregado, seguidas de diseño y marketing, después se encuentra compras y distribución, dejando la actividad de producción en la parte inferior de la curva con el menor potencial de valor añadido.

Los países en desarrollo generalmente participan en la parte inferior de la curva.





Figura 1
Distribución de actividades de alto valor en cadenas globales de valor



Fuente: Balwin et al. (2014)

La Cadena de valor aeroespacial en México

El proceso de producción de aeronaves se encuentra dividido en cinco etapas: diseño, producción de componentes, sub ensamblaje, ensamblaje final y servicios post-producción. Las actividades de diseño, sub ensamblaje y ensamblaje final, suelen ejecutarse en países desarrollados (Niosi y Zhegu, 2010). Gereffi y Fernández-Stark (2019) señalan que las actividades de alto valor agregado suelen llevarse a cabo en países desarrollados y son protegidas por mecanismos de propiedad intelectual. En esta investigación hemos encontrado que las empresas mexicanas se desempeñan en actividades de producción de componentes, en servicios de apoyo a la industria y en su minoría desarrollando actividades de Mantenimiento, Reparación y Operaciones (MRO) lo que se incluye en actividades de producción en la gráfica no.1.

Aunado a esto, la gobernanza en la CGV aeroespacial se ha caracterizado como "Cautiva", donde los pequeños proveedores dependen de uno o de pocos compradores que por lo general ostentan un gran poder. Tales redes muestran un alto grado de monitoreo y control por parte de la firma líder. La asimetría en el poder en las redes cautivas fuerza a los proveedores a vincularse con su comprador bajo condiciones establecidas por un comprador final, lo que genera lazos a





largo plazo y en caso de cambiar de proveedores, grandes costos para ambas partes (Fernandez-Stark, K., & Gereffi, G. 2019, p.10). También se identificaron características de una gobernanza “Jerárquica”, con una integración vertical de un control gerencial dentro de las firmas líderes que desarrollan y fabrican productos internamente (in-house) (Fernandez-Stark, K., & Gereffi, G. 2019, p.10).



Tabla 1
Proceso de producción de aeronaves y participación de México

Procesos	En qué consisten	Participación de México
Diseño	Conceptual, preliminar y detallado	Baja
Producción de componentes ¹	Componentes estructurales, avionics a bordo, componentes del sistema de propulsión	Alta
Subensamblaje	Estructura del avión y subcomponentes estructurales, subcomponentes aviónicas a bordo, subcomponentes del sistema de propulsión.	Alta
Ensamblaje final	Ensamblaje de estructura del avión, integración avionics a bordo, integración de sistemas de propulsión.	Muy baja tres casos
Servicios posproducción	Mantenimiento reparación y revisión, entrenamiento técnico y servicio al cliente	Media

Fuente: Elaboración propia basado en la propuesta de Gereffi, G. & Sturgeon, T. (2013)

Como se muestra en la Tabla 1, para el caso mexicano, la mayoría de las firmas desarrollan actividades asociadas a la producción de componentes los cuales deben dar cumplimiento tanto a los requerimientos de los líderes de la cadena como a las normas específicas aplicables a dicha industria. La concentración de procesos de la industria aeroespacial en México indica que 79% se concentra en manufactura y ensamble, 11% en mantenimiento, reparación y revisión (MRO), 10% en diseño e ingeniería (Kelly, 2015, citado en Mejía, 2017, p. 81). Mejía (2017) también señala que, México participa principalmente en actividades de bajo valor agregado en manufactura y ensamble, así como en servicios de MRO; en menor medida se desarrollan actividades de ingeniería y diseño (Véase Tabla 2).

¹Se consideran componentes individuales a las placas de circuitos desnudos, conectores y componentes electrónicos, sistemas de cableado y control a gran escala, piezas compuestas para las alas, tornillos especializados que se utilizan en las mesas de las bandejas de pasajeros, entre otros. Estos, pueden ser específicos de un producto o de un sector como los rotores y las antenas o bien, pueden ser genéricos (piezas de fundición sin mecanizar o pistones) (Sturgeon & Gereffi, 2013)





Tabla 2
Principales productos y procesos de la industria aeroespacial en México

Actividades	Productos y servicios
Manufactura y ensamble	Componentes de ingeniería, arneses y cables, componentes de sistemas de aterrizaje, inyección y moldes de plástico, intercambiadores de calor, maquinados de precisión, sistemas de audio y video, aislamiento de fuselajes, producción y control de software,
Servicios de mantenimiento, reparación y operación (MRO)	Turbinas y motores, sistemas unitarios de poder, fuselajes, sistemas eléctricos electrónicos, sistemas de aterrizaje, componentes dinámicos, hélices, cubrimientos corrosión protección, arreglo y rediseño de interiores
Ingeniería y diseño	Dinámica aeroespacial, sistemas de control, dinámica de proveeduría computacional (CFD), instrumentación, simulación de vuelos, técnicas de modelos no destructivas (NDT), instrumentación virtual, procesos de datos e imágenes, sistemas de información de negocios especializados

Fuente. Competitividad e Innovación México, Unión Europea, PROCEI, citado en Mejía (2017).



2. Identificación de tendencias analizando la literatura científica y las patentes.

El proceso de globalización, el cual se ha visto impulsado por los avances científicos y tecnológicos, hacen que de manera constante aparezcan en el mercado nuevos o mejorados productos que reemplazan a los ya existentes, permitiendo mejorar la productividad, bajar los costos, la diferenciación entre productos y organizaciones, mejorar la competitividad e incrementar el nivel de vida y el desarrollo de la sociedad (Valdés et al. 2019).

En este sentido, identificar las tendencias científicas y tecnológicas coadyuvaría para que las Pyme formulen mejores estrategias de negocio y respondan con mayor rapidez a los cambios (Jiménez, 2021). Existen diferentes mecanismos para la identificación de tendencias en el mercado, en esta investigación nos centramos en las tendencias científicas y tecnológicas.

Tendencias analizando la literatura científica

La determinación de **tendencias científicas** se basa en la **cienciometría**, cuyo objetivo es conseguir un análisis matemático de la producción





científica (Solla Price, 1961). Este proceso permite localizar patrones, relaciones, tendencias e indicadores a partir de la información científica, caracterizando cada uno de los actores y procesos involucrados en la investigación como son los investigadores, grupos de investigación, instituciones, países, palabras clave, temporalidad; los cuales, brindan información sobre las relaciones existentes y la dinámica que se genera entre ellos.

De acuerdo con Deloitte (2023), una de las principales limitantes para el crecimiento de la industria aeroespacial a nivel mundial es la gestión segura de la cadena de suministro por lo que se realizaron búsquedas en bases de datos especializadas como son Scopus y Web of Science, se utilizaron las palabras clave *"supply chain"* y *"aerospace industry"*. En una primera búsqueda se identificaron 368 resultados en Scopus y 101 en Web of Science en un periodo comprendido entre 1996 y 2023. La selección del periodo de tiempo está determinada con las características propias de la industria, ésta se considera con largos tiempos de investigación, desarrollo tecnológico, ensamble y venta de aeronaves.

Los resultados del análisis indican que, las investigaciones en torno a la relación existente entre la cadena de suministro y la industria aeroespacial ha sido un tema poco estudiado, sin embargo, a partir de 2022 tuvo un repunte, lo que podría explicarse por la necesidad de identificar los factores que contribuyen a la recuperación del sector tras la pandemia. Los países que más han investigado sobre este tema son Reino Unido (102), Estados Unidos (92), Canadá (27), Alemania (23) e Italia (21); para el caso mexicano, se identificaron 4 publicaciones. En cuanto al área de estudio se refiere, la mayoría de las publicaciones se encuentran en el ámbito de la ingeniería (353 publicaciones), administración (171) y ciencias de la computación (81 publicaciones).

Para identificar los temas de intersección entre la cadena de suministro y la industria aeroespacial se realizó un análisis por co – ocurrencia de palabras clave, utilizando el software Vos Viewer, el cual permite detectar clústeres, programas o líneas de investigación existentes en un determinado campo del conocimiento.

Con esta técnica es posible obtener mapas de conocimiento sobre un tema en específico ya que las palabras clave identificadas pueden caracterizarse por conceptos de proximidad y distancia y, a su vez,



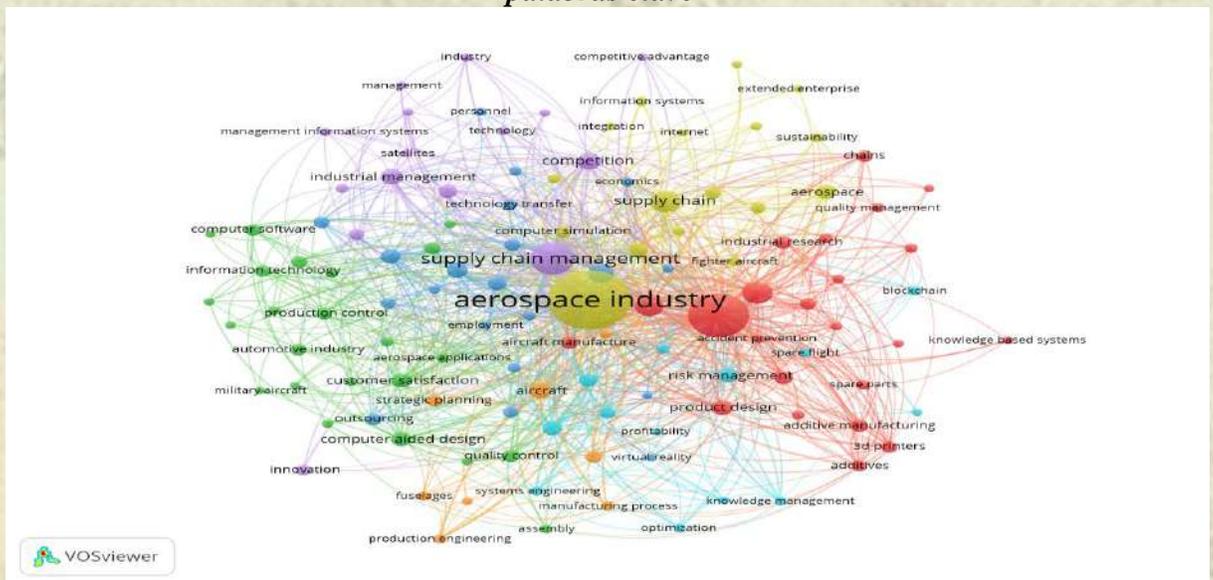
representarse gráficamente. La distancia entre dos palabras en el mapa indica la mayor o menor relación entre ellas, (Véase Figura 2). Para la creación de la red de conocimiento a través de la co-ocurrencia de palabras clave se consideraron los siguientes aspectos:

1. Todas las palabras clave, lo que incluye las palabras propuestas por el autor y las propuestas por la revista.
2. Que estas palabras tengan por lo menos 5 relaciones con otras palabras clave.

Los nodos más grandes se refieren al motor de búsqueda utilizado para identificar la información aerospace industry” & “supply chains”.

El análisis por co-ocurrencia de palabras clave indica que no existe una relación significativa entre las publicaciones de la industria aeroespacial y el estudio de las cadenas de suministro. Sin embargo, sí encontramos que los temas de intersección se encuentran en *aircraft manufacture* (manufactura de aeronaves), *accident prevention* (prevención de accidentes), *risk management* (administración de riesgos), *producto design* (diseño de productos) (Ver figura 2).

Figura 2
Análisis co-ocurrencia “supply chain” & “aerospace industry” por palabras clave



Elaboración propia por medio del software VoSViewer con información obtenida en Scopus y Web of Science 2023





Tendencias analizando las patentes registradas

Para la determinación de **tendencias tecnológicas** en un sector en específico, se suele analizar las actividades de patentamiento, lo cual, permite identificar a los principales líderes, las tecnologías y los mercados. Las patentes de invención son una modalidad de protección del conocimiento científico. En concreto, representan un privilegio temporal de explotación en exclusiva que concede el Estado para lo reivindicado en una solicitud, si ésta reúne los requisitos de patentabilidad exigidos por la ley: novedad, actividad inventiva y aplicación industrial (WIPO, 2022).

Para la identificación de las tendencias tecnológicas en la industria aeroespacial, se realizó una búsqueda especializada mediante el buscador Derwent Innovation Index de Clarivate Analytics, para homogenizar la información, se utilizaron los códigos de la Clasificación Internacional de Patentes (CIP) emitido por la Organización Mundial de Propiedad Intelectual (OMPI); de acuerdo con el siguiente detalle:

Tabla 3
Códigos de clasificación de patentes para la industria aeroespacial

Sección B Técnicas Industriales Diversas	
Transportes	
Clasificación CIP	Descripción
B64	Aeronaves; aviación; astronáutica
B64B	Aeronaves más ligeras que el aire (instalaciones en tierra para aeronaves en general B64F)
B64C	Aeroplanos; helicópteros (vehículos de colchón de aire B60V)
B64D	Equipamiento interior o acoplable a aeronaves; trajes de vuelo; paracaídas; disposiciones o montaje de grupos motores o de transmisiones de propulsión en aeronaves.
B64F	Instalaciones en tierra o instalaciones en cubierta de portaaviones especialmente adaptadas para su uso en conexión con aeronaves; diseño, fabricación, ensamblaje, limpieza, mantenimiento o reparación de aeronaves, no previstos en otro lugar; manipulación, transporte, ensayo o inspección de componentes de aeronaves, no previstos en otro lugar
B64G	Astronáutica; vehículos o equipos a este efecto

Fuente: Elaboración propia con información obtenida de OMPI 2021





Se utilizó la palabra clave “*aeronautic*” y se consideró un periodo de tiempo de 1997 a 2022; se obtuvieron 340,103 publicaciones a nivel internacional, siendo el 2021 el año que más registros de patentes hubo en temas aeronáuticos (Derwent Innovación Index, 2023). Los países que más patentes tienen son Estados Unidos y China (84,685 y 63,283 respectivamente), lo cual se explica por la importancia del sector aeroespacial en temas de desarrollo tecnológico y seguridad nacional. También se identifica participación de países como Rusia, Canadá, Francia, Corea del Sur, Alemania, Brasil y la India, aunque poseen un número de tecnologías muy bajo comparado con los primeros.



A pesar de que es Estados Unidos es el principal productor y exportador de partes de aeronaves y naves, China es el país que más patentes genera, lo que se explica porque en 2022 este país se convirtió en productor de aeronaves comerciales denominadas COMEC, además, esta información es de suma importancia ya que según las estimaciones de Boeing y Airbus en 2030, el principal mercado se concentrará en Asia. En cuanto a empresas se refiere Snecma Group y Thales son los dueños del mayor número de patentes.

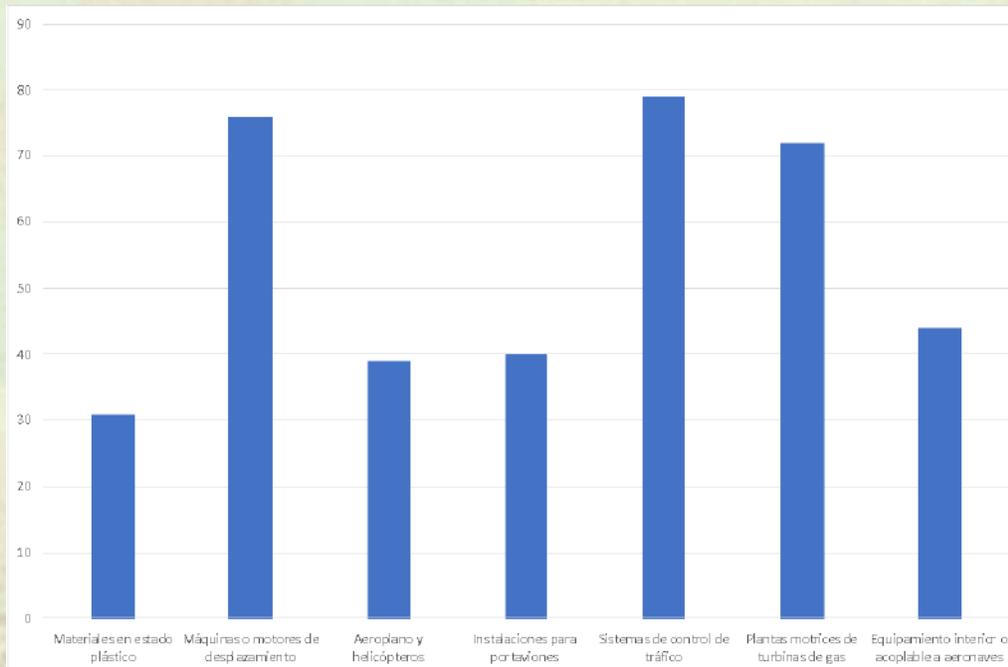


El Gráfico 1, destaca la protección a nivel internacional de invenciones como son *dispositivos de control para el tráfico aéreo, nuevas maquinarias y motores, turbinas y nuevas formas de obtener energía para las aeronaves, así como nuevas aleaciones en materiales, principalmente plásticos.*





Gráfico 1
Patentes registradas “aeronautic” de acuerdo con la Clasificación CIP en 1997 - 2022



Fuente: Elaboración propia con información obtenida de Derwent Innovation Index (2023)

Nota: Para facilitar la visualización de la información, los siguientes códigos se agruparon en los siete temas presentados: **B64C** Aeroplanos; Helicópteros (vehículos de colchón de aire B60V); **B64** Equipamiento interior o acoplable a aeronaves; trajes de vuelo; paracaídas; disposiciones o montaje de grupos motores o de transmisiones de propulsión en aeronaves; **B64F** Instalaciones en tierra o instalaciones en cubierta de portaaviones especialmente adaptadas para su uso en conexión con aeronaves; diseño, fabricación, ensamblaje, limpieza, mantenimiento o reparación de aeronaves, no previstos en otro lugar; manipulación, transporte, ensayo o inspección de componentes de aeronaves, no previstos en otro lugar; **B64G** Astronáutica; vehículos o equipos a este efecto (aparatos o métodos para obtener materiales de fuentes extraterrestres E21C 51/00); **G05D** Sistemas de Control o de Regulación de Variables no Eléctricas; **F02C** Plantas Motrices de Turbinas de Gas; Tomas de Aire para Plantas de Propulsión a Reacción; Control de la Alimentación de Combustible en Plantas de Propulsión a Reacción que Consumen Aire; **F01D** Maquinas o Motores de Desplazamiento no Positivo; **B29C** Conformación o Unión de Materias Plásticas; Conformación de Materiales en Estado Plástico, no Prevista en otro Lugar; Postratamiento de Productos Conformado; **G08G** Sistemas de Control de Tráfico; **F02K** Plantas Motrices de Propulsión a Reacción.

Para contrastar las cifras a nivel internacional con el caso mexicano, se realizó una revisión de tendencias en México, tomando como referencia el país de origen de la patente, titular y sector tecnológico al que pertenece; identificando las invenciones que fueron desarrolladas y protegidas directamente en el país y cuáles son las que provienen del exterior encontrando que el mayor número de patentes detectadas en





México fueron registradas en un inicio en los Estados Unidos de América, seguidas de las invenciones protegidas en países europeos como son Francia, Alemania, Italia e Inglaterra. De los datos obtenidos, se identifica que siete tecnologías fueron desarrolladas y registradas en México.



En la Tabla 4, se resumen las tecnologías identificadas a través de la revisión de tendencias científicas y tecnológicas.

Tabla 4

Cuadro comparativo tendencias científicas y tecnológicas

Tecnologías identificadas mediante la cienciometria	Tecnologías identificadas mediante la patentología
Manufactura aditiva Simulación por computadora Impresión 3D Blockchain Aditivos (se refiere a sustancias o materiales)	Mejoras hechas a partes de las aeronaves como son llantas, rotación de alas, motores (todo esto es contenido en el término aeronave y fuselaje) Uso de nuevos materiales (que también se puede ser incluido en aditivos) Drones Nuevos combustibles materiales y componentes más ligeros y con una vida útil más larga

Fuente: elaborado con información de las figuras 2 a 5 y gráfica uno.

El tema de manufactura aditiva e impresión 3D se encuentran estrechamente relacionados con las patentes destinadas a proteger los desarrollos en nuevos materiales y en componentes más ligeros y con una vida más larga.

La Tabla 5 resume las tecnologías disruptivas para la industria aeronáutica presentadas por la consultora internacional KPMG (2019), en dicho informe se establece que las tecnologías fueron seleccionados por un grupo de expertos de la industria aeroespacial a nivel mundial, quienes las clasificaron de acuerdo con su nivel de desarrollo tecnológico, es decir, en qué fase tecnológica, de producción y comercialización se encuentran. En cuanto a la adquisición y desarrollo de tecnología se pueden considerar a largo plazo aquellas tecnologías que se encuentran en los rubros de “naciente” y “amanecer”, mientras que a corto y mediano plazo se pueden considerar como nichos de oportunidad las tecnologías localizadas en los rubros de “estratégicas y “alta apuesta”.





Tabla 5
Grado de madurez de las tecnologías disruptivas de la industria aeronáutica en 2019-2030

Naciente ²	Amanecer ³	Estratégica	Alta apuesta	Madura	Declive
Vuelos V	Siguiente generación de supersónica	Tecnología de voz	Análisis y Big Data	Piloto automático	1ª clase
Ingeniería Ultrafan	Aeronaves eléctricas, híbridas e hidrógeno	Impresión 3D – Manufactura aditiva	Materiales compuestos	Ticketless	
Computación cuántica	Drones de mantenimiento	Blockchain	Cyberseguridad	Turbopropulsores	
Hipersónica	Serpientes y escarabajos (robots para mantenimiento)	Inteligencia Artificial (IA)	Vigilancia del tráfico aéreo por satélite	Renovación de flota	
Aviones no tripulados	Movilidad Aérea Avanzada (VTOL, eVTOL)	Biométricos	Larga distancia – bajo costo	LCC's	
	Realidad virtual y aumentada	Biocombustibles			

Elaboración propia con información obtenida de KPMG (2019); Aviation 2030

3. Resultados y discusión

Para México, el 2022 ha presentado tendencias marcadas de recuperación en la industria aeroespacial, sin embargo, el hecho de que el 90% de las empresas pertenecientes a este sector pertenezcan al rubro de pequeñas y medianas empresas y la mayoría de ellas sea proveedora Tier 3 o prestadora de servicios de mantenimiento, reparación y operaciones puede dificultar el aprovechamiento de la reconfiguración de la cadena global de valor, ya que en su mayoría carecen de recursos financieros para capacitar a su personal, gestionar sus procesos productivos y comerciales, acceder a nuevas tecnologías o incluso

²Son aquellas que se encuentran en la fase inicial del ciclo de vida de la tecnología; nacen cuando surgen propuestas innovadoras de desarrollo de procesos, habilidades o aplicaciones diferentes que cambian las concepciones ya establecidas dentro del mercado y son capaces de modificar industrias ya constituidas y técnicas afianzadas (Day et al., 2001).

³ Se realizan las primeras producciones del producto, aún se realizan ajustes para su mejor funcionamiento.





innovar (García, 2020). Por lo tanto, es de suma importancia que éstas, empleen estrategias que les permita hacer frente a los nuevos requerimientos del entorno, entre las que deben considerar la adquisición o desarrollo de nuevas tecnologías e innovaciones.



En la tabla 6 se reúne la información para hacer los análisis comparativos de las tendencias científicas, las tendencias en patentes, las propuestas de las consultoras y los resultados de la cadena de valor para definir las tendencias tecnológicas relevantes. En esta tabla se presentan puntos de convergencia como lo es el uso de nuevos materiales, ya sea para hacerlos más duraderos, ligeros o amigables con el medio ambiente, los cuales impactarán desde el diseño hasta los servicios de mantenimiento, reparación y operaciones, utilizando la manufactura aditiva o impresión 3D para procesos dichos materiales.

Otro aspecto a considerar es el uso de la simulación e inteligencia artificial en los procesos de diseño y manufactura, lo cual supondrá una reducción en los tiempos de prototipado y contribuirá a manufacturar piezas, componentes y productos finales más seguros y resistentes.

En cuanto a las tecnologías específicas de la industria aeroespacial, la movilidad aérea avanzada es la que lleva la delantera y se prevé que para 2025 se puedan comerciales los primeros vehículos tripulados y que suponen cambiaran la forma en que las personas se transportan en las grandes ciudades.



Tabla 6
Comparación: principales productos y procesos de la industria aeroespacial en México y desarrollos tecnológicos

Actividades de acuerdo con la participación en la cadena de valor de las Pyme en México	Productos y servicios	Resultados tendencias científicas	Resultados tendencias tecnológicas	Tecnologías transversales que impactan todas las industrias	Tecnologías específicas Industria aeroespacial
Manufactura y ensamble	Componentes de ingeniería, arneses y cables, componentes de sistemas de aterrizaje, inyección y moldes de plástico, intercambiadores de calor,	Manufactura aditiva Simulación por computadora Impresión 3D Aditivos (se refiere a sustancias o materiales)	Mejoras hechas a partes de las aeronaves Uso de nuevos materiales Materiales y componentes más ligeros y con una vida	Impresión 3D – Manufactura aditiva, Blockchain, Inteligencia artificial Simulación por computadora, análisis big data en tiempo real.	Vuelos V Ingeniería Ultrafan Aviones no tripulados Aeronaves eléctricas, híbridas e hidrógeno Movilidad aérea avanzada





Actividades de acuerdo con la participación en la cadena de valor de las Pyme en México	Productos y servicios	Resultados tendencias científicas	Resultados tendencias tecnológicas	Tecnologías transversales que impactan todas las industrias	Tecnologías específicas Industria aeroespacial
	maquinados de precisión, sistemas de audio y video, aislamiento de fuselajes, producción y control de software,		útil más larga		Biocombustibles Materiales compuestos Computación cuántica Vigilancia del tráfico aéreo por satélite
Servicios de mantenimiento, reparación y operación (MRO)	Turbinas y motores, sistemas unitarios de poder, fuselajes, sistemas eléctricos electrónicos, sistemas de aterrizaje, componentes dinámicos, hélices, cubrimientos corrosión protección, arreglo y rediseño de interiores	Aditivos (se refiere a sustancias o materiales)	Mejoras hechas a partes de las aeronaves Uso de nuevos materiales Drones Nuevos combustibles Materiales y componentes más ligeros y con una vida útil más larga	Drones de mantenimiento Serpientes y escarabajos (robots para mantenimiento) Análisis de Big data	
Ingeniería y diseño	Dinámica aeroespacial, sistemas de control, dinámica de proveeduría computacional (CFD), instrumentación, simulación de vuelos, técnicas de modelos no destructivos (NDT), instrumentación virtual, procesos de datos e imágenes, sistemas de información de negocios especializados	Manufactura aditiva Simulación por computadora Impresión 3D	Mejoras hechas a partes de las aeronaves Uso de nuevos materiales Drones Nuevos combustibles Materiales y componentes más ligeros y con una vida útil más larga	Realidad virtual aumentada Impresión 3D Simulación por computadora o gemelos digitales, ciberseguridad, análisis de big data	

Fuente. Elaborado con base en: Tabla 1, los resultados de la cadena de valor y participación de México; Tabla 2, Competitividad e Innovación México, Unión Europea, PROCEI, citado en Arturo Mejía (2017); Figuras 2,3,4,5 las tendencias científicas; Gráfico 1, las tendencias en patentes; Tabla 4, cuadro comparativo tendencias científicas y tecnológicas y Tabla 5, las propuestas de las consultoras.





En la Tabla 6 se encuentran marcados las tendencias tecnológicas que coinciden con las actividades de las Pyme mexicanas, también se observó que coinciden entre sí. El análisis revela una fuerte tendencia hacia la incorporación de tecnologías como la inteligencia artificial y el uso de nuevos materiales; para el caso específico de las Pyme mexicanas, éstas en su mayoría se encuentran situadas en el rubro de manufactura y ensamble y servicios de mantenimiento, reparación y operaciones, los cuales cambiarán radicalmente en los próximos años. El uso de nuevos materiales y componentes, requerirá que las empresas adquieran nuevas habilidades y maquinaria para hacer frente a su manipulación de estos, sin dejar de lado que también se requerirá que utilicen nuevas maquinarias y tecnologías para su transformación.

En el caso de los servicios de MRO, se prevé que las nuevas aeronaves estén elaboradas con piezas y componentes cuyos materiales se desgasten en menor medida que los actuales, por lo que requerirán menos mantenimiento. También se sugiere que estos servicios se realicen mediante robots o drones, lo que impactará en el trabajo de los ingenieros y técnicos dedicados a esta labor, por ejemplo, podrán revisar una aeronave a distancia mediante el uso de drones y cámaras o realizarán trabajos a distancia utilizando robots especializados.

En cuanto a las empresas dedicadas a la manufactura, se sugiere que éstas aprovechen los beneficios de la producción masiva de bajo coste a través de la adopción de nuevas tecnologías y de Inteligencia Artificial. Se pretende que dicha producción se combine con ciclos más rápidos y con se incorporen tecnologías como la manufactura aditiva y prácticas para la reutilización o reciclaje de piezas y componentes (AIA, 2019).

Conclusiones

El objetivo de esta investigación es identificar las tendencias tecnológicas que están impulsando a la industria aeroespacial y explicar los retos que tienen las Pyme para transitar hacia estos cambios.

Identificamos dos tipos de tendencias tecnológicas, las que son transversales a todas las industrias y las que son específicas para la industria aeroespacial. Entre las primeras encontramos la inteligencia





artificial, la manufactura aditiva o impresión 3D, realidad virtual, robótica, Blockchain, simulación por computadora o gemelos digitales, todas ellas tecnologías básicas de la industria 4.0. También se identificaron tecnologías específicas de la industria aeroespacial para las Pyme mexicanas ubicadas en la cadena de valor como son: Biocombustibles y materiales compuestos.



Un reto para las Pyme será utilizar la inteligencia artificial y los grandes datos para mejorar sus productos y procesos productivos. El uso de sensores es importante ya que permite monitorear la calidad y tiempos de producción de las partes y componentes. Estos sensores pueden acumular información, inclusive gran cantidad de datos, analizados mediante programas de inteligencia artificial en tiempo real.

Las Pyme participan en los siguientes procesos: fabricación de arneses y cables, componentes de sistemas de aterrizaje, inyección y moldes de plástico, intercambiadores de calor, maquinados de precisión, sistemas de audio y video, aislamiento de fuselajes, producción y control de software, todos estos procesos pueden hacer uso de tecnologías genéricas como son la adopción de simulación por computadora o gemelos digitales en la industria aeroespacial, la cual se utiliza para disminuir costos y tiempos de prototipado de piezas y componentes y garantizar que estos sean seguros y cumplan con los estándares de calidad de la industria, por ejemplo, el software de simulación ANSYS. De la misma manera la ciberseguridad se vuelve importante para las Pyme en México ya que se necesitan proteger los sistemas productivos. La manufactura aditiva o 3D se ve como una oportunidad para reducir el costo y tiempo de manufactura al emplearla en la impresión de piezas. Los materiales compuestos pueden ser como las resinas que sustituyen partes metálicas del avión para hacerlos más ligeros. La realidad virtual aumentada está siendo ocupada en capacitación de manufactura y reparación de aviones.

Las Pyme en México participan en actividades de mantenimiento, reparación y operaciones de turbinas y motores, sistemas unitarios de poder, fuselajes, sistemas eléctricos electrónicos, sistemas de aterrizaje, componentes dinámicos, hélices, cubrimientos corrosión protección, arreglo y rediseño de interiores por lo que la inserción de robots es un reto en el transporte de materiales para apoyar los sistemas Kanban, así como para mantenimiento programado.





En ingeniería y diseño las Pyme mexicanas participan en creación de sistemas de control, proveeduría computacional (CFD), instrumentación, simulación de vuelos, técnicas de modelación no destructivas (NDT), instrumentación virtual, procesos de datos e imágenes, sistemas de información de negocios especializados por lo que la adopción de simulación por computadora disminuye costos, tiempos de prototipado, coadyuva a garantizar su seguridad y cumplir estándares.

También es importante recordar que la estrategia de diversificación de proveedores a nivel mundial y la llegada de inversión extranjera directa que está aumentando en el sector, representa una oportunidad para el mercado mexicano en 2023, por lo que es necesario contar con recursos y capacidades para cumplir con estándares de calidad, tiempos de entrega y mantener costos competitivos.



Fuentes consultadas

A21. (2023). Podrá México ser pilar de industria aeroespacial: Airbus. <https://a21.com.mx/index.php/aeroespacial/2023/05/08/podra-mexico-ser-pilar-de-industria-aeroespacial-airbus>

Aerospace Industry Associations. (2019). What's Next for Aerospace and Defense: A Vision for 2050. <https://www.aia-aerospace.org/vision-2050/>

Anatolievna. (2012). Herramientas del futuro investigador educativo: la ciencia moderna y sus funciones, Innovación educativa. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1665-26732012000200007#:~:text=Los%20conocimientos%20cient%C3%ADficos%20permiten%20prever,nuevos%20tipos%20de%20su%20organizaci%C3%B3n.

Baldwin, Richard, Tadashi, and Hitoshi. (2014). The Smile Curve: Evolving Sources of Value Added in Manufacturing. <http://www.uniba.it/ricerca/dipartimenti/dse/e.g.i/egi2014-papers/ito>.





Becerril, D. (2023). Nearshoring toma fuerza en el sector aeroespacial mexicano, <https://mexicoindustry.com/noticia/nearshoring-toma-fuerza-en-el-sector-aeroespacial-mexicano>

CEPAL. (2020). COVID-19 en América Latina y el Caribe: Impactos inmediatos en el transporte aéreo y en el mediano plazo en la industria aeronáutica. https://www.cepal.org/sites/default/files/news/files/2020_covid_e_industria_aerea.pdf

Day, G., Schoemaker, P., Gunther, R.(2001). Gerencia de Tecnologías Emergentes, Editorial Vergara Business, Buenos Aires, Argentina.

Deloitte. (2021). Perspectivas de la industria aeroespacial y de defensa para 2021. <https://www2.deloitte.com/ch/en/pages/manufacturing/articles/aerospace-and-defense-industry-outlook-2021.html>

Deloitte. (2022a). aerospace and defense industry outlook. <https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/us/Documents/manufacturing/us-eri-outlooks-2022-aerospace-defense.pdf>

Deloitte. (2022b). TechTrends 2022: Thirteen years of research. <https://www2.deloitte.com/py/es/pages/technology-media-and-telecommunications/articles/tech-trends-2022.html>

Deloitte. (2023). Aerospace and defense industry outlook. Navigating uncertain times to capitalize on change. <https://www2.deloitte.com/us/en/pages/manufacturing/articles/aerospace-and-defense-industry-outlook.html>

Fernandez-Stark, K. & Gereffi, G. (2011). Manual de Desarrollo Económico Local y Cadenas Globales de Valor, Center on Globalization, Governance & Competitiveness (CGGC), Duke University, Durham, North Carolina



Fernandez-Stark, K. & Gereffi, G. (2019). Global value chain analysis: a primer Handbook on Global Value Chains. Edward Elgar Publishing.



Gereffi, G. (1994). The Organisation of Buyer-Driven Global Commodity Chains: How U.S. Retailers Shape Overseas Production Networks. In: Gereffi, G. and Korzeniewicz, M., Eds., Commodity Clains and Global Capitalism, Praeger, Westport, 95-122.

Gereffi, G. (2001). Las cadenas productivas como marco analítico para la globalización. Problemas del Desarrollo, 32(125), 9-37.

Gereffi, G. (2005). The global economy: organization, governance and development. N. Smelser y R. Swedberg (Eds.), The Handbook of Economic Sociology (pp. 160-182). Nueva York: Princeton University.

Gereffi, G. (2018). Políticas de desarrollo productivo y escalamiento: la necesidad de vincular empresas, agrupamientos y cadenas de valor. En E. Dussel, Cadenas Globales de Valor. Metodología, Teoría y Debates. (pp. 13-44). México: Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Economía.

Gereffi, G. & Sturgeon, T. (2013). "Global Value Chain – Oriented Industrial Policy: The Role of Emerging Economies". Global Value chains in a changing world. Fung Global Institute (FGI), Nanyang Technological University (NTU) and World Trade Organization (WTO).

Gereffi, G., & Fernández-Stark, K. (2016). Global Value Chain: A primer. 2da ed. https://gvcc.duke.edu/wpcontent/uploads/Duke_CGGC_Global_Value_Chain_GVC_Analysis_Primer_2nd_Ed_2016.pdf



Humphrey, J. and Schmitz, H. (2000). Governance and Upgrading: Linking Industrial Cluster and Global Value Chain Research. Institute of Development Studies, Brighton.



IATA, (2013); Aircraft Technology Roadmap to 2050, en: <https://www.iata.org/en/programs/environment/technology-roadmap/>

Jiménez, C., (2021). Las tendencias son una tendencia. <https://carlosjimenez.info/tendenciassonunatendencia/#:~:text=Analizar%20las%20tendencias%20permitir%C3%A1%20que,una%20ventaja%20en%20el%20mercado.>

Kaplinsky, Morris & Readman, (2002), Understanding upgrading: Using value chain analysis. https://cris.brighton.ac.uk/ws/files/151841/Understanding_value_Using_Value_Chain_Analysis.pdf

KPMG International, (2019), Aviation 2030: Disruption and its implications for the aviation sector. <https://home.kpmg/xx/en/home/insights/2019/12/aviation-2030.html>

Lampert, Heper e Isina. (2023). Análisis: Detrás de la recuperación de la aviación, los proveedores luchan por mantenerse al día, en: <https://www.reuters.com/business/aerospace-defense/behind-aviation-recovery-suppliers-struggle-keep-up-2023-06-19/>

Mejía, Arturo, (2017). Encadenamientos productivos en México: La industria aeroespacial en Querétaro. Tesis para optar por el grado de Doctor en Ciencias de la Administración, Facultad de Contaduría y Administración, UNAM, México.

Organización Internacional de Transporte Aéreo. (2020). Comunicado No 12, IATA actualiza el impacto económico del COVID-19 (Urgen medidas de estímulo), en: <https://www.iata.org/contentassets/31c639da45924ad1ad41fcc42fa07fa6/2020-03-05-01-sp.pdf>





Sturgeon, T. y Gereffi, G. (2013). De Cadenas De Mercancías (commodities) a Cadenas De Valor: Construcciones Teóricas En Una época De Globalización. Eutopía. Revista De Desarrollo Económico Territorial, n.º 2 (noviembre), 11-38.

Uharte, L. (2014). Las multinacionales, agentes estratégicos del capital. Una guía para evaluar sus impactos, Barataria Revista Castellano-Manchega de Ciencias Sociales

Valdés, C., Triana, Y., Boza, J. (2019). Reflexiones sobre definiciones de innovación, importancia y tendencias. Avances, vol. 21, núm. 4, pp. 532-552, Instituto de Información Científica y Tecnológica

Valdez R, (2023). Nearshoring adelanta la recuperación aeroespacial, milenio negocios,
<https://www.milenio.com/negocios/nearshoring-adelanta-la-recuperacion-aeroespacial>

