



CENTRO DE ESTUDIOS INTERNACIONALES

**EL CAMBIO INSTITUCIONAL EN EL
SECTOR AUTOMOTRIZ DE MÉXICO
ANTE LA CUARTA REVOLUCIÓN
INDUSTRIAL**

TESIS

Que para obtener el grado de licenciado en

Política y Administración Pública

presenta

Iñaki Berenzon Flores

Directora Dra. María Fernanda Somuano Ventura

Ciudad de México, México, 2025.

AGRADECIMIENTOS

Esta tesis es el resultado de años de esfuerzo colectivo y estudio. Agradezco a mi familia, mis amigos y a toda la comunidad de El Colegio de México, particularmente al Centro de Estudios Internacionales, por los conocimientos adquiridos en mi licenciatura y por su generosidad sin la que, entre otras cuestiones, habría sido imposible fundar, junto con otros colegas, el Seminario Permanente de Política y Administración Pública (SePPAP) o realizar un intercambio académico en la Universidad Pompeu Fabra de Barcelona, España.

En especial, le agradezco a mi directora de tesis, la Dra. María Fernanda Somuano Ventura, por sus enseñanzas que serán de gran utilidad en mi desarrollo profesional y que aportaron grandes observaciones a esta investigación. También agradezco a mis lectores, el Dr. Nain Martínez y el Dr. Carlos Alba, así como a Odracir Barquera, director general de la Asociación Mexicana de la Industria Automotriz (AMIA) y a Francisco González, presidente de la Industria Nacional de Autopartes (INA), por su apertura para contribuir con este esfuerzo académico.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	5
PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN E HIPÓTESIS.....	13
¿POR QUÉ ESTUDIAR EL CAMBIO INSTITUCIONAL EN LA PRODUCCIÓN AUTOMOTRIZ EN MÉXICO?.....	14
ESTRUCTURA Y CAPITULADO.....	19
I. EL ESTADO ANTE LA DISRUPCIÓN TECNOLÓGICA TRASNACIONAL DEL AUTOMÓVIL	21
EL PAPEL DEL ESTADO ANTE EL CAMBIO TECNOLÓGICO	21
LA REGULACIÓN DEL AUTOMÓVIL EN PERSPECTIVA HISTÓRICA.....	23
VISIONES TEÓRICAS SOBRE LA DISRUPCIÓN TECNOLÓGICA, EL ESTADO Y LAS INSTITUCIONES	30
NEOINSTITUCIONALISMO, CAMBIO TECNOLÓGICO Y COSTOS DE TRANSACCIÓN	31
EL DESARROLLO TECNOLÓGICO EN CADENAS GLOBALES DE VALOR.....	39
GOBERNANZA Y REGULACIÓN TRASNACIONAL DE LA TECNOLOGÍA	42
II. EL AVANCE DE LA INDUSTRIA 4.0 EN LA PRODUCCIÓN AUTOMOTRIZ EN MÉXICO.....	52
PRODUCCIÓN DE VEHÍCULOS LIGEROS Y AUTOPARTES ANTE LA CUARTA REVOLUCIÓN INDUSTRIAL.....	54
EMPLEO Y PRODUCTIVIDAD LABORAL AUTOMOTRIZ ANTE LA CUARTA REVOLUCIÓN INDUSTRIAL.....	56
¿CUÁL ES EL AVANCE DE LA CUARTA REVOLUCIÓN INDUSTRIAL EN EL SECTOR AUTOMOTRIZ EN MÉXICO?.....	61
CATÁLOGO DE PROYECTOS AUTOMOTRICES DE INDUSTRIA 4.0 EN MÉXICO.....	64
III. EL CAMBIO INSTITUCIONAL EN LA PRODUCCIÓN AUTOMOTRIZ EN MÉXICO ANTE LA CUARTA REVOLUCIÓN INDUSTRIAL.....	71
LOS ESTÁNDARES Y LA VOCACIÓN EXPORTADORA DE LA INDUSTRIA AUTOMOTRIZ	73
LA NORMA IATF 16949:2016 Y LA CUARTA REVOLUCIÓN INDUSTRIAL	76
LA CUARTA REVOLUCIÓN INDUSTRIAL EN LA ERA ISO.....	79
DEL NACIONALISMO TÉCNICO A LA INFRAESTRUCTURA DE LA CALIDAD.....	85
IV. CONCLUSIONES.....	93
V. ANEXO A. CATÁLOGO DE PROYECTOS AUTOMOTRICES DE INDUSTRIA 4.0 EN MÉXICO	100
VI. REFERENCIAS	104

ÍNDICE DE GRÁFICAS

GRÁFICA 1. TECNOLOGÍAS INTEGRANTES DE INDUSTRIA 4.0, SEGÚN KAGERMANN Y WAHLSTER, CON DEFINICIONES DE ISO	11
GRÁFICA 2. ESTRUCTURA DE LA CADENA DE SUMINISTRO AUTOMOTRIZ EN MÉXICO	42
GRÁFICA 3. TIPOLOGÍA DE REGULACIÓN Y CO – REGULACIÓN DE MERCADOS (STEURER 2013)	45
GRÁFICA 4. INTERACCIONES, REGULACIONES HÍBRIDAS Y META - GOBERNANZA (STEURER 2013)	47
GRÁFICA 5. PRODUCCIÓN DE VEHÍCULOS LIGEROS EN MÉXICO (2005 - 2024).....	54
GRÁFICA 6. PRODUCCIÓN DE AUTOPARTES EN MÉXICO (2010 – 2023).....	55
GRÁFICA 7. EMPLEOS DIRECTOS EN LA INDUSTRIA AUTOMOTRIZ DE MÉXICO (2013 - 2022). 58	
GRÁFICA 8. VARIACIÓN ANUAL POR TRIMESTRE EN EL ÍNDICE DE PRODUCTIVIDAD LABORAL CON BASE EN PERSONAL OCUPADO DE LA INDUSTRIA AUTOMOTRIZ (2007 - 2024)	59
GRÁFICA 9. VARIACIÓN ANUAL POR TRIMESTRE EN EL ÍNDICE DE PRODUCTIVIDAD LABORAL CON BASE EN HORAS TRABAJADAS TOTALES DE LA INDUSTRIA AUTOMOTRIZ (2007 - 2024)	60
GRÁFICA 10. EMPRESAS CON PROYECTOS DE INDUSTRIA 4.0 SEGÚN SU POSICIÓN EN LA CADENA DE SUMINISTRO	67
GRÁFICA 11. TECNOLOGÍAS ASOCIADAS A INDUSTRIA 4.0 IMPLEMENTADAS EN PROCESOS DE FABRICACIÓN DE AUTOMÓVILES Y AUTOPARTES EN MÉXICO	68
GRÁFICA 12. PROYECTOS DE INDUSTRIA 4.0 EN EMPRESAS AUTOMOTRICES POR AÑO DE DIFUSIÓN (2015 - 2024).....	69
GRÁFICA 13. PORCENTAJE DE LA PRODUCCIÓN DE VEHÍCULOS LIGEROS EN MÉXICO PARA EXPORTACIÓN (2005 - 2023)	74
GRÁFICA 14. PORCENTAJE DE EXPORTACIÓN ACUMULADA DE VEHÍCULOS LIGEROS DE MÉXICO POR PAÍS DE DESTINO (2005 - 2023)	75
GRÁFICA 15. PORCENTAJE DE VENTAS INTERNACIONALES DE PARTES Y ACCESORIOS DE VEHÍCULOS AUTOMOTORES DE MÉXICO POR PAÍS DE DESTINO (2023)	76
GRÁFICA 16. MAPA DE ACTORES DEL MODELO DE GESTIÓN DE LA CALIDAD DE ISO	81
GRÁFICA 17. ESTÁNDARES ISO RELATIVOS AL USO E IMPLEMENTACIÓN DE TECNOLOGÍAS HABILITADORAS DE INDUSTRIA 4.0	82
GRÁFICA 18. EXPORTACIONES DE BIENES Y SERVICIOS EN MÉXICO COMO PORCENTAJE DEL PIB (1970 - 2023)	88

INTRODUCCIÓN

A lo largo de la historia, diversas disrupciones tecnológicas han transformado radicalmente la forma en la que los seres humanos producimos o consumimos bienes. Todos estos inventos o avances tecnológicos revolucionarios provocaron la creación o modificación de instituciones, es decir, leyes, reglamentos, normas, códigos o estándares privados cuyo objetivo principal ha sido regular la calidad y seguridad de lo que se produce o consume.

Hay amplia evidencia de que diversas disrupciones tecnológicas, como la máquina de vapor, la electricidad, el internet o el automóvil, propiciaron que el Estado, en coordinación con las empresas y la sociedad civil, establecieran reglas específicas para, por un lado, fomentar la adopción y uso generalizado de estas tecnologías y, por otro, administrar los cambios sociales o económicos aparejados con estas transformaciones tecnológicas.

Hay tecnologías disruptivas que producen efectos sociales y económicos de tal magnitud que vuelven necesaria la creación o modificación de instituciones, formales e informales, trasnacionales y/o nacionales, que den certidumbre a las transformaciones que provocan tanto en el consumo cuanto en la producción. Por ello, desde mi perspectiva, el estudio académico de las modificaciones regulatorias ante disrupciones tecnológicas es sumamente relevante y debe analizarse caso por caso porque cada nueva tecnología puede provocar efectos sociales, económicos, políticos o ambientales distintos tras su implementación o fomento generalizado.

En años recientes, una de esas últimas disrupciones tecnológicas es, sin duda, la llamada Industria 4.0 o Cuarta Revolución Industrial, un concepto originado en Alemania, que describe las características principales de la última etapa del desarrollo tecnológico industrial de la humanidad. Esta cuarta gran etapa del desarrollo industrial implica desvanecer o desdibujar, literalmente, la frontera tecnológica de lo real con lo digital para

aumentar la productividad y la flexibilidad de las fábricas. Teóricamente, es una etapa del desarrollo capitalista en la que la producción industrial integra una serie de tecnologías existentes para alcanzar grados muy elevados de automatización y digitalización.¹

El concepto teórico de Industria 4.0 fue desarrollado por los investigadores alemanes Henning Kagermann, Wolf-Dieter Lukas y Wolfgang Wahlster en 2011, en la antesala de la Feria de Hannover —una de las ferias industriales más importantes del mundo— para describir una transformación industrial de tal magnitud que es comparable con otros desarrollos tecnológicos previos, de gran impacto en las fábricas y, sobre todo, en su productividad. Kagermann, Lukas y Wahlster concibieron el desarrollo industrial en 4 grandes revoluciones que incluyen herramientas e ideas transformadoras de la producción como la máquina de vapor, el motor de combustión interna, la energía eléctrica, el taylorismo, el fordismo, el toyotismo, el *just – in - time*, la producción con diseños de computadora o la automatización en línea.²

Desde la perspectiva de estos autores, la humanidad ha alcanzado, en los inicios del siglo XXI, una nueva frontera tecnológica que teóricamente revolucionará e incrementará la productividad industrial por cuarta ocasión en la historia.³ La Industria 4.0 concebida por Kagermann *et al.* es un concepto que resume el más reciente avance tecnológico industrial que implica, entre otras cuestiones, la digitalización y automatización con alto grado de flexibilidad de la producción.

¹ Henning Kagermann y Wolfgang Wahlster, “Ten years of Industrie 4.0”, Sci, Multidisciplinary Digital Publishing Institute, Volumen 4, Número 26, 2022, pp. 1 – 10.

² El artículo en el que se habló por primera vez de la Cuarta Revolución Industrial o Industria 4.0 fue publicado en Alemania por los investigadores Henning Kagermann, Wolf-Dieter Lukas y Wolfgang Wahlster en 2011. (Henning Kagermann *et al.*, “Industrie 4.0: Mit dem Internet der Dinge auf dem Weg zur 4. Industriellen Revolution”, *VDI Nachrichten*, No. 13, 3 de mayo de 2011, consultado en https://www.dfki.de/fileadmin/user_upload/DFKI/Medien/News_Media/Presse/Presse-Highlights/vdinach2011a13-ind4.0-Internet-Dinge.pdf

³ *Ibid.*

Fuera de Alemania, la industria 4.0 es conocida con otros nombres que, más allá de sus diferencias y matices, coinciden en la idea de que el mundo vive una verdadera revolución industrial. Se trata de una nueva etapa productiva en la que, por ejemplo, los robots colaboran en las fábricas cotidianamente con humanos o en la que las máquinas de la planta envían información al mundo digital a través de sensores para alimentar sistemas capaces de simular, reproducir o modelar el mundo físico con gran precisión a través de gemelos digitales que, además, pueden predecir un paro productivo antes de que ocurra.

Como bien anota el especialista de la industria automotriz Jorge Carrillo, hay otros conceptos similares al de Industria 4.0 que varían, con matices asociados a lo social, lo regional o lo empresarial, alrededor de potencias industriales como Estados Unidos, China, Japón, Francia o Reino Unido.⁴ Así, en Francia engloban este fenómeno en la idea de las “Industrias del Futuro”, en Japón hablan de “Sociedad 5.0”, en Estados Unidos prefieren referirse a “Smart Manufacturing”, en Gran Bretaña usan “Cuarta Revolución Industrial” y en China lo resumen en “Internet Industrial”.⁵

Estas diferencias conceptuales no son menores, ya que, siguiendo las ideas de Peter A. Hall y David Soskice, reflejan modelos de desarrollo industrial ligados a distintas variedades del capitalismo, desde el enfoque más orientado al mercado de Estados Unidos hasta la planificación estratégica de China, pasando por el modelo coordinado de Alemania.

⁴ Jorge Carrillo *et al.*, “¿Podrán transitar los ingenieros a la Industria 4.0? Análisis industrial en Baja California”, *Entreciencias: Diálogos En La Sociedad Del Conocimiento*, ENES León, Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), Año 8, Número 22, México, 2020.

⁵ Empresas líderes de la transformación tecnológico-industrial emplean conceptos diferenciados, dependiendo de su país de origen. La alemana Siemens habla de “Industria 4.0”, la francesa Schneider Electric de “Industrias del futuro”, la japonesa Mitsubishi de “Sociedad 5.0”, la estadounidense Rockwell Automation de “Smart Manufacturing”, la británica AVEVA de “Cuarta Revolución Industrial” y la china Huawei de “Internet Industrial”. Los conceptos, en ocasiones, son utilizados indistintamente como sinónimos, pero tienen matices distintos que dependen, en gran medida, de factores históricos, sociales, económicos y culturales de cada país o empresa y que, sin duda, se explican por las variedades del capitalismo.

⁶ Sin embargo, independientemente de su nombre, hay una advertencia teórica, política, económica e histórica que ha sido lanzada en diversas latitudes: la producción en las fábricas, incluyendo las de automóviles y autopartes, es y será cada vez más automatizada, conectada, digital y, por tanto, más productiva.

El concepto de Industria 4.0 es uno de los más utilizados y, en gran medida, esa popularidad derivó del respaldo político y diplomático que recibió de la administración de la entonces canciller alemana Angela Merkel, representante política del sexto productor de automóviles en el mundo.⁷ A pesar de que el concepto se desarrolló inicialmente sólo con fines académicos, el gobierno de Merkel convirtió esta idea en un instrumento de la política industrial y exterior de ese país, interesada en fomentar el desarrollo tecnológico de Alemania y en expandir sus vínculos comerciales con sus principales socios industriales.⁸

Este apoyo es reconocido por organizaciones políticas de enorme trascendencia en Alemania como la Fundación Friedrich Ebert, la fundación política más antigua de ese país y vinculada al primer presidente socialdemócrata de la República de Weimar o también por la Fundación Konrad Adenauer (KAS), una organización política vinculada al partido demócrata – cristiano, que es la fuerza política que llevó al poder a la canciller Angela Merkel, quien, desde mi perspectiva, es la principal promotora de la internacionalización del concepto de Industria 4.0, desde 2011 hasta el fin de su mandato en 2021.^{9 y 10}

⁶ Peter. A Hall y David Soskice, *Varieties of capitalism: The institutional foundations of comparative advantage*, Oxford, Oxford University Press, Reino Unido, 2001.

⁷ Henning Kagermann y Wolfgang Wahlster, “Ten years of Industrie 4.0”, *op. cit.*, pp. 1 – 10.

⁸ En un artículo publicado 10 años después del ensayo inicial de 2011, Kagermann y Wahlster reconocen que, en parte, la popularización del concepto estuvo correlacionada con el respaldo político del gobierno alemán. (Henning Kagermann y Wolfgang Wahlster, “Ten years of Industrie 4.0”, *op. cit.*, p.1).

⁹ La Friedrich-Ebert-Stiftung (FES) se fundó en Alemania en 1925. Tiene oficinas en México desde 1969. Wolfgang Schroeder, ‘Germany’s Industry 4.0 strategy: Rhine capitalism in the age of digitalisation’, Fundación Friedrich Ebert, Noviembre de 2016, Alemania, pp. 1-3. Consultado en https://uk.fes.de/fileadmin/user_upload/publications/files/FES-London_Schroeder_Germanys-Industrie-40-Strategy.pdf.

¹⁰ La Fundación Konrad Adenauer, nombrada en honor al excanciller federal de Alemania en la posguerra vinculado a la democracia cristiana, inauguró sus programas de cooperación internacional desde los

El apoyo del gobierno de Merkel contribuyó a la popularización global del concepto e, incluso, a su adopción en la agenda de diversos gobiernos como el que encabezó el presidente mexicano Enrique Peña Nieto, quien, desde el Foro Económico de Davos en 2016 y la Feria de Hannover en 2018, alertó que nuestro país — una potencia manufacturera en sectores como el automotriz—, estaba inmerso en la Cuarta Revolución Industrial, a la que definió como “una era de innovación donde las tecnologías de punta están constantemente alterando la industria”.¹¹

Pero, más allá del apoyo de diversos líderes políticos, la teoría desarrollada por Kagermann *et al.* es novedosa pues plantea la convivencia cotidiana del mundo digital, asociado al ciberespacio, con el mundo real, asociado a lo físico, a través de los sistemas ciber-físicos.¹² En la Cuarta Revolución Industrial, a diferencia de las anteriores, el énfasis no está en un invento como fue el caso de la máquina de vapor, por ejemplo, sino, más bien, en la integración de diversas tecnologías previamente existentes que, en conjunto, habilitan una producción más automatizada y digital. Los teóricos que desarrollaron el concepto original introdujeron una idea central, asociada a los sistemas ciber-físicos, como la clave para proponer una nueva revolución industrial.¹³

Ante la disrupción tecnológica, los estudios sobre esta última transformación industrial se han integrado y complejizado desde diversas disciplinas que buscan comprender

años sesenta, como estudió ampliamente Soledad Loaeza. Incluso, ha promovido la sofisticación tecnológica de la manufactura mexicana hacia la Industria 4.0. (Soledad Loaeza, “La diplomacia blanda alemana. La Konrad Adenauer Stiftung y la democratización mexicana”, Revista *Foro Internacional*, Volumen XLIV-1, Centro de Estudios Internacionales, El Colegio de México, México, pp. 5 – 28 y Sara Rodríguez, “Impulsarán desarrollo sustentable industrial en México”, Revista *Mexico Industry*, 31 de enero de 2024, consultado en <https://mexicoindustry.com/noticia/impulsaran-desarrollo-sustentable-industrial-en-mexico/>).

¹¹ Enrique Peña Nieto, “Lo que la Cuarta Revolución Industrial significa para México”, Foro Económico Mundial, 21 de enero de 2016, consultado en <https://es.weforum.org/agenda/2016/01/lo-que-la-cuarta-revolucion-industrial-significa-para-mexico/>.

¹² Henning Kagermann *et al.*, “Industrie 4.0: Mit dem Internet der Dinge auf dem Weg zur 4. Industriellen Revolution”, *op cit.* p. 1.

¹³ Sabine Pfeiffer, “The Vision of “Industrie 4.0” in the Making—a Case of Future Told, Tamed, and Traded”, en *Nano Ethics: Studies of New and Emerging Technologies*, Volumen 11, 2017, pp. 107 – 121, consultado en <https://link.springer.com/article/10.1007/s11569-016-0280-3>.

las implicaciones económicas, sociales o políticas de integrar el mundo físico con el virtual en las fábricas con un mayor grado de especificidad.¹⁴ Aunque autores como Pfeiffer han criticado el concepto de Industria 4.0 por su vaguedad conceptual y la escasa precisión en torno a qué tecnologías pueden considerarse como integrantes de ésta, lo cierto es que, desde mi perspectiva, el concepto es teóricamente sólido pues se sustenta en las ideas torales de la automatización flexible y la digitalización de la producción.¹⁵

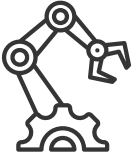
Desde el punto de vista teórico, en su primer artículo sobre el tema, Kagermann, Lukas y Wahlster no definen con precisión qué tecnologías pueden considerarse parte de la Industria 4.0. No obstante, su planteamiento central—la integración del mundo físico y digital—establece las bases de una revolución industrial en marcha a nivel global, que está impulsando la producción industrial hacia niveles sin precedentes de flexibilización, especialización y tecnificación. Además, en 2022, tras recibir varias críticas, Kagermann y Wahlster sí precisaron en un nuevo artículo qué tecnologías integran o forman parte de la Industria 4.0.¹⁶ En la siguiente tabla pueden observarse las tecnologías enlistadas por estos investigadores que conforman el campo semántico usual sobre la Cuarta Revolución Industrial. Para mayor precisión, el cuadro incluye definiciones para cada una de las tecnologías con base, principalmente, en los términos establecidos por la Organización Internacional de Normalización (ISO, por sus siglas en inglés):

¹⁴ Por ejemplo, autores como Ting Zheng *et al.* analizan una amplia variedad de tecnologías que integran la Industria 4.0 como el Internet de las Cosas, la manufactura aditiva, la manufactura en la nube, inteligencia artificial, blockchain, robótica industrial, Inteligencia Artificial o Big Data. (Ting Zheng *et al.*, “The applications of Industry 4.0 technologies in manufacturing context: a systematic literature review”, *International Journal of Production Research*, Volumen 59, No. 6, 2021, pp. 1922-1954).

¹⁵ Pfeiffer acusa que esta vaguedad conceptual es deliberada pues el concepto de Industria 4.0, más que ofrecer una idea visionaria de la industria, termina por materializarse en una idea descontextualizada del futuro, carente de contenido y con alto objetivo comercial. Incluso, esta autora considera que el futuro ofrecido por el concepto de Industria 4.0 parece más cercano a una descripción utópica y superficial de la realidad. Para Pfeiffer, el desarrollo del concepto de Industria 4.0 está más asociado con una narrativa impulsada por Alemania tras la crisis económica mundial de 2008 que con la descripción visionaria y realista del futuro próximo. (Sabine Pfeiffer, “The Vision of “Industrie 4.0”, *op.cit.*, pp. 107 – 121, consultado en <https://link.springer.com/article/10.1007/s11569-016-0280-3>).

¹⁶ Henning Kagermann y Wolfgang Wahlster, “Ten years of Industrie 4.0”, *op. cit.*, pp. 1 – 10.

Gráfica 1. Tecnologías integrantes de Industria 4.0, según Kagermann y Wahlster, con definiciones de ISO

Tecnología	Definición con base en ISO ¹⁷
 Inteligencia artificial	Conjunto de métodos o entidades automatizadas que, en conjunto, construyen, optimizan y aplican un modelo para que el sistema pueda, para un conjunto dado de tareas predefinidas, calcular predicciones, recomendaciones o decisiones. (ISO SMCC/2021).
 Robótica avanzada y robótica colaborativa	La robótica es la ciencia y práctica de diseñar, fabricar y aplicar robots. ISO define a un robot industrial como un manipulador de propósito múltiple controlado automáticamente, reprogramable, programable en tres o más ejes, que puede estar fijo en un lugar o ser móvil para su uso en aplicaciones de automatización industrial. (ISO SMCC/2021). Además, ISO define a los robots colaborativos como robots diseñados específicamente para operar en colaboración con una persona dentro del mismo espacio de trabajo. (ISO 8373:2021).
 Internet Industrial de las Cosas	El Internet Industrial de las Cosas (IIoT, por sus siglas en inglés) se define como la infraestructura de objetos, personas, sistemas y recursos de información interconectados junto con servicios inteligentes que les permiten procesar información del mundo físico y virtual y reaccionar. (ISO SMCC/2021).
 Gemelo digital	Un gemelo digital es una representación digital de una entidad o proceso particular con conexiones de datos que (1) permiten la convergencia entre los estados físico y digital a una tasa de sincronización adecuada, (2) tiene capacidades de conexión, integración, análisis, simulación, visualización, optimización y (3) proporciona una vista integrada a lo largo del ciclo de vida de la entidad o proceso. (ISO SMCC/2021).
 Sistemas ciber-físicos/ Digitalización	Los sistemas ciber-físicos son sistemas que permiten fusionar espacios reales y virtuales a través de sensores y software. ISO sostiene que los sistemas ciberfísicos integran componentes computacionales (procesamiento de información) con procesos físicos, los cuales interactúan a través de una red.

¹⁷ Para la elaboración de esta tabla, se utilizaron definiciones validadas por el Comité Coordinador de Manufactura Inteligente de ISO, recopiladas en el documento ‘*White paper on Smart Manufacturing*’. En algunos casos, las definiciones se complementaron con otras normas publicadas por ISO como ISO 8373:2021, ISO/IEC 5927:2024, ISO/IEC 22989:2022, ISO/IEC 20546:2019 e ISO/IEC 20924:2024. Para el caso del concepto de sistemas ciber – físicos, se utilizó la definición que dio ISO en el artículo ‘*Cyber-physical systems*’, publicado en su sitio web. (Smart Manufacturing Coordinating Committee, *White paper on Smart Manufacturing*, Charlotta Johnsson (ed.), International Organization for Standardization (ISO), Ginebra, Suiza, Agosto de 2021 e International Organization for Standardization (ISO), “Cyber-physical systems”, Ginebra, Suiza, consultado en <https://www.iso.org/es/home/about-iso/what-we-do/research/foresight/cyber-physical-systems.html>.

	Realidad virtual	La realidad virtual es un conjunto de condiciones artificiales creadas por computadora y dispositivos electrónicos dedicados que simulan imágenes visuales y posiblemente otra información sensorial del entorno de un usuario, con las cuales se permite que el usuario interactúe. (ISO/IEC 5927:2024).
	Realidad aumentada	La realidad aumentada es una experiencia interactiva de un entorno del mundo real en la que los objetos que residen en el mundo real son aumentados por información perceptual generada por computadora. (ISO SMCC/2021).
	Cloud computing	La computación en la nube es un paradigma para habilitar el acceso a la red a un conjunto escalable y elástico de recursos físicos o virtuales compartibles, con aprovisionamiento y administración bajo demanda mediante autoservicio. (ISO SMCC/2021).
	Edge computing	La computación en el borde es un tipo de computación distribuida en la que el procesamiento y el almacenamiento ocurren en o cerca del borde, donde la cercanía está definida por los requisitos del sistema. (ISO SMCC/2021).
	Machine Learning	El aprendizaje automático es un proceso de optimización de parámetros del modelo mediante técnicas computacionales, de modo que el comportamiento del modelo refleje los datos o la experiencia. (ISO/IEC 22989:2022).
	Infraestructura de datos	La infraestructura de datos se refiere al software y hardware que se instala para monitorear y analizar en tiempo real los datos de los equipos de manufactura en entornos totalmente digitales. ISO define a los datos como símbolo o símbolos representados de manera digital y formalizada, adecuados para la comunicación, almacenamiento, interpretación o procesamiento. (ISO/IEC 20924:2024) Otro concepto asociado es el de Big Data, que se define como conjuntos de datos extensos que requieren una tecnología escalable para su almacenamiento, manipulación, gestión y análisis de manera eficiente. (ISO/IEC 20546:2019).
	Automatización flexible	La automatización flexible es una de las características fundamentales de la Cuarta Revolución Industrial. A diferencia de la automatización fija, la automatización en la Industria 4.0 es altamente flexible pues es posible, al mismo tiempo, automatizar líneas de producción y adaptarlas a las demandas cada vez más personalizadas y cambiantes de los consumidores, sin detener o reconfigurar significativamente los procesos. (Kagermann <i>et al.</i>)

PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN E HIPÓTESIS

En esta tesis estudio los efectos de la disrupción tecnológica de la Industria 4.0 en las instituciones que regulan la producción automotriz en México. La pregunta de investigación para este trabajo es: ¿Qué efectos ha tenido la disrupción tecnológica de la Industria 4.0 en la creación o modificación de instituciones que regulan la producción automotriz en México?

La hipótesis central de la tesis es que la adopción de tecnologías asociadas a la industria 4.0 en la producción de automóviles y autopartes generó modificaciones en las instituciones formales, principalmente privadas, que regulan la producción de este sector, derivado de la necesidad del mercado de reducir la incertidumbre y los costos de transacción relacionados con esta transformación tecnológica, así como garantizar estándares de calidad y seguridad.

A lo largo de esta investigación, explicaré cómo los cambios institucionales se han dado, principalmente, en estándares internacionales emitidos por la International Automotive Task Force (IATF, por sus siglas en inglés) o la Organización Internacional de Normalización (ISO, por sus siglas en inglés). Sostendré que en la creación o cambio de estos estándares internacionales han tenido amplia influencia las compañías armadoras de vehículos que han adoptado estas regulaciones privadas porque, a diferencia de las regulaciones estatales, las normas emitidas por IATF e ISO tienen la capacidad de regular y verificar la calidad y seguridad de lo que se produce más allá de las fronteras del Estado, lo cual es particularmente relevante en una cadena transnacional de valor, como la automotriz.

El énfasis de este trabajo estuvo en la búsqueda y análisis sistemático de modificaciones en las instituciones que regulan la producción de automóviles y autopartes y en los factores internos y externos que influyeron para que esa innovación tuviera lugar en México. En ese sentido, como refiere José Luis Méndez, las instituciones que regulan la producción automotriz en México se analizan en esta investigación como una variable dependiente (VD) y la disrupción tecnológica en la producción de automóviles y sus partes como una variable independiente (VI).¹⁸ Presupongo que la variable independiente provocó — y sigue provocando — un cambio tecnológico de gran envergadura que influyó en la modificación o creación de instituciones capaces de regular una cadena transnacional de valor, como estándares o códigos internacionales, leyes generales y federales y Normas Oficiales Mexicanas (NOMs), que rigen la producción de automóviles y autopartes.

¿POR QUÉ ESTUDIAR EL CAMBIO INSTITUCIONAL EN LA PRODUCCIÓN AUTOMOTRIZ EN MÉXICO?

La elección de analizar el caso de la industria automotriz mexicana derivó de las conclusiones de estudios anteriores, como los de Jorge Carrillo, Karla Nava *et al.* o Rosa Silvia Arciniega, quienes anticiparon que empresas enfocadas en la fabricación de automóviles y autopartes en el país ya han iniciado procesos de adopción de tecnologías asociadas con la Industria 4.0 en zonas industriales de la frontera norte, particularmente en Chihuahua, Baja California o Nuevo León.^{19, 20 y 21}

¹⁸ José Luis Méndez, “La política pública como variable dependiente: hacia un análisis más integral de las políticas públicas”, *Revista Foro Internacional*, Centro de Estudios Internacionales, El Colegio de México, México, 1993, pp. 111 – 113.

¹⁹ Jorge Carrillo y Maximino Matus, “Will the Mexican Auto Parts Maquilas Be Able to Transit to I4.0?”, *Paradigma económico. Revista de economía regional*, Volumen 12, no. 2, julio 2020, pp. 39 – 61.

²⁰ Karla María Nava Aguirre *et al.*, “La incorporación de la Industria 4.0 en el sector de autopartes en Nuevo León, México”, *InnOvaciOnes De NegOciOs*, 16(32), pp. 232–270, consultado en <https://revistainnovaciones.uanl.mx/index.php/revin/article/view/304>.

²¹ Rosa Silvia Arciniega, *La Industria Automotriz. Proveedora de Autopartes en México. Restructuración productiva y relaciones de empleo*, editorial Gedisa, Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Iztapalapa, México, 2020, pp. 202 – 206.

Además, como ya ha sido ampliamente estudiado por autores como Peter Drucker o James P. Womack *et al.*, la producción de automóviles y autopartes es un mercado intensivo en tecnología y, por tanto, sus instituciones y las estrategias o comportamientos de las organizaciones que intervienen en este mercado se modifican y evolucionan constantemente para incrementar la competitividad, la calidad y la seguridad de los productos fabricados. Desde hace décadas, la automotriz es concebida, citando a Drucker, como “la industria de industrias” pues, desde la perspectiva tecnológica, es una industria que constantemente implementa innovaciones de frontera para incrementar su competitividad y asegurar la calidad de sus productos. Este historial de innovación permite presuponer que los efectos de la Cuarta Revolución Industrial se verán más acelerados en el sector automotriz, acostumbrado a la evolución tecnológica permanente.²²

De igual forma, estudiar la transformación de las instituciones que regulan la producción automotriz durante este periodo de cambio tecnológico en México es sumamente relevante para el país en términos económicos, sociales, políticos y académicos. Económicamente, la producción industrial automotriz en México es uno de los motores de desarrollo económico más importantes del país. Desde 2015 a la fecha, la industria automotriz en su conjunto contribuye con, por lo menos, 3.4% del PIB nacional y 18% del PIB manufacturero.²³ Además, genera alrededor de 980 mil empleos directos y 3.5 millones de empleos indirectos.²⁴ De igual forma, la industria automotriz es uno de los bastiones del comercio exterior mexicano y, por tanto, es un importante generador de divisas. Según datos

²² Peter Drucker, *The concept of the corporation*, John Day, 1946, en James P. Womack *et. al.* *The Machine that Changed the World: The Story of Lean Production. How Japan's secret weapon in the global auto wars will revolutionize western industry*, HarperPerennial, Harper Collins Publishers, Estados Unidos de América, 1991, pp. 11.

²³ Asociación Mexicana de la Industria Automotriz (AMIA), *Indicadores Nacionales Relacionados*, México, 2022, consultado en <https://amia.com.mx/indicadores-nacionales-relacionados1/>.

²⁴ Asociación Mexicana de la Industria Automotriz (AMIA), *Importancia de la Industria Automotriz*, México, 2022, consultado en https://amia.com.mx/publicaciones/industria_automotriz/.

de la Asociación Mexicana de la Industria Automotriz (AMIA), desde 2009 hasta 2023, México exportó al menos 80% de su producción de automóviles.²⁵ De igual manera, entre 2018 y 2023, el país exportó más de 80% de las autopartes producidas en el país, con base en cifras de la Industria Nacional de Autopartes (INA).²⁶

Socialmente, la incorporación de procesos 4.0 también implica la reformulación de las relaciones de trabajo de las personas que laboran en las plantas productivas de automóviles y autopartes pues se intensifica el uso de los sistemas ciber-físicos y la comunicación entre máquinas (M2M, por sus siglas en inglés).²⁷ Las nuevas tecnologías propician una transformación de las actividades físico-mecánicas de los operadores hacia tareas más orientadas al monitoreo, control de la calidad y optimización de la producción tras la automatización y digitalización de las líneas de ensamblaje y fabricación de componentes.²⁸

Políticamente, el estudio de las relaciones entre el Estado y la industria automotriz para la creación o modificación de instituciones y políticas públicas permite arrojar luz sobre las estrategias y procesos de negociación del gobierno mexicano con las empresas, las cámaras empresariales, los trabajadores, los sindicatos y las organizaciones de la sociedad civil que colaboran en esta industria que, siguiendo a autores como Timothy Sturgeon *et al.*, debe estudiarse como una cadena transnacional de valor que involucra a diversos países, es

²⁵ Asociación Mexicana de la Industria Automotriz (AMIA), *México en la Producción Mundial de Vehículos*, México, 2021, consultado en <https://www.amia.com.mx/about/vehiculos-mexico/>.

²⁶ Lilia González, “Producción de autopartes batió récord en 2023: INA”, *El Economista*, Sección Empresas, Miércoles 06 de marzo de 2024, consultado en <https://www.eleconomista.com.mx/empresas/Produccion-de-autopartes-batio-record-en-2023-INA-20240306-0084.html>

²⁷ Henning Kagermann y Wolfgang Wahlster, “Ten years of Industrie 4.0”, *op. cit.*, pp. 01 – 10.

²⁸ *Ibid.*

decir, a una serie de organizaciones político-administrativas que deben coordinarse, bajo un esquema de gobernanza, más allá de sus fronteras o territorios.²⁹

En ese sentido, el estudio de este proceso también permitió ampliar nuestro conocimiento acerca de la regulación de cadenas transnacionales de valor en las que, al mismo tiempo, bajo un mecanismo de gobernanza híbrida, coexisten normas privadas y públicas con distintos niveles de alcance y relevancia como los estándares de IATF e ISO, las leyes mexicanas de infraestructura de la calidad y seguridad vial, las Normas Oficiales Mexicanas (NOMs), así como las disposiciones de comercio exterior. Además, la producción y tránsito de millones de automóviles se ha convertido, cada vez más, en un asunto de interés público en todo el mundo. Garantizar la seguridad de las personas en su tránsito por el espacio público, así como promover su movilidad en el territorio en condiciones de seguridad, son responsabilidades prioritarias del Estado contemporáneo.

Académicamente, profundizar en el estudio de las instituciones que regulan la producción automotriz es relevante pues abona a mejorar nuestro entendimiento sobre los mecanismos mediante los que los gobiernos, la industria automotriz y las organizaciones internacionales de estandarización interactúan para establecer procesos de negociación y/o cooperación desde una perspectiva de economía política. Además, este estudio contribuye a ampliar nuestro conocimiento sobre cómo las disrupciones tecnológicas influyen en las instituciones privadas y públicas.³⁰

²⁹ Timothy Sturgeon, “Value chains, networks and clusters: reframing the global automotive industry”, *Journal of Economic Geography*, Volumen 8, Número 3, Mayo de 2008, pp. 297–321.

³⁰ Ramírez asegura que las teorías de economía política son muy útiles para el estudio de industrias como la automotriz. Pablo Eduardo Ramírez Miramontes, *Economía política de la industria automotriz en México*, Tesis de Licenciatura en Relaciones Internacionales, El Colegio de México, Centro de Estudios Internacionales, México, 2010.

Aunque autores como Jorge Carrillo o Karla Nava *et al.*, ya han estudiado el nivel de conocimiento e implementación de tecnologías asociadas con la industria 4.0 en el sector automotriz en ciertas regiones del país como Baja California, Chihuahua o Nuevo León, poco sabemos todavía en términos académicos acerca de los cambios regulatorios que ha provocado la Cuarta Revolución Industrial en el sector automotriz.³¹ y ³² En ese sentido, esta investigación mostró que los cambios regulatorios sí han existido, principalmente para garantizar la seguridad y calidad de lo producido, pero han sido impulsados, sobre todo, desde el sector privado mediante estándares como los establecidos por organizaciones como IATF e ISO en el que ciertas compañías armadoras y tecnológicas tienen niveles elevados de influencia. En contraposición, el sector público mexicano, salvo algunas excepciones puntuales, ha enfocado sus esfuerzos en la normalización administrativa y en promover la infraestructura de la calidad, así como en diversas acciones muy limitadas de comercio exterior y capacitación laboral.

Esta investigación contribuye al entendimiento académico de la regulación tecnológico-productiva de frontera en México pues demuestra que, en este caso, el Estado mexicano ha focalizado sus esfuerzos industriales en proveer a las compañías productoras de un marco regulatorio de normalización e infraestructura de la calidad que permita la integración industrial del país en complejas y diversificadas cadenas transnacionales de valor con fines, principalmente, de exportación a través de estándares internacionales como los que establecen IATF e ISO.

³¹ Jorge Carrillo *et al.*, “¿Podrán transitar los ingenieros a la Industria 4.0? Análisis industrial en Baja California”, *op. cit.* México, 2020.

³² Karla María Nava Aguirre *et al.*, “La incorporación de la Industria 4.0 en el sector de autopartes en Nuevo León, México”, *Op Cit.* pp. 232–270.

Metodológicamente, para responder a la pregunta de investigación, me centré en el análisis de regulaciones internacionales como las normas IATF 16949:2016 e ISO 9001, así como regulaciones nacionales como la Ley de Infraestructura de la Calidad y Ley General de Seguridad Vial. Además, también realicé diversas entrevistas con actores clave de este proceso. En particular, entrevisté a Odracir Barquera, director general de la Asociación Mexicana de la Industria Automotriz (AMIA), que agrupa a 22 armadoras y a Francisco González, presidente de la Industria Nacional de Autopartes (INA), que engloba a más de 700 compañías productoras de partes para vehículos automotores.^{33 y 34}

Teóricamente, recurrí a estudios que analizan la regulación de disrupciones tecnológicas desde visiones de economía política internacional, historia económica, así como al neoinstitucionalismo, los análisis sobre cadenas globales de valor y las investigaciones que se enfocan en el estudio de complejos sistemas de gobernanza transnacional en el que convergen intereses de gobiernos, empresas y organizaciones de la sociedad civil con distintos niveles de jerarquía, influencia y relevancia.

ESTRUCTURA Y CAPITULADO

La tesis se compone de cuatro breves capítulos breves. En el capítulo I, examiné la regulación de la producción automotriz en México desde una perspectiva histórica, con el propósito de comprender cómo se han creado y validado las instituciones—actualmente privadas e internacionales—que regulan la fabricación de automóviles en el país. Asimismo, exploré distintos enfoques teóricos que permiten analizar los efectos de la disrupción tecnológica en las instituciones transnacionales que regulan la producción de automóviles y sus partes.

³³ Odracir Barquera, *Entrevista cualitativa*, AMIA, 12 de abril de 2024, Ciudad de México, México.

³⁴ Francisco González, *Entrevista cualitativa*, INA, 19 de febrero de 2024, Ciudad de México, México.

En el capítulo II, investigué el avance de la adopción tecnológica 4.0 en las fábricas de producción de automóviles y autopartes en México en los últimos años. En este apartado, con base en información publicada en medios de comunicación y estudios académicos previos, elaboré un Catálogo de Proyectos Automotrices 4.0 en México en el que identifiqué 46 compañías productoras de automóviles y autopartes establecidas en el país que ya han incorporado tecnologías asociadas a la industria 4.0 en sus procesos. Este Catálogo es un primer esfuerzo académico por medir el grado de adopción de tecnologías avanzadas en procesos específicos de una de las industrias más importantes para la economía nacional.

Después, en el capítulo III, analicé los cambios en instituciones privadas y públicas que regulan la producción automotriz en el ámbito nacional. Principalmente, analicé normas internacionales privadas emitidas por IATF e ISO y reflexioné acerca de las razones que pudieron motivar modificaciones regulatorias en estos sistemas de gobernanza híbrida transnacional. Además, estudié cómo estas certificaciones internacionales se homologan actualmente con leyes nacionales como la Ley de la Infraestructura de la Calidad, la Ley General de Seguridad Vial o diversas Normas Oficiales Mexicanas (NOMs). En ese sentido, expliqué y mostré que este arreglo institucional, basado en la regulación delegada, es un acuerdo político – económico que unifica a todas las fuerzas políticas del país por las ventajas comerciales que ofrece a México. Por último, en el capítulo IV hice un recuento de las principales conclusiones de esta investigación y hago un llamado a continuar los estudios sobre los efectos de la llamada Cuarta Revolución Industrial en la regulación de cadenas productivas globales.

I. EL ESTADO ANTE LA DISRUPCIÓN TECNOLÓGICA TRASNACIONAL DEL AUTOMÓVIL

EL PAPEL DEL ESTADO ANTE EL CAMBIO TECNOLÓGICO

La tecnología es un área relevante de investigación desde diversas perspectivas y teorías asociadas con la ciencia política, la administración pública, la economía y la historia económica porque, usualmente, la masificación de una disrupción tecnológica implica la necesidad de alcanzar acuerdos entre diversos actores integrantes de una misma sociedad como autoridades, empresas, sindicatos, asociaciones civiles, centros de investigación y universidades, así como establecer legislaciones e infraestructuras necesarias para el desarrollo de una actividad económica específica como la producción de automóviles y autopartes.

La innovación tecnológica es un asunto eminentemente político y económico pues el ejercicio del poder puede favorecer o perjudicar a una tecnología sobre otra y, por ende, beneficiar o afectar a sectores económicos específicos. La acción estatal puede propiciar la coordinación y el acuerdo entre los actores involucrados en la cadena de suministro para favorecer la producción y consumo de ciertas tecnologías o, a la inversa, es posible que el Estado contribuya a la reducción en el uso de algunas tecnologías con medidas como aranceles, impuestos, multas o campañas.

Si lo analizamos en perspectiva histórica, al Estado le ha interesado coordinarse con las empresas y la sociedad civil ante el cambio tecnológico porque, en diversas ocasiones, como ocurrió con los automóviles, el consumo generalizado y cotidiano de una nueva tecnología ha provocado externalidades negativas, como el incremento en los accidentes viales o la contaminación atmosférica, que, al acumularse o masificarse, requirieron la intervención pública para emitir disposiciones que permitieran su producción y circulación en condiciones de seguridad y orden.

En este contexto, hay amplia evidencia de que el Estado, en diversos periodos históricos, ha favorecido la producción y consumo de tecnologías específicas y el desarrollo de ciertos mercados sobre otros. Un sector en el que resulta muy evidente el papel del Estado ante el cambio tecnológico es el transporte. En distintos periodos históricos, el Estado ha impulsado determinados medios de transporte—como automóviles, trenes, aviones, barcos o bicicletas—mediante regulaciones, incentivos y el desarrollo de infraestructura, modificando las dinámicas de producción y consumo de los medios que nos permiten trasladarnos de un lugar a otro.

Por tanto, la regulación de la producción de automóviles y autopartes es un ejemplo histórico de la importancia de la coordinación entre diversos actores públicos y privados, nacionales y transnacionales, sujetos a un arreglo institucional, para el desarrollo de una actividad económica e industrial en constante transformación o evolución tecnológica. El recuento histórico de cómo el Estado mexicano ha regulado la producción de la industria automotriz, en coordinación con el sector privado nacional e internacional, es relevante para los objetivos de esta investigación sobre la Cuarta Revolución Industrial pues muestra cómo el surgimiento, desarrollo y uso generalizado de la tecnología disruptiva del automóvil influyó en la creación o modificación de instituciones públicas y privadas y en la acción e intervención del Estado para regular su producción y consumo.

LA REGULACIÓN DEL AUTOMÓVIL EN PERSPECTIVA HISTÓRICA

LAS PRIMERAS REGULACIONES AUTOMOTRICES EN MÉXICO (1895 – 1930)

En 1895, por las calles de la Ciudad de México, circuló el primer automóvil en territorio nacional sin leyes o políticas que regularan su tránsito y, aún menos, su producción. Según reportes de la prensa, un ciudadano condujo por primera vez en el país un vehículo de la marca francesa Delaunay Belleville sin que el gobierno mexicano emitiera un reglamento que estableciera los límites de velocidad, la obligatoriedad de una licencia de conducir o especificaciones sobre el color de las luces que debía tener el vehículo al frente y atrás.³⁵

Se trató de un hecho tan sorprendente que los medios de comunicación calificaron al automóvil como un “carruaje misterioso”. A pesar de no ser tan veloces como un vehículo del siglo XXI, estos automóviles, que podían desplazarse a un límite de velocidad de tan sólo 16 km/h, pronto causaron una serie de problemas sociales que los posicionaron en el interés de la comunidad y en la mira del gobierno.³⁶ Con el paso de los años, fue evidente para la sociedad y el gobierno mexicano que la circulación del automóvil influía en la mortalidad por accidentes viales y propiciaba embotellamientos cada vez más frecuentes y extensos.³⁷ También existía la duda razonable de la sociedad de si los conductores se capacitaban adecuadamente para manejar esos carruajes que, en vez de usar la fuerza de los caballos, se movían con un motor de combustión interna.

³⁵ Luis Vilchis, “El primer auto que llegó a México ¿Cómo era y cuánto costaba?”, *El Universal*, Sec. Autopistas, 15 de junio de 2021, México, consultado en <https://www.eluniversal.com.mx/autopistas/el-primer-auto-que-llego-mexico-como-era-y-cuanto-costaba/>.

³⁶ *Ibid.*

³⁷ David Arellano, Víctor Figueras y Walter Lepore, en un estudio sobre la política de tránsito en la Ciudad de México, establecen que los dos principales problemas asociados con el crecimiento en el uso de vehículos en las urbes son los congestionamientos viales y los accidentes de tránsito que provocan muertos o heridos y daños a bienes materiales e infraestructura urbana. David Arellano *et. al*, *Política de tránsito en el DF de México: una introducción a su estudio empírico*, Documento de Trabajo, Centro de Investigación y Docencia Económicas (CIDE), México, 2011, pp. 5, consultado en <http://repositorio-digital.cide.edu/handle/11651/754>.

Para 1895, en pleno Porfiriato, a pesar de que en Europa el alemán Karl Benz había vendido y patentado la primera unidad de su *motorwagen* en 1886, no había ningún tipo de ley o reglamento que regulara el uso de los automóviles en la vía pública pues, para la época, no había ninguno en circulación en México.³⁸ Tampoco había señalización vial ni semáforos, ni programas ambientales que restringieran temporalmente el uso de los automóviles según las condiciones del aire como el programa *Hoy No Circula* de la Ciudad de México.

Esta anomia social o ausencia de normas, en términos de Durkheim, duró varios años en los que se incrementaron las fatalidades e incomodidades hasta lo insostenible social y políticamente.³⁹ Con algunos años de retraso, estos coches detonaron el surgimiento de los primeros reglamentos de tránsito, principalmente por la presión que ejercía la ciudadanía hacia el gobierno, ante el aumento en los accidentes de tránsito con consecuencias fatales, que antes no ocurrían, pero que eran reportados con regularidad por la prensa de la época.⁴⁰

³⁸ Mario García Bartual, “Karl Benz y la creación del primer automóvil”, *Revista Historia y Vida*, La Vanguardia, 25 de noviembre de 2019, España, consultado en <https://www.lavanguardia.com/historiayvida/historia-contemporanea/20191125/471783996973/karl-benz-automovil.html>.

³⁹ El sociólogo Émile Durkheim introdujo a las ciencias sociales el concepto de anomia en sus afamados textos *La División Social del Trabajo* y *El Suicidio*, publicados en 1893 y 1897, respectivamente. Para Durkheim, la anomia, que significa “ausencia de normas”, es un factor clave para comprender el fenómeno social del suicidio. La anomia social y, por consiguiente, los suicidios, según este autor, se exacerbaban con la creciente división social del trabajo de las sociedades industrializadas. En su libro, *La División Social del Trabajo*, publicado en 1893, Durkheim advirtió que el mundo económico cada vez más industrializado se encontraba en un estado de anomia jurídica y moral.

⁴⁰ Como ejemplo de esta presión ciudadana hacia el gobierno para regular las interacciones viales, en 1906, el periódico *El Tiempo* publicó una carta, dirigida al entonces gobernador del Distrito Federal Guillermo Landa y Escandón, en la que, tras un fatal accidente cerca de la calle Reforma, se le exigía que incrementara el número de policías a la entrada de las calzadas para inducir a los automovilistas a reducir la velocidad, así como a dictar medidas más enérgicas para evitar que los peatones invadieran las avenidas. “Las calzadas se ven constantemente, sobre todo los días feriados, traficadas por peatones, que contravienen una orden que nadie les obliga a obedecer”, se quejaron ciudadanos en la carta. (Dionisio González, “Al Señor gobernador del Distrito”, *El Tiempo*, Año XXIV, Núm. 7834, México, jueves 29 de noviembre de 1906).

Fue hasta la primera década del siglo XX que el gobierno del Distrito Federal, sumamente presionado por la sociedad, promulgó el primer Reglamento para la Circulación de Automóviles en la capital del país. Poco a poco, el Estado impulsó una serie de normas de uso obligatorio que buscaban reducir la probabilidad de afectaciones sociales y económicas asociadas a esta innovación tecnológica, cada vez más popular entre la población del siglo XX, por su eficacia para acortar distancias y brindar más autonomía, libertad y comodidad en los traslados que los trenes de pasajeros de la época, los carruajes y los caballos.⁴¹

El primer reglamento vial mexicano se trató de un modesto código de 16 artículos expedido por el gobierno del Distrito Federal que, entre otros asuntos, regulaba los límites de velocidad e imponía la obligación de todos los conductores de tramitar y pagar una licencia de conducir.⁴² Asimismo, establecía obligaciones para que los vehículos tuvieran placa trasera, luces blancas al frente y rojas atrás, así como una trompetilla o timbre sonoro para anunciar su paso en cruces de calles o calzadas.⁴³

Para cuando se expidió esta regulación, en la Ciudad de México no circulaban más de 200 automóviles.⁴⁴ Pasó casi una década desde el primer día en que se utilizó el primer coche hasta que el Estado reguló su uso por primera vez. La presión ciudadana ante las fatalidades y los congestionamientos, aunados al rápido crecimiento de la demanda de esta

⁴¹ Erik Eckermann, “The Pioneering Era and Coming of Age—1885 to 1918”, *World History of the Automobile*, Society of Automotive Engineers, Pennsylvania, Estados Unidos, 2001, pp. 25 – 78.

⁴² Reglamento para la Circulación de Automóviles de la Ciudad de México, 25 de agosto de 1903, México. Transcripción de Diego Antonio. Consultado en <https://es.scribd.com/document/443797543/Reglamento-para-la-circulacion-de-automoviles-expedido-en-1903#>.

⁴³ Pablo Serrano Álvarez, *Porfirio Díaz y el Porfiriato. Cronología (1830 – 1915)*, Instituto Nacional de Estudios Históricos de las Revoluciones de México, México, 2012, pp. 222. Consultado en https://inehrm.gob.mx/work/models/inehrm/Resource/437/1/images/porfirio_porfiriato.pdf.

⁴⁴ Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), “Estadísticas a propósito del Día del Mecánico Automotor”, INEGI, 22 de febrero de 2016, México. Consultado en https://www.inegi.org.mx/contenidos/saladeprensa/aproposito/2016/mecanico2016_0.docx.

revolucionaria tecnología, propiciaron la creación de este primer reglamento de tránsito, una institución que ha evolucionado con el paso del tiempo, hasta convertirse en el actual Reglamento de Tránsito, integrado por más de 70 artículos.⁴⁵

LAS REGULACIONES DURANTE LA INDUSTRIALIZACIÓN TEMPRANA DEL SECTOR AUTOMOTRIZ (1930 – 1980)

El creciente interés del Estado por establecer las características o requisitos mínimos que debe tener un automóvil para circular en nuestro país se puede ver claramente reflejado en la evolución de la norma que regula el tránsito de los vehículos en CDMX. La creciente complejidad de la norma de tránsito capitalina confirma que el uso de automóviles se convirtió en un asunto de interés para el Estado contemporáneo, sobre todo porque, como bien refiere Eckermann, su uso privado se masificó a lo largo del siglo XX en todo el mundo, porque se posicionó socialmente como un símbolo de estatus y clase.⁴⁶

Fue hasta inicios de la década de los años treinta del siglo XX cuando el Estado intervino en la regulación de la producción local de vehículos que, inicialmente, involucró a compañías estadounidenses que establecieron líneas de ensamble en México como Ford, General Motors y Chrysler. Tras la crisis económica de 1929, el gobierno mexicano comenzó a implementar políticas proteccionistas que favorecían la industrialización nacional, sentando las bases de lo que después se consolidaría entre los años cuarenta y ochenta como el modelo de Industrialización por Sustitución de Importaciones (ISI), una estrategia industrial que se mantuvo vigente hasta la apertura comercial de México con el inicio de la época neoliberal.⁴⁷

⁴⁵ Para este trabajo de investigación, la versión revisada del Reglamento de Tránsito de la Ciudad de México fue la que incluye la modificación publicada el 10 de agosto de 2023 en la Gaceta Oficial de la Ciudad de México, consultado en <https://www.ssc.cdmx.gob.mx/storage/app/media/Transito/Actualizaciones/Reglamento-de-Transito-CDMX.pdf>.

⁴⁶ Erik Eckermann, “The Pioneering Era and Coming of Age—1885 to 1918”, *Op Cit.* pp. 25 – 78.

⁴⁷ Francisco Zapata *et al.*, “La fase de las ensambladoras: desde 1920 hasta finales de la década de 1950-1960”, *La reestructuración industrial en México: el caso de la industria de las autopartes*, Centro de Estudios Sociológicos, El Colegio de México, México, pp.37 y 38.

Durante el modelo ISI, el gobierno mexicano estableció medidas arancelarias y niveles mínimos de contenido nacional a los automóviles que se ensamblaban y circulaban en el territorio nacional para propiciar una mayor industrialización del país que, tras la Revolución mexicana, buscaba transitar, por lo menos en el discurso, de un modelo económico primordialmente agrario a un modelo más industrial. Para alcanzar este objetivo, durante varias décadas, el gobierno mexicano protegió la industria nacional mediante decretos que imponían aranceles o establecían altos porcentajes de contenido nacional a los automóviles que se ensamblaban en México.⁴⁸

En este periodo, un hito regulatorio relevante ocurrió en 1962 cuando el gobierno del presidente López Mateos emitió un decreto para fortalecer la industria automotriz nacional dentro del modelo ISI. Como analiza Juan-Pablo Calderón, esta medida prohibió la importación de motores y conjuntos mecánicos armados para el ensamble de vehículos y camiones, estableció un mínimo de 60% de contenido nacional en los automóviles ensamblados en México y limitó la participación del capital extranjero en empresas de autopartes. El decreto tenía como objetivo impulsar industrias nacionales clave para la producción automotriz, como la mecánica, eléctrica y de fundición, así como reducir la dependencia de insumos importados. Además, buscaba diversificar el sector, hasta entonces controlado por las llamadas ‘tres grandes de Detroit’.⁴⁹

Si bien el decreto de López Mateos no abrió el mercado en términos de libre competencia, sí incentivó la instalación de nuevas ensambladoras extranjeras que debían cumplir con las regulaciones para operar en México. Bajo este esquema, fabricantes como la alemana Volkswagen y la japonesa Nissan establecieron plantas en el país, alineándose con

⁴⁸ Francisco Zapata *et al.*, “La fase de las ensambladoras: desde 1920 hasta finales de la década de 1950-1960”, *op. cit.*, pp.37 – 52.

⁴⁹ Juan Pablo Castañón, “El decreto automotriz de 1962”, *Revista Este País*, 25 de agosto de 2023, consultado en https://estepais.com/tendencias_y_opiniones/decreto-automotriz-1962/.

las exigencias del decreto. ⁵⁰ Zapata *et al.* coinciden que, en términos productivos, el Estado mexicano intervino, desde que se establecieron las primeras compañías en el país, para fomentar el ensamblaje local o para favorecer, en la década de los años sesenta, la especialización y diferenciación entre la industria terminal y de autopartes, así como regular el porcentaje de contenido nacional de los vehículos producidos en México. ⁵¹

LA APERTURA COMERCIAL Y LA MASIFICACIÓN DE LOS ESTÁNDARES (1980 – 2025)

En los años setenta y ochenta, el Estado mexicano, particularmente a través del gobierno federal, como refiere Zapata, fue esencial para reestructurar a un sector automotriz cada vez más interesado en transitar, sobre todo después de la llamada crisis fiscal del Estado, hacia una economía más abierta, integrada a la globalidad y, sobre todo, sustentada en la búsqueda intensiva de inversiones extranjeras que contribuyeran a incrementar la capacidad exportadora de México. ⁵²

Ante la liberalización comercial, el Estado impulsó una estrategia que cedió la regulación productiva a estándares internacionales y se concentró en promover las leyes de normalización y metrología, así como en fortalecer las capacidades exportadoras de la industria automotriz local. Esta visión industrial del Estado mexicano se ha mantenido hasta la fecha e incluso intensificado con la firma de tratados de libre comercio con socios estratégicos como Estados Unidos, Canadá o la Unión Europea.⁵³ Sin duda, esta política industrial favoreció a la industria automotriz pues, actualmente, los automóviles y sus partes son el producto más exportado en México, incluso por encima del petróleo o el tequila.⁵⁴

⁵⁰ *Idem.*

⁵¹ Francisco Zapata *et al.*, “La fase de las ensambladoras: desde 1920 hasta finales de la década de 1950-1960”, *op. cit.*, pp.37 – 52.

⁵² *Idem.*

⁵³ Jordy Micheli Thirion, *Nueva manufactura, globalización y producción de automóviles en México*, Facultad de Economía, Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), México, 1994, pp. 13 – 29.

⁵⁴ Según cifras de Data México, un portal de la Secretaría de Economía, en 2023, los automóviles fueron el principal producto exportado del país con 10.1% del total de las ventas internacionales. En segundo lugar se ubicaron las partes y accesorios de vehículos automotores con 7% del total. Estas cifras pueden

Durante este periodo, las certificaciones transnacionales se volvieron indispensables para habilitar la firma de acuerdos de libre comercio, como reconoce la propia ISO.⁵⁵ De hecho, las certificaciones y estándares internacionales emitidos por organismos como ISO adquirieron una relevancia especial en esta última etapa del capitalismo global. Su uso generalizado se volvió indispensable para el desarrollo de cadenas productivas manufactureras con fines de exportación.

En las últimas décadas, la industria automotriz ha adoptado el uso de estándares transnacionales de gestión de la calidad que se superponen a regulaciones nacionales en la producción industrial. Estos estándares son la base del comercio internacional actual, como establece la propia Organización Mundial del Comercio que ha dicho que, “sin estándares internacionales, habría menos comercio internacional, mucha menos prosperidad mundial, muchos menos mercados para los exportadores y mucha menos variedad para los consumidores”.⁵⁶

Paralelamente a la consolidación de este sistema de regulación técnica transnacional, en el que el Estado mexicano cedió su capacidad regulatoria a terceros especializados con fines comerciales, la industria automotriz inició, en la segunda década del siglo XXI, un proceso de cambio tecnológico asociado a la Cuarta Revolución Industrial. Esta disrupción tecnológica involucra la incorporación e integración de tecnologías previamente existentes, como la inteligencia artificial, el Internet de las Cosas o la robótica colaborativa, en las líneas de fabricación de automóviles y autopartes.

consultarse

aquí:

<https://www.economia.gob.mx/datamexico/es/profile/geo/mexico?growthProductInegi=tradeOption0&monthProductsInegi=202403>

⁵⁵ International Organization for Standardization (ISO), *ISO standards enable free and fair trade*, consultado en <https://capacity.iso.org/home/projects/trade.html>.

⁵⁶*Ibid.*

A pesar de que este proceso de disrupción tecnológica aún está en desarrollo, la regulación técnica automotriz sigue basándose en estándares privados, lo que ha limitado la intervención directa del Estado en la regulación de las nuevas tecnologías para la producción automotriz. Así, la exacerbada liberalización comercial, que implicó la cesión estatal de la capacidad regulatoria a entidades privadas con fines comerciales, coincide con una disrupción tecnológica sin precedentes, en la que un conjunto de tecnologías—al menos teóricamente—habilitan una producción de automóviles y autopartes más digitalizada y automatizada y, por tanto, más productiva.

VISIONES TEÓRICAS SOBRE LA DISRUPCIÓN TECNOLÓGICA, EL ESTADO Y LAS INSTITUCIONES

Desde mi perspectiva, la Cuarta Revolución Industrial es una disrupción tecnológica en los términos definidos por Clayton Christensen, quien establece que una disrupción tecnológica es un proceso de cambio tecnológico que aporta al mercado una propuesta de valor muy diferente de la que existía anteriormente. Para Christensen, es posible que, ocasionalmente, emerjan tecnologías capaces de producir cambios relevantes en un mercado porque su uso es una alternativa más barata, más sencilla, más pequeña y, con frecuencia, más cómoda de utilizar que las soluciones existentes en el mercado.⁵⁷ Para Christensen, la esencia de una disrupción tecnológica está en su capacidad para crear nuevos mercados y reemplazar modelos de negocio existentes en las compañías.⁵⁸

La disrupción tecnológica se distingue del concepto de ‘transformación tecnológica’, analizado por Richard R. Nelson y Sidney G. Winter, quienes lo definen como un proceso evolutivo en el que la tecnología avanza de manera acumulativa a lo largo de trayectorias

⁵⁷ Clayton M. Christensen, *The innovator's Dilemma: When New Technologies Cause Great Firms to Fail*, Harvard Business School Press, Boston, Massachusetts, Estados Unidos, 1997, 211 p.

⁵⁸ *Idem*.

naturales, impulsadas por conocimientos previos y dinámicas de mercado.⁵⁹ La transformación tecnológica implica una evolución continua de las tecnologías y procesos mientras que la disrupción, en los términos de Christensen, supone saltos discontinuos que crean nuevos mercados. Así, la disrupción tecnológica es repentina y ocasional y es capaz de desplazar a empresas establecidas si no se adaptan al cambio, mientras que la transformación tecnológica que analizan Nelson y Winter es un proceso gradual de adaptación y mejora continua.

En las siguientes páginas, analizo diversas perspectivas teóricas que ayudan a comprender cómo se crean y transforman las instituciones que regulan actualmente la producción de automóviles y autopartes. Para ello, retomo las aportaciones del neoinstitucionalismo sobre costos de transacción, los enfoques de cadenas globales de valor y las teorías de gobernanza, fundamentales para entender la estructura de la cadena automotriz y los mecanismos público – privados de regulación técnica transnacional.

NEOINSTITUCIONALISMO, CAMBIO TECNOLÓGICO Y COSTOS DE TRANSACCIÓN
Las disrupciones tecnológicas producen externalidades positivas y negativas. Sin embargo, en su etapa de desarrollo e implementación temprana, no se conoce el alcance de sus efectos con precisión, lo que provoca una gran incertidumbre entre los participantes del mercado. Teóricos del neoinstitucionalismo, como el economista Douglass North, estudiaron cómo ciertas instituciones promovidas por el Estado, como las patentes, los contratos o los reglamentos internos, contribuyeron a reducir esta incertidumbre en la Primera Revolución Industrial, facilitando la innovación, el comercio y el desarrollo de más tecnologías.

⁵⁹ Richard Nelson y Sidney Winter, *An Evolutionary Theory of Economic Change*, Harvard University Press, Estados Unidos, 1982, pp. 258.

North ganó el Premio Nobel de Economía en 1993 por demostrar, entre otras cuestiones, que el Estado es un actor clave o central en el proceso de regulación y fomento de nuevas tecnologías y modelos de producción. Al analizar el cambio institucional en la Primera Revolución Industrial, que implicó una disrupción tecnológica de gran envergadura, North mostró que el Estado fue clave en el fomento y regulación de tecnologías disruptivas a través del establecimiento de un sistema de patentes, la verificación de contratos y la sanción o mediación ante incumplimientos de los acuerdos entre los agentes económicos que son, usualmente, los productores de las innovaciones.

Sin duda, las aportaciones teóricas del neoinstitucionalismo económico al estudio de las disrupciones tecnológicas y al cambio institucional son relevantes para esta investigación, principalmente porque algunos de sus postulados o conclusiones centrales derivaron del estudio de los efectos institucionales que provocó la Primera Revolución Industrial y que, desde mi perspectiva, son útiles para analizar posibles cambios institucionales asociados con la Cuarta Revolución Industrial.

North definió cómo las instituciones formales e informales influyeron en el desempeño económico de diversas sociedades y, sobre todo, cómo esas instituciones evolucionaron a lo largo del tiempo en periodos de disrupción tecnológica.⁶⁰ North planteó una nueva teoría económica, en contraposición a la economía neoclásica, en la que reivindicó la importancia de las instituciones estatales para regular las interacciones de las organizaciones que conforman el mercado. Estas contribuciones teóricas, críticas de la posición neoclásica que abogaba por una liberalización exacerbada y la minimización del Estado, lo convirtieron en un referente del neoinstitucionalismo económico.⁶¹

⁶⁰ Douglass C. North, *Institutions, Institutional Change and Economic Performance*, Cambridge University Press, Reino Unido, 2002.

⁶¹ En octubre de 1993, Douglass C. North fue galardonado, junto con Robert W. Fogel, con el Premio Nobel de Economía.

Según North, ante disrupciones tecnológicas, las instituciones reducen la incertidumbre y fomentan la cooperación de los agentes económicos⁶² Estas instituciones, formales e informales, privadas o públicas, proporcionan una estructura estable para las interacciones humanas y, en términos económicos, definen y limitan el conjunto de elecciones de los individuos y/o las organizaciones.⁶³ North distingue a las instituciones de las organizaciones. Precisa que las instituciones son las “reglas del juego” (estándares, normas, leyes, códigos de conducta o acuerdos) mientras que las organizaciones son agrupaciones de individuos que participan de ese juego. Para North, hay organizaciones políticas, económicas y sociales que interactúan en diversos juegos y que requieren de las instituciones para reducir la incertidumbre y los costos de transacción.⁶⁴

Los costos de transacción y los derechos de propiedad implicaron modificaciones sustanciales a la teoría económica neoclásica.⁶⁵ Los neoinstitucionalistas pusieron en entredicho la visión neoclásica pues mostraron que, al calcular los costos de producción de las compañías, había que considerar costos adicionales a la transformación de los atributos físicos de un bien. Esos costos adicionales están asociados con negociar, definir, proteger y hacer respetar los derechos de propiedad.⁶⁶ Según North, en todos los mercados hay costos asociados a negociar bienes, medir los atributos de lo que se intercambia, proteger derechos y vigilar y hacer cumplir acuerdos. “Esos costos de mediación y cumplimiento son la fuente de las instituciones sociales, políticas y económicas”, estableció North.⁶⁷

⁶² Douglass C. North, *Institutions, Institutional Change and Economic Performance*, op. cit., pp. 4.

⁶³ *Ibid.* pp. 7.

⁶⁴ *Ibid.*, pp. 27 – 34.

⁶⁵ Matthijs Krul, *The New Institutional Economic History of Douglass C. North. A Critical Interpretation*, Palgrave Studies in the History, Palgrave Macmillan, of Economic Thought, Max Planck Institute for Social Anthropology, Alemania, 2018, pp. 3 – 15.

⁶⁶ Douglass C. North, *Institutions, Institutional Change and Economic Performance*, op. cit., pp. 4 – 10.

⁶⁷ *Ibid.*

Los costos de transacción o negociación que sustentan la teoría neoinstitucional fueron analizados con amplitud por académicos que inspiraron la visión neoinstitucional de North como Ronald Coase y Oliver E. Williamson, cuyas aportaciones también los llevaron a ganar, en su momento, el premio Nobel de Economía.^{68 y 69} En su afamado artículo *The Nature of the Firm*, Coase introdujo el concepto de los costos de transacción para referirse a los intercambios que ocurren dentro y fuera de las empresas. Según Coase, al interior de las empresas no hay costos de transacción pues la estructura jerárquica vertical de las mismas hace innecesario establecer procesos de negociación para determinar precios o estrategias para proteger los derechos de propiedad.⁷⁰

Así, los costos de transacción, para Coase, sólo existen en los intercambios entre empresas. Al estudiar los motivos por los que las empresas deciden adquirir a otras compañías o, en su caso, mantenerlas como proveedoras de bienes o servicios, Coase concluyó que las compañías se expanden en el mercado o adquieren a otras firmas sólo cuando el costo de organizar una transacción adicional dentro de la empresa es igual o menor al costo de hacer la transacción mediante un intercambio en el mercado abierto.⁷¹

Por su parte, en su ensayo *The Economics of Organization: The Transaction Cost Approach*, Williamson asemejó los costos de transacción con la fricción de los sistemas mecánicos. Para este autor, los costos de transacción son una variable que fricciona o retrasa los intercambios económicos y, por ende, las operaciones de las compañías. Williamson señaló que los costos de transacción están determinados por factores como la incertidumbre

⁶⁸ Tom Redburn, “Theorist of Property Rights Wins Nobel”, *The New York Times*, 16 de octubre de 1991. <https://www.nytimes.com/1991/10/16/business/worldbusiness/IHT-theorist-of-property-rights-wins-nobel.html>.

⁶⁹ Louis Uchitelle, “Two Americans Are Awarded Nobel in Economics”, *The New York Times*, 12 de octubre de 2009. <https://www.nytimes.com/2009/10/13/business/economy/13nobel.html>.

⁷⁰ Ronald H. Coase, *The Nature of the Firm*, *Economica*, Volumen 4, Número 16, Noviembre de 1937, pp. 386 – 405, consultado en <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1111/j.1468-0335.1937.tb00002.x>

⁷¹ *Ibid*, pp. 394.

— que en el caso de la Cuarta Revolución Industrial puede asociarse al cambio tecnológico
— y la frecuencia con que las transacciones se repiten.⁷²

La metáfora, introducida por Williamson, en la que se ve a los costos de transacción como un elemento que fricciona la economía es muy útil para comprender gráficamente el concepto. Williamson rescata de la física la teoría de la caída libre para colocar a los costos de transacción como fricciones que disminuyen la aceleración de los objetos hacia el suelo o, metafóricamente, de la economía en su conjunto. La fricción es, físicamente, un obstáculo del movimiento y, económicamente, un freno de las transacciones. Por eso, las instituciones se reivindican con el neoinstitucionalismo pues, regresando a North, se vuelven clave para reducir la incertidumbre y propiciar la cooperación entre actores lo que, al final, sobre todo ante una disrupción tecnológica deriva en una disminución de las fricciones o negociaciones y, por tanto, en una mayor productividad.

Sin instituciones, los intercambios económicos se ralentizan, entorpecen y encarecen, lo que es particularmente relevante en mercados que requieren reglas homogéneas y estándares normativos. Por eso la visión neoinstitucionalista ve en las “reglas del juego” a la clave para comprender por qué unas sociedades han crecido económicamente más que otras y por qué algunas sociedades han implementado más rápido algunas disrupciones tecnologías que otras.⁷³ Una sociedad donde se establezcan instituciones formales e informales brindará más certidumbre a los actores económicos pues éstos tendrán mayores incentivos para innovar e invertir en tecnología.

⁷² Oliver Eaton Williamson, “The Economics of Organization: The Transaction Cost Approach”, *American Journal of Sociology*, Noviembre de 1981, Volumen. 87, Número 3, pp. 548- 577, consultado en <https://www.jstor.org/stable/2778934>.

⁷³ Douglass C. North, *Institutions, Institutional Change and Economic Performance*, op.cit., pp. 131 – 134.

El neoinstitucionalismo, por tanto, reivindica la importancia del Estado para desarrollar instituciones que regulen los mercados, establezcan parámetros que guíen las relaciones políticas y económicas de los diversos actores de interés y, en suma, protejan los derechos de propiedad de los integrantes de una sociedad mediante mayores niveles de certidumbre. En la visión neoinstitucionalista el Estado es el encargado de asegurar el cumplimiento de los acuerdos económicos y de sancionar a quienes transgreden esos acuerdos. Por eso hay quienes, como Ellen M. Immergut o Anil Hira, aseguran que los neoinstitucionalistas colocaron nuevamente al Estado al centro de sus análisis político – económicos.^{74 y 75}

Para el neoinstitucionalismo, las instituciones y las organizaciones evolucionan, cambian y/o se transforman a lo largo del tiempo por diversos factores exógenos. Uno de esos factores es la tecnología. Incluso, North llegó a decir que las instituciones y la tecnología empleada influyen en los costos de transacción o negociación que se suman a los costos de producción.⁷⁶ North se interesa por estudiar la relación entre la disrupción tecnológica y las instituciones porque, desde su perspectiva, la tecnología plantea un problema clásico de cooperación para las sociedades humanas que se resuelve y evoluciona mediante instituciones formales e informales.⁷⁷

⁷⁴ Ellen M. Immergut, “The theoretical core of the new institutionalism”, *Politics & Society*, Sage Publications, Volumen 26, Número 1, 1998.

⁷⁵ Anil Hira y Jon Hira, “The New Institutionalism: Contradictory notions of change”, *American Journal of Economics and Sociology*, Volumen 59, No. 2, Abril, 2000, pp. 271.

⁷⁶ Douglass C. North, “Economic Performance through Time”, Prize Lecture, The Nobel Prize, 9 de diciembre de 1993. La ponencia completa de Douglass North para recibir el Premio Nobel puede consultarse aquí: <https://www.nobelprize.org/prizes/economic-sciences/1993/north/lecture/>.

⁷⁷ Douglass C. North, *Institutions, Institutional Change and Economic Performance*, op.cit., pp. 131 – 134.

Las innovaciones tecnológicas compiten constantemente en el mercado y, según North, hay pequeños eventos históricos o bifurcaciones que son determinantes para la adopción social de una disrupción tecnológica sobre otra. Estos pequeños eventos históricos, según el neoinstitucionalismo, son una especie de guardagujas que determina la trayectoria y desempeño económico de una sociedad y el surgimiento, evolución y consolidación de ciertas instituciones y tecnologías. A esta forma de pensar teóricamente sobre la historia se le conoce académicamente como “*path dependence*” o “*dependencia del camino*”.⁷⁸

North considera que el desarrollo tecnológico es un proceso incremental, largo e intrincado que contempla varias etapas que van desde la invención hasta la viabilidad comercial. Para North, las mejoras tecnológicas no se dan de un día para otro, sino que, más bien, son procesos graduales en los que también influye el desarrollo de habilidades de las personas que adoptarán una nueva tecnología.⁷⁹ En su obra, este autor recurrentemente se pregunta qué factores influyen en el desarrollo tecnológico de una sociedad determinada. Para él, la clave está en el desarrollo de instituciones como las regulaciones sobre marcas, derechos de autor, secretos comerciales y patentes que protegen los derechos de propiedad e incentivan la innovación dentro de las organizaciones.⁸⁰

Es evidente que North se interesa por la Primera Revolución Industrial porque es la muestra más evidente de la importancia de las instituciones para el desarrollo tecnológico. North asegura que el vertiginoso avance tecnológico que ha experimentado el mundo en los siglos XIX, XX y XXI se explica, precisamente, por la consolidación de instituciones, respaldadas por el Estado moderno, en contraposición con instituciones medievales y

⁷⁸ Douglass North, *Institutions, Institutional Change and Economic Performance*, op.cit., pp. 93 – 94).

⁷⁹ Douglass North, “The Industrial Revolution Reconsidered”, *Structure and Change in Economic History*, W. W. Norton & Company, Estados Unidos de América, 1981, p. 163.

⁸⁰ *Ibid.*

monárquicas, sustentadas en la organización feudal, que no protegían adecuadamente los derechos de propiedad ni incentivaban la innovación.⁸¹

Además, el interés del neoinstitucionalismo por el cambio tecnológico, más allá de la productividad y el crecimiento económico, también se relaciona con los efectos que la innovación tecnológica produce en la organización social del trabajo. Por ejemplo, según North, la Primera Revolución Industrial propició, en las fábricas, el surgimiento de nuevas reglas, con sus correspondientes sanciones, orientadas a supervisar y garantizar el control de calidad de los productos elaborados y la disciplina al interior de los centros manufactureros.⁸²

En suma, para el neoinstitucionalismo y la Nueva Historia Económica —que ya ha estudiado revoluciones industriales con anterioridad— el cambio tecnológico industrial debe entenderse como una variable exógena que influye en los costos de transacción y produce alteraciones en las instituciones formales e informales, públicas o privadas, que regulan actividades productivas. Este argumento teórico es, precisamente, el sustento de la pregunta e hipótesis de esta investigación.

Desde la perspectiva neoinstitucional, el avance de la Cuarta Revolución Industrial generará incertidumbre entre los productores de autopartes y las armadoras de vehículos, lo que obligará a la creación de nuevas reglas que brinden certidumbre y garanticen la calidad y seguridad de los productos desarrollados con tecnologías disruptivas a lo largo de toda la cadena de suministro. Probablemente, estas nuevas reglas se traducirán en estándares técnicos que reducirán los costos de transacción en toda la cadena de valor al garantizar que las tecnologías implementadas preserven la integridad de los sistemas de gestión de la calidad de cada fabricante.

⁸¹ *Ibid*, pp. 158 – 170.

⁸² *Idem*.

EL DESARROLLO TECNOLÓGICO EN CADENAS GLOBALES DE VALOR

Si bien el neoinstitucionalismo contribuyó a reivindicar la importancia de las instituciones para reducir la incertidumbre de los actores que participan en el mercado ante cambios exógenos como el desarrollo tecnológico, lo cierto es que esta visión teórica tuvo algunas limitantes analíticas y contradicciones, sobre todo para explicar cómo se produjeron esos cambios institucionales. Anil Hira asegura que el neoinstitucionalismo económico fue incapaz de explicar cómo las relaciones de negociación entre las organizaciones y el marco institucional contribuyeron a provocar cambios en las reglas del juego.⁸³

Además, más allá de la aportación teórica sobre la relación entre los costos de transacción y la disrupción tecnológica, el enfoque neoinstitucional para analizar mercados como la industria automotriz es limitado, sobre todo porque, como advierte Delwar Hossain, sus conclusiones no contemplaron la reciente evolución del comercio internacional, compuesto por cadenas productivas globalizadas o regionalizadas en grandes bloques de países que operan con base en instituciones regulatorias transnacionales y cuyas operaciones trascienden las fronteras políticas o administrativas de los Estados.⁸⁴

Ante ello, en las últimas décadas se ha desarrollado una prolífica literatura académica que se especializa en el estudio de la participación del Estado, las empresas privadas y la sociedad civil en la regulación de mercados que son cadenas globales o transnacionales de valor (GVC, por sus siglas en inglés). Autores como Gary Gereffi y Timothy J. Sturgeon son referentes en este campo de investigación que ha logrado acertadas conclusiones precisamente porque reconoce que, en un mundo globalizado y multipolar, el actor central del análisis político-económico no siempre debe ser el Estado, sino que también debe incluir

⁸³ Anil Hira y Jon Hira, “The New Institutionalism: Contradictory notions of change”, *American Journal of Economics and Sociology*, op. cit., p. 271.

⁸⁴ Delwar Hossain, “Globalization, Governance, and New Institutionalism: Exploring a New ‘Developing World Framework’”, en Imtiaz A. Hussain (ed.), *Global-Local Tradeoffs, Order-Disorder Consequences 'State' No More An Island?*, Palgrave Macmillan, Singapur, 2022, pp. 23 – 59.

a las organizaciones o corporaciones transnacionales. Gereffi sostiene que la globalización ha transformado la forma en que las naciones, las empresas y los trabajadores compiten en la economía internacional.⁸⁵

Por su parte, Sturgeon complementa que, actualmente, ante la globalización, es difícil concebir industrias nacionales que sean sistemas autónomos e independientes pues, más bien, los avances tecnológicos y logísticos hacen más probable que las industrias se establezcan en cadenas globales de valor donde se fragmenta geográficamente el trabajo y donde la estandarización de los procesos es clave.⁸⁶ La industria automotriz es un ejemplo de estas dinámicas de fragmentación y especialización productiva global.

De manera simplificada, la cadena de suministro en la industria automotriz mexicana está estructurada en 4 niveles que abarcan desde las armadoras hasta las empresas Tier 3, según su proximidad con el fabricante de automóviles.⁸⁷ Las armadoras u Original Equipment Manufacturers (OEMs) son las compañías que fabrican automóviles y gestionan una amplia red de proveedores de distintos niveles, localizados en distintos países, para producir sus vehículos. Ejemplos de estas empresas incluyen Volkswagen, Ford, Toyota, Nissan, Mercedes Benz, BMW, General Motors y Stellantis. Estas compañías coordinan a proveedores jerárquicamente organizados que suministran partes, componentes y sistemas, los cuales son ensamblados en sus plantas en México o en otros mercados internacionales.⁸⁸

⁸⁵ Gary Gereffi, *Global Value Chains and Development: Redefining the Contours of 21st Century Capitalism*. Cambridge University Press, Reino Unido, 2018, pp. 2 – 10, consultado en <https://www.cambridge.org/core/books/global-value-chains-and-development/65A6936F4B34FF41B9AEFE65FEF6E0BB#fndtn-information>.

⁸⁶ Timothy J. Sturgeon, *Global Value Chains and Economic Globalization - Towards a new measurement framework*, Industrial Performance Center, Massachusetts Institute of Technology, mayo de 2013, pp. 01 – 10, consultado en <https://ec.europa.eu/eurostat/documents/7828051/8076042/Sturgeon-report-Eurostat.pdf>.

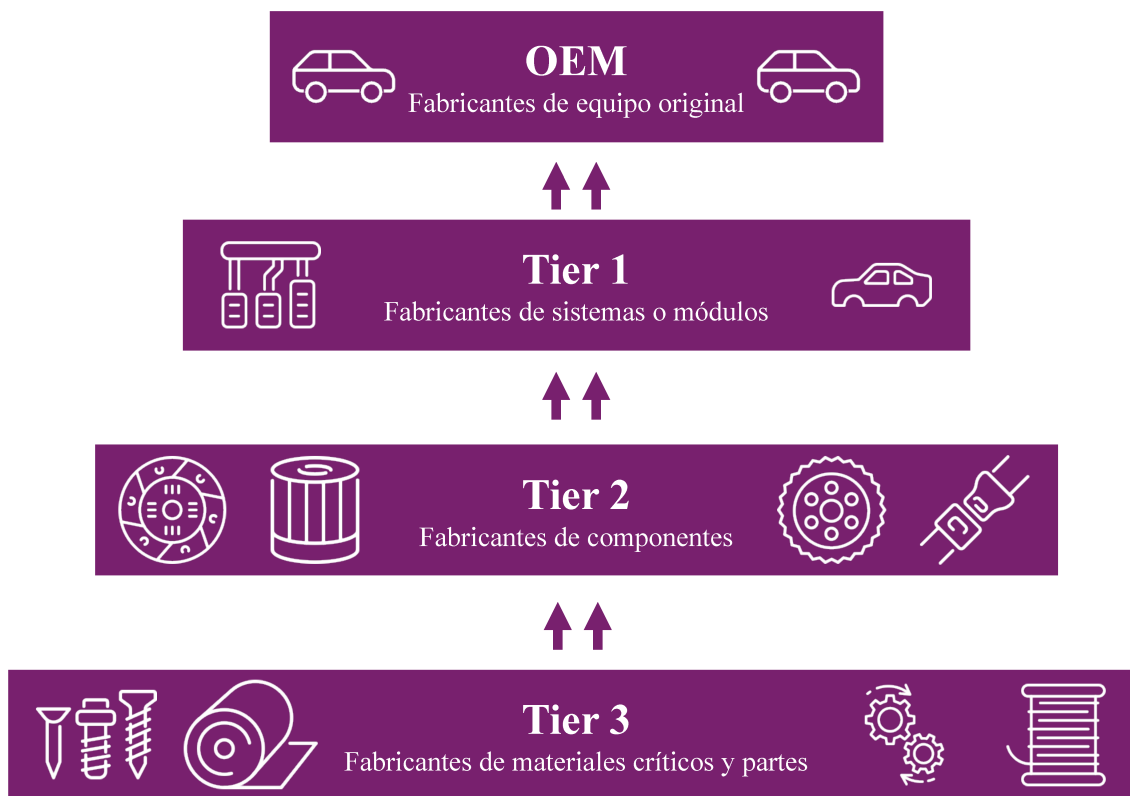
⁸⁷ Nain Martínez y Diana Terrazas, “Contextualizando el nearshoring de vehículos eléctricos en México” en Arturo Oropeza (coord.), *Nearshoring: la oportunidad de un nuevo desarrollo económico y social para México*, Instituto de Investigaciones Jurídicas, Universidad Nacional Autónoma de México, México, 2024, pp. 304 – 331.

⁸⁸ Roxana Puiu *et al.*, “Procurement in Automotive Industry”, *op.cit.*, 2021.

De esta forma, la cadena de suministro automotriz organiza jerárquicamente a las empresas que la conforman en 4 niveles. La coordinación óptima transnacional de compañías de todos estos niveles es esencial para la fabricación de los automóviles, lo que obliga a la creación de instituciones o estándares internacionales que reduzcan los costos de transacción mediante la certificación de la calidad de los proveedores, más allá de las fronteras de los Estados. Los 4 niveles que estructuran la industria automotriz son:

- **OEMs:** Compañías fabricantes de equipo original que ensamblan y comercializan vehículos bajo su marca.
- **Tier 1:** Empresas que ensamblan los componentes producidos por los proveedores de nivel Tier 2 en módulos o sistemas completos, como sistemas de frenos, transmisión, climatización o carrocerías que luego se entregan a la armadora u OEM para el ensamblaje final del vehículo.
- **Tier 2:** Empresas que producen componentes más complejos a partir de las partes y materiales proporcionados por las empresas Tier 3. Estos componentes se venden a las empresas de nivel Tier 1 para su integración en sistemas completos. Ejemplos de productos de empresas Tier 2 son componentes de asientos, bujías, sensores, componentes electrónicos y cinturones de seguridad.
- **Tier 3:** Estas compañías fabrican partes y materiales básicos, como acero, cobre, aluminio, plásticos, productos químicos como recubrimientos, que luego se utilizan en la producción de componentes en niveles superiores.

Gráfica 2. Estructura de la cadena de suministro automotriz en México



Fuente: Elaboración propia con base en Puiu *et al.* (2021)⁸⁹

GOBERNANZA Y REGULACIÓN TRANSNACIONAL DE LA TECNOLOGÍA

La gobernanza ha sido ampliamente estudiada desde diversas disciplinas que reconocen la existencia de esquemas de regulación tripartitos en los que participan el gobierno, las empresas y la sociedad. Ante la globalización, la gobernanza advierte sobre mecanismos de regulación que no dependen exclusivamente del Estado, sino que incorporan la participación de otros actores privados con poder en la construcción y modificación de instituciones que trascienden las fronteras de las naciones.

En este sentido, en los últimos años, ha surgido una prolífica literatura que, desde enfoques de gobernanza, busca comprender y explicar la evolución de estas regulaciones transnacionales en las cadenas productivas globales. La gobernanza, entendida como

⁸⁹ Roxana Puiu *et al.*, “Procurement in Automotive Industry”, *Recent*, Vol. 22, no. 2(64), Rumania, 2021, consultado en https://www.researchgate.net/publication/357136386_Procurement_in_Automotive_Industry.

sistemas en los que se ejerce la autoridad en un contexto de poder multipolar en el que interactúan y participan actores públicos y privados, es una perspectiva útil para analizar la regulación de una industria global como la automotriz, dado que reconoce que el gobierno es un actor clave, pero no el único con capacidad de influir en la regulación técnica. Jan Kooiman establece que las teorías de gobernanza aportaron una nueva visión, más realista, sobre las instituciones políticas y las distintas interacciones y negociaciones de actores públicos y privados en el mercado global.⁹⁰

Bob Jessop sostiene que, la gobernanza, a diferencia de la estatalidad, carece de un núcleo jurídico – político y, por tanto, de un régimen institucional fijado a un territorio, una población y una burocracia estatal particular.⁹¹ Jessop asegura que, a diferencia del Estado soberano, la gobernanza gestiona las interdependencias funcionales, sea cual sea su alcance territorial. Ante este fenómeno, la soberanía estatal, advierte Jessop, se convierte en un mecanismo simbólico de corte nacionalista que ya no refleja necesariamente las relaciones de poder entre los actores que componen una sociedad.⁹²

David Levi-Faur complementa esta visión al afirmar que la regulación del capitalismo contemporáneo se sustenta en un esquema híbrido de gobernanza donde coexisten diferentes sistemas de control, desde regulaciones estatales hasta regulaciones internacionales privadas o, incluso, regulaciones voluntarias globales que van más allá de las fronteras nacionales y, sobre todo, más allá del esquema regulatorio centrado esencialmente en el Estado.⁹³ Benoît y Thiemann coinciden en que los reguladores nacionales, poco a poco, con el avance de la

⁹⁰ Jan Kooiman, *Governing as Governance*. Sage Publications, Reino Unido, 2003, pp.01 – 25.

⁹¹ Bob Jessop, *El Estado: Presente, pasado y futuro*, Editorial Catarata, Madrid, España, 2016, pp. 281.

⁹² *Idem*.

⁹³ David Levi-Faur, “Regulation & Regulatory Governance”, *Jerusalem Papers in Regulation & Governance*, Working Paper No. 1, Departamento de Ciencia Política, Universidad Hebrea, Diciembre de 2010, Israel, pp. 1-33.

globalización, se han dado cuenta de su incapacidad para imponer reglas similares y, por lo tanto, costos regulatorios similares a escala global. Para estos autores, la globalización ha producido un desajuste estructural entre mercados cada vez más internacionales y normas locales, dado el alcance limitado de los reguladores nacionales que han perdido centralidad para dar paso a regulaciones de alcance global como las emitidas por IATF o ISO.⁹⁴

En este orden de ideas, el politólogo Reinhard Steurer, tras desarrollar una compleja tipología basada en la idea de gobernanza, mostró cómo en diversos mercados, incluyendo la industria manufacturera, hay procesos de autorregulación y correulación económica donde el Estado ha perdido centralidad, frente a otros actores como las empresas y la sociedad civil.⁹⁵ El sector industrial, según Steurer, es un ecosistema propenso para que grandes compañías internacionales con operaciones globales sean más preponderantes y, por ende, se autorregulen estableciendo acuerdos, estándares, códigos de conducta o auditando programas que adoptan todas las compañías de una industria particular.⁹⁶

Steurer matiza su tipología al proponer un esquema de gobernanza híbrido de correulación, en el que, desde mi perspectiva, caben las actuales certificaciones ISO 9001 o la norma IATF 16949:2016 que orientan la producción de automóviles y autopartes. En este esquema, siguiendo a Steurer, si bien hay una colaboración tripartita entre las empresas, el gobierno y la sociedad civil, basada en la idea de gobernanza, al final se establece una especie de meta gobernanza en el que el sector privado sigue teniendo preponderancia.⁹⁷ Esta visión matizada de meta gobernanza y correulación, en cualquier caso, es crítica de la visión

⁹⁴ Cyril Benoît y Matthias Thiemann, “Regulation”, en Jon C. W. Pevehouse y Leonard Seabrooke (eds), *The Oxford Handbook of International Political Economy*, Noviembre de 2021, edición digital, consultada en <https://academic.oup.com/edited-volume/35412/chapter-abstract/354374039?redirectedFrom=fulltext>.

⁹⁵ Reinhard Steurer, “Disentangling governance: a synoptic view of regulation by government, business and civil society”, *Op Cit.*, pp. 387 – 410.

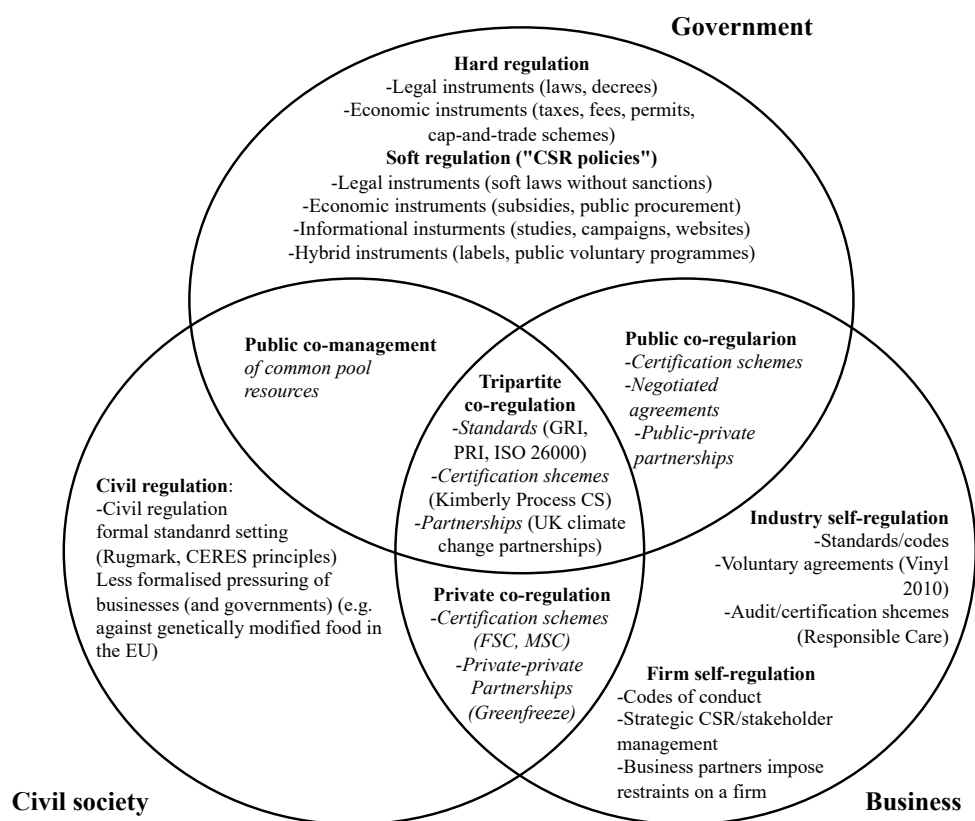
⁹⁶ *Ibid.*

⁹⁷ *Ibid.*

neoinstitucionalista en la que el Estado es el actor central de la regulación en tanto que se encarga de imponer y verificar la adopción de instituciones.

En contraposición a esta perspectiva, Steurer propone una tipología de regulación que varía dependiendo del tipo de mercado. Las regulaciones propuestas por este autor van desde la más fuerte (impuestos o aranceles), con preponderancia total del Estado, hasta la más suave (estándares y/o acuerdos voluntarios), pasando por un esquema intermedio de gobernanza y corregulación, con preponderancia empresarial, como ocurre, con las certificaciones IATF o ISO. A continuación, se muestra la tipología⁹⁸ desarrollada por Steurer:

Gráfica 3. Tipología de regulación y co – regulación de mercados (Steurer 2013)



Fuente: Steurer (2013)

⁹⁸ El esquema fue tomado de Reinhard, Steurer, "Disentangling governance: a synoptic view of regulation by government, business and civil society", *Op Cit.*, pp. 395.

Esta tipología, desde mi perspectiva, es particularmente útil para analizar las instituciones que regulan la producción automotriz en México pues el Estado, desde la década de los años ochenta hasta la fecha, ha cedido la regulación productiva del sector automotriz a las pautas de IATF e ISO.⁹⁹ Por lo menos en el sector manufacturero, incluyendo la producción de automóviles y autopartes, el sector público en México se ha concentrado en homologar las leyes de normalización y metrología con estándares internacionales. La autoridad en México ha dejado mayoritariamente en manos de instituciones privadas las principales regulaciones técnicas del sector automotriz.

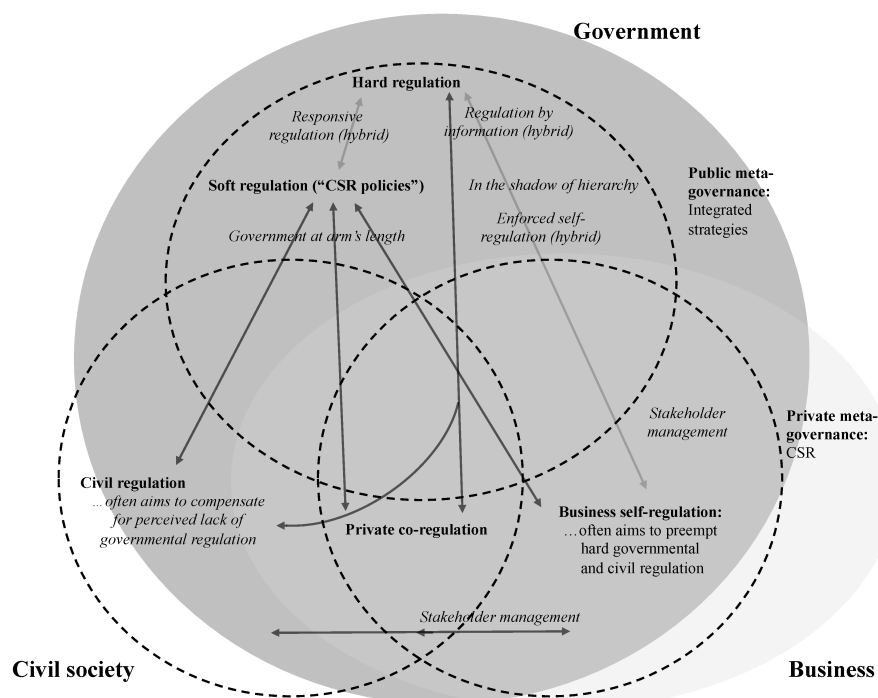
Es usual, afirma Steurer, que las empresas del sector industrial construyan un modelo regulatorio de meta gobernanza, en el que la participación de la autoridad gubernamental y la sociedad civil organizada es acotada y, sobre todo, limitada al fomento, como ha ocurrido con la política industrial de México desde los años ochenta hasta la fecha. Para Steurer, la corregulación implica la adopción voluntaria de reglas que imponen restricciones a un grupo de compañías que son de interés público.¹⁰⁰ En la siguiente gráfica¹⁰¹, se puede ver cómo el sector empresarial es preponderante en los esquemas de corregulación que podrían aplicar a los estándares IATF e ISO, ampliamente utilizados en la industria automotriz:

⁹⁹ *Ibid.*

¹⁰⁰ Reinhard Steurer, “Disentangling governance: a synoptic view of regulation by government, business and civil society”, *Op Cit.*, pp. 394 - 395.

¹⁰¹ El esquema fue tomado de Reinhard, Steurer, “Disentangling governance: a synoptic view of regulation by government, business and civil society”, *Op Cit.*, pp. 398.

Gráfica 4. Interacciones, regulaciones híbridas y meta - gobernanza (Steurer 2013)



Fuente: Steurer (2013)

Steurer sostiene que en ciertos mercados, como el automotriz, las grandes armadoras tienen un papel preponderante en la regulación de sus propios procesos productivos y comerciales para darles certidumbre y, sobre todo, para garantizar la coordinación y eficiencia de sus cadenas productivas, así como la estandarización y calidad de sus automóviles más allá de las fronteras político – administrativas de los Estados.¹⁰² Kooiman coincide en que la gobernanza técnica transnacional facilita el desarrollo de estándares internacionales que emiten organizaciones como IATF e ISO y que reducen la incertidumbre y el riesgo para productores y consumidores.¹⁰³

¹⁰² Por ejemplo, en México, desde la década de los años noventa del siglo pasado, autores como Micheli ya daban cuenta de la cada vez mayor influencia político – económica de las compañías multinacionales en el desarrollo de instituciones enfocadas en la regulación y fomento de la industria automotriz. Jordy Micheli Thirion, “Teorías sobre la expansión internacional de la producción”, *Nueva manufactura, globalización y producción de automóviles en México*, Facultad de Economía, Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), México, 1994, pp. 33 – 49.

¹⁰³ Jan Kooiman, *Governing as Governance*, op.cit, pp. 01 – 25.

Robert Falkner agrega, al estudiar el caso de la norma de gestión ambiental ISO 14000, que la regulación productiva y, por ende tecnológica, a través de instituciones como IATF e ISO se sustenta en un régimen híbrido creado por redes políticas transnacionales en las que participan representantes de la industria y autoridades regulatorias de Estados clave. Falkner concluye que estas regulaciones privadas existen en tanto que el Estado las tolera. Incluso, como es el caso de México, Falkner dice que el Estado actualmente fomenta la creación y el mantenimiento de estándares de jurisdicción transnacional por los beneficios que producen económicamente así como por la reducción en los costos de transacción, negociación e implementación de estándares propios.

El régimen que describe Falkner es híbrido porque reconoce que el Estado, en esta era de globalización, tolera o permite la autorregulación o la regulación privada en mercados internacionales donde no hay una demanda apremiante de regulación pública, como ocurre con la fabricación de partes y automóviles.¹⁰⁴ Además, Falkner establece que los Estados fomentan la gobernanza privada transnacional de la producción porque reducen costos de negociación o implementación de estándares propios. Este autor, desde una perspectiva de relaciones internacionales, reivindica el papel de lo público al mostrar que el Estado tiene incentivos para privilegiar y tolerar, sin que esto suplante su autoridad, la autorregulación transnacional de ciertos sectores productivos, como la industria automotriz, para reducir costos de negociación o transacción relacionados con la implementación de estándares nacionales particulares en coordinación con las compañías y la sociedad civil.

¹⁰⁴ Robert Falkner, "Private environmental governance and international relations: exploring the links", *Global Environmental politics*, London School of Economics and Political Science & Massachusetts Institute of Technology, *Volumen 3*, 2, 2003, pp. 72 – 87.

Por tanto, ante quienes ven en las normas de instituciones como IATF o ISO una claudicación del poder público y su capacidad regulatoria, Falkner responde que es erróneo plantear que estándares internacionales suplantán o sustituyen la autoridad o la función del Estado pues, más bien, en todo caso, complementan sus atribuciones que son mucho más complejas y diversas. Además, Falkner reivindica la importancia del Estado en esta era de la globalización pues reconoce que los estándares internacionales sólo existen y tienen validez en tanto que los Estados soberanos los permiten, validan, toleran, fomentan e incluyen como referencia en sus legislaciones nacionales.¹⁰⁵

Falkner agrega que los modelos de gobernanza privada, donde el Estado tolera la existencia de normas transnacionales privadas como IATF o ISO, no deben confundirse con la cooperación usual entre actores. Asegura que la gobernanza surge de contextos que fomentan la creación de instituciones y cuya naturaleza es más permanente. Además, reconoce que el poder de las empresas puede tener un efecto más limitante sobre la autonomía del Estado en los países en desarrollo que en el mundo industrializado.¹⁰⁶ Sin embargo, Falkner plantea que las certificaciones transnacionales como IATF o ISO no son esquemas de autorregulación sino, en todo caso, de corregulación donde el Estado tolera o permite la existencia de estándares internacionales para hacer más eficientes sus cadenas logísticas, productivas y comerciales. En México, esta idea corresponde con la realidad pues los estándares internacionales han tenido que ser avalados por los poderes Ejecutivo y Legislativo a través de reformas, primero de normalización y metrología y luego de infraestructura de la calidad.

¹⁰⁵ *Ibid.*

¹⁰⁶ Robert Falkner, "Private environmental governance and international relations: exploring the links", *Global Environmental politics, op.cit.*, pp. 72 – 87.

Las perspectivas teóricas presentadas en este capítulo permiten establecer una base analítica para comprender la relación entre la disrupción tecnológica, las instituciones y la regulación transnacional. Las disrupciones tecnológicas, en los términos de Christensen, aumentan la incertidumbre y los costos de transacción, lo que incrementa la probabilidad de cambios institucionales. Ante la disrupción, visiones teóricas como el neoinstitucionalismo ponen el énfasis en el papel del Estado en la emisión, legitimación y sanción de instituciones para reducir los costos de transacción asociados con el cambio tecnológico.

Sin embargo, la visión neoinstitucional es limitada, sobre todo para analizar el cambio tecnológico de la industria automotriz, que está organizada en complejas cadenas transnacionales de valor, como advierten Gereffi y Sturgeon. Para estudiar mercados globales, enfoques teóricos de gobernanza, estudiados con detalle por Kooiman, Jessop y Steurer, resultan útiles pues reconocen que, en un mundo multipolar, la regulación técnica de sectores como el automotriz no es exclusiva del Estado, sino que es resultado de esquemas híbridos donde interactúan empresas privadas y organismos internacionales como ISO e IATF. Finalmente, Falkner muestra que estos modelos de regulación preponderantemente privada no suplantán la autoridad del Estado, sino que la complementan y la requieren para legitimarse y validarse.

El marco teórico desarrollado en este apartado contribuirá a analizar cómo la Cuarta Revolución Industrial está modificando las instituciones que regulan la producción automotriz con el objetivo de reducir la incertidumbre y los costos de transacción. Los enfoques teóricos revisados permitirán estudiar regulaciones emitidas por IATF o ISO desde una perspectiva teórica que reconoce la existencia de sistemas de gobernanza híbridos transnacional que facilitan la producción y el intercambio comercial de los fabricantes de automóviles.

En los siguientes capítulos, tras esta revisión histórica y teórica de la regulación automotriz, se analizará el avance de la Cuarta Revolución Industrial en la producción de automóviles y autopartes en México. A partir del estudio de fuentes abiertas, buscaré determinar el grado de adopción de tecnologías disruptivas 4.0 en el sector y presentaré los principales hallazgos del Catálogo de Proyectos Automotrices de Industria 4.0. Posteriormente, estudiaré la creación y evolución de las certificaciones IATF e ISO, así como el desarrollo de nuevos estándares internacionales para regular el uso de tecnologías emergentes. Este análisis permitirá identificar los mecanismos de influencia y los sistemas de regulación técnica transnacional vigentes en la industria automotriz, un sector estratégico para la economía nacional.

II. EL AVANCE DE LA INDUSTRIA 4.0 EN LA PRODUCCIÓN AUTOMOTRIZ EN MÉXICO

Dado que la disrupción tecnológica en curso es un fenómeno reciente, hasta el momento no se han desarrollado estudios que permitan determinar con precisión el avance de la Cuarta Revolución Industrial en las fábricas de México. En este sentido, si buscamos pruebas del cambio tecnológico, es razonable suponer que este se materialice más rápidamente en compañías dedicadas a la fabricación de automóviles y sus partes.

Autores como Peter Drucker plantearon que la industria automotriz puede considerarse como “la industria de industrias”.¹⁰⁷ Womack, Jones y Roos complementaron esta idea al argumentar que la industria automotriz es más relevante para la humanidad de lo que suele suponerse, pues ha generado cambios fundamentales en la forma en que producimos los bienes de consumo, a través de modelos industriales revolucionarios que incluso llevan el nombre de las armadoras que los implementaron, como el fordismo o el toyotismo.¹⁰⁸

Desde la perspectiva tecnológica, la industria automotriz es una industria de frontera que, de manera constante, incorpora cambios e innovaciones con mayor rapidez que otros sectores. Esto se debe a que opera en un mercado altamente competitivo, integrado a cadenas globales de valor y promovido mediante esfuerzos militares y científicos. Por ello, ante la alerta global sobre el desarrollo de la Cuarta Revolución Industrial, es lógico suponer que la disrupción tecnológica avanzará con mayor rapidez en aquellas empresas que forman parte de la cadena de producción automotriz, dado su historial de innovación constante y su capacidad para invertir en investigación y desarrollo (I+D).

¹⁰⁷ Peter Drucker, *The concept of the corporation*, John Day, 1946, en James P. Womack *et. al. The Machine that Changed the World*, *op. cit.*, pp. 11.

¹⁰⁸ James P. Womack *et. al. The Machine that Changed the World*, *Op cit.*, pp. 11.

Según datos públicos, México ocupa el séptimo lugar mundial en producción de automóviles y el cuarto lugar en producción de autopartes.^{109 y 110} Por tanto, si asumimos que la Cuarta Revolución Industrial está en marcha, su impacto debería reflejarse en indicadores económicos como la producción, los patrones de empleo y/o la productividad del sector automotriz establecido en territorio nacional. Desde una perspectiva teórica, una Revolución Industrial —siguiendo al historiador económico Joel Mokyr— debería producir efectos de gran envergadura, como incrementos sostenidos en el volumen de producción, la productividad, la inversión en capital fijo; reducciones en tiempos y costos de fabricación; cambios significativos en la estructura de las empresas, la cadena de suministro y el empleo y/o aumentos en el número de patentes registradas.¹¹¹

Si bien Mokyr advierte que una Revolución Industrial es un proceso prolongado y que sus efectos económicos no necesariamente se observan en el corto plazo, en el siguiente apartado analizo la información pública disponible sobre el sector con miras a identificar si, efectivamente, hay cambios significativos en la producción, la productividad o la estructura del empleo en los últimos años que puedan asociarse directamente con la adopción y uso generalizado de tecnologías habilitadoras de la Cuarta Revolución Industrial.

¹⁰⁹ Asociación Mexicana de la Industria Automotriz (AMIA), Indicadores Internacionales Relacionados, México, 2021, consultado en <https://amia.com.mx/indicadores-internacionales-relacionados1/>.

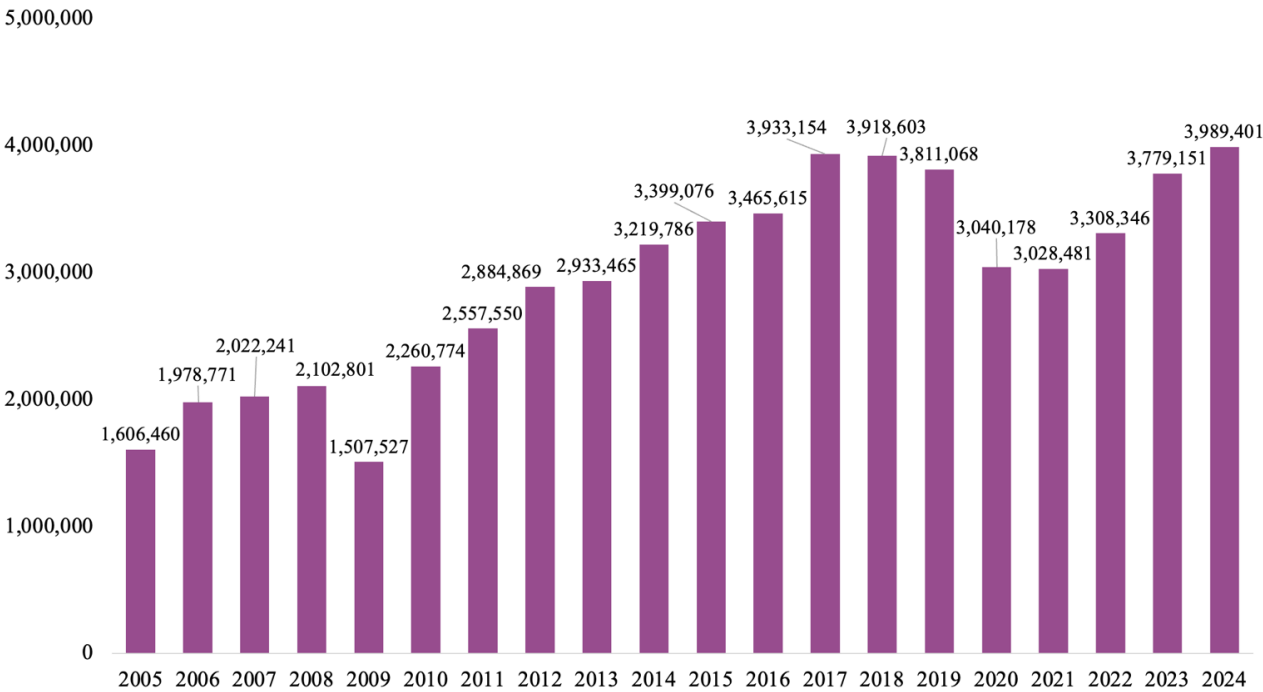
¹¹⁰ Lilia González, “México se mantiene como el 4° productor de autopartes”, *El Economista*, Sección Empresas, Martes 09 de Abril de 2024, México, consultado en <https://www.eleconomista.com.mx/empresas/Mexico-se-mantiene-como-el-4-productor-de-autopartes-20240409-0006.html>.

¹¹¹ Joel Mokyr, “La revolución industrial y la nueva historia económica”, *Revista de Historia Económica*, Año V, No. 2, 1987, pp. 203 – 210.

PRODUCCIÓN DE VEHÍCULOS LIGEROS Y AUTOPARTES ANTE LA CUARTA REVOLUCIÓN INDUSTRIAL

Según el Registro Administrativo de la Industria Automotriz de Vehículos Ligeros (RAIAVL), elaborado por el INEGI, en colaboración con la AMIA, la producción de vehículos ligeros en México ha mostrado una tendencia al alza en las últimas dos décadas, pasando de 1.6 millones en 2005 a casi 4 millones en 2024, lo que representa un crecimiento de 148%. Un punto clave en esta tendencia fue el año 2014, cuando por primera vez la producción superó los 3 millones de unidades, un umbral del que no ha vuelto a caer incluso con crisis como la pandemia de COVID-19.¹¹²

Gráfica 5. Producción de vehículos ligeros en México (2005 - 2024)



Fuente: Elaboración propia con datos del INEGI.

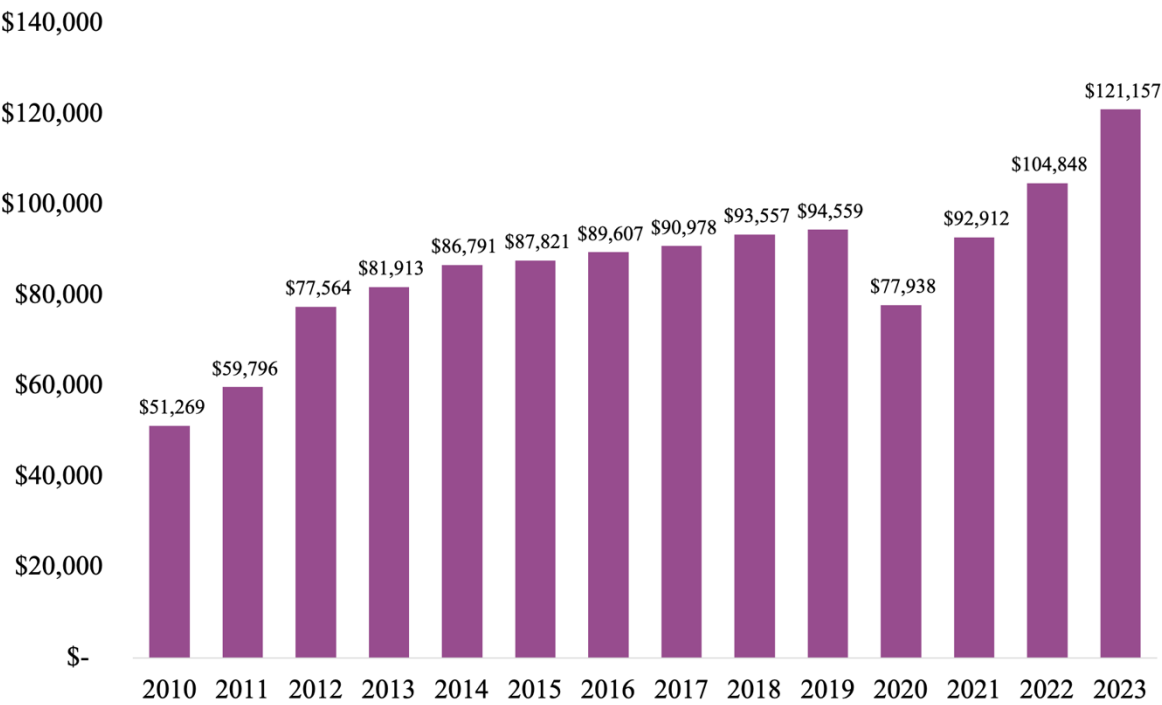
De igual manera, la producción de autopartes en el país, entre 2010 y 2023, con base en información publicada por la Industria Nacional de Autopartes (INA), mostró un

¹¹² Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), Registro Administrativo de la Industria Automotriz de Vehículos Ligeros (RAIAVL), INEGI, México. EL RAIAVL puede consultarse aquí: <https://www.inegi.org.mx/datosprimarios/iavl/>.

crecimiento sostenido, pasando de un valor total de producción de 51,269 millones de dólares en 2010 a 121,157 millones de dólares en 2023, lo que representa un aumento significativo de 136% en poco más de una década. A partir de 2012, la producción superó los 77,000 millones de dólares y desde entonces ha mantenido una tendencia ascendente. Este aumento productivo sostenido sólo se interrumpió en 2020 cuando la producción de partes cayó por las disrupciones en las cadenas de suministro automotriz provocadas por la pandemia de COVID-19. Sin embargo, el sector mostró una rápida recuperación en 2021, casi regresando a niveles pre-pandemia con 92,912 millones de dólares y, a partir de 2022, alcanzó nuevos máximos históricos, superando por primera vez la barrera de los 100,000 millones de dólares.

Gráfica 6. Producción de autopartes en México (2010 – 2023)

Valores en millones de dólares americanos (USD)



Fuente: Elaboración propia con datos de INA.

Si bien la producción de vehículos ligeros y autopartes en México ha crecido de manera sostenida en los últimos años, no hay evidencia empírica que permita atribuir este

aumento al avance de la Cuarta Revolución Industrial. Los datos disponibles no indican que una disrupción tecnológica haya sido el principal motor de este crecimiento. Establecer una relación causal de esta naturaleza requeriría de un análisis más riguroso, sobre todo si se considera que la producción automotriz está influida por múltiples factores, como la demanda global, la integración en las cadenas de valor y las políticas comerciales o ambientales.

Además, a lo largo de los últimos veinte años, la producción ha registrado caídas vinculadas a choques externos como la crisis financiera global de 2009 o la pandemia de COVID - 19. Estos episodios mostraron que, si bien la producción ha tenido una tendencia al alza en años recientes, su comportamiento responde a un entramado de variables económicas y comerciales, y no sólo a un cambio tecnológico. Para determinar en qué medida la Cuarta Revolución Industrial ha incidido en este crecimiento, sería necesario aplicar métodos económicos más robustos que permitan diferenciar el impacto del avance tecnológico de otros factores que han impulsado la producción de automóviles y autopartes en territorio nacional.

EMPLEO Y PRODUCTIVIDAD LABORAL AUTOMOTRIZ ANTE LA CUARTA REVOLUCIÓN INDUSTRIAL

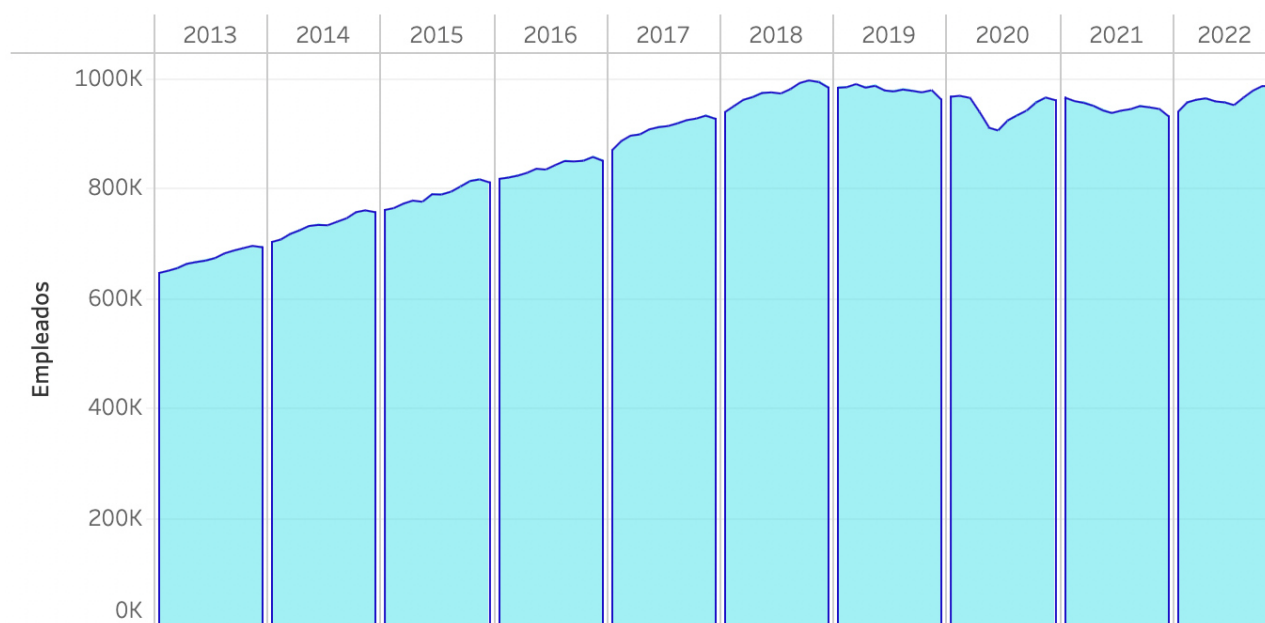
Entre 2013 y 2022, según datos de la AMIA, el empleo en la industria automotriz en México creció 45%, pasando de 646 mil a 939 mil trabajadores. A lo largo de este periodo, la distribución del empleo entre la industria terminal y la fabricación de autopartes se mantuvo estable, con aproximadamente 10% de los trabajadores empleados en la producción de vehículos y 90% en la fabricación de autopartes, lo que significa que, en años recientes, las empresas de autopartes han empleado a la gran mayoría de los trabajadores del sector automotriz.

Sin embargo, el sostenido incremento en el empleo no necesariamente está relacionado con el avance de la Cuarta Revolución Industrial. De hecho, un aumento en el número de trabajadores directos resulta contrario frente a la idea — ampliamente difundida — de que la disrupción tecnológica provocará una reducción de puestos de trabajo debido a la automatización y el uso de robots en las líneas de producción. Hasta el momento, no hay evidencia que permita establecer una relación causal entre el avance tecnológico y las dinámicas de crecimiento en la estructura del empleo en el sector automotriz en años recientes.

Además, más allá del número total de trabajadores, es fundamental estudiar cómo las nuevas tecnologías transformarán los perfiles ocupacionales, los roles y la estructura laboral dentro de las empresas automotrices. También, como adelantaba Carrillo, es clave estudiar la evolución en la demanda de especialistas en áreas como monitoreo de parámetros de producción, análisis de datos, ciberseguridad y desarrollo de software. En ese sentido, aún falta ampliar nuestro conocimiento para explicar con mayor precisión cómo el cambio tecnológico está reorganizando el sector laboral automotriz y en qué medida se han reestructurado las compañías internamente. Por tanto, se requieren investigaciones más detalladas sobre la redistribución de tareas, la transformación organizativa y el grado real de integración de nuevas competencias en la fuerza laboral del sector, sobre todo con miras a diseñar políticas integrales que fomenten una mayor capacitación de los trabajadores nacionales.¹¹³

¹¹³ Jorge Carrillo *et al.*, “¿Podrán transitar los ingenieros a la Industria 4.0? Análisis industrial en Baja California”, *op. cit.*, México, 2020.

Gráfica 7. Empleos directos en la industria automotriz de México (2013 - 2022)



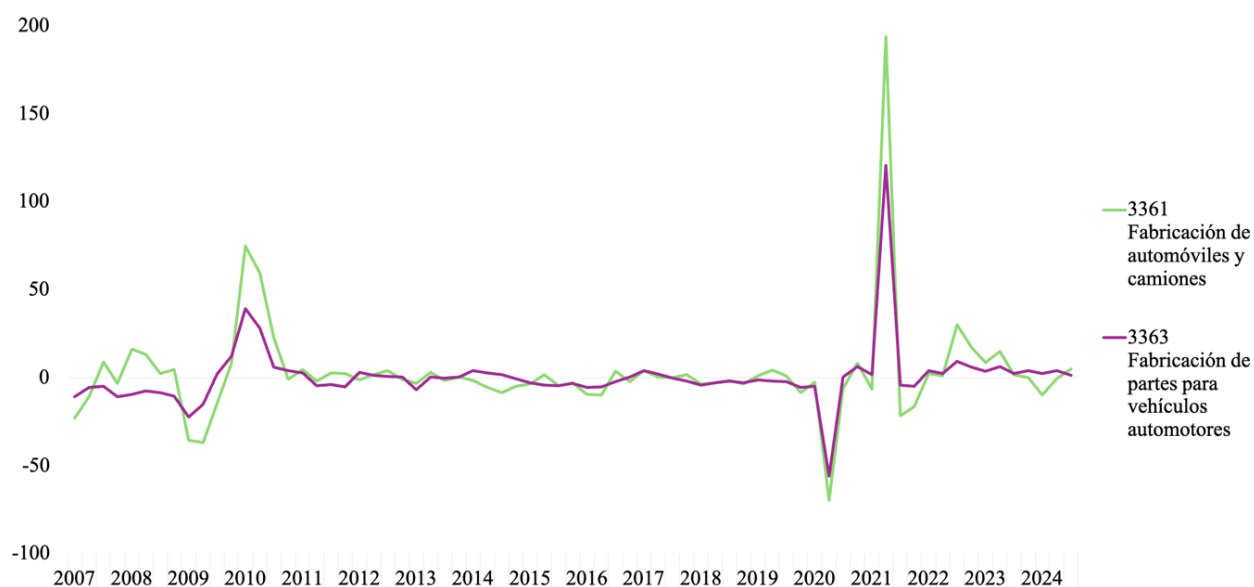
Fuente: AMIA.

Asimismo, ante una posible Cuarta Revolución Industrial en curso, es importante analizar las variaciones en la productividad laboral del sector automotriz para identificar patrones o tendencias que muestren sus efectos. Un indicador clave para este fin es el Índice de Productividad Laboral que elabora el INEGI. Este índice mide la relación entre la producción obtenida y los insumos laborales utilizados en la industria. Se puede calcular con base en el personal ocupado o en las horas trabajadas, lo que permite evaluar la eficiencia del trabajo desde diferentes ángulos. La medición por personal ocupado refleja la productividad por trabajador, lo que es útil para analizar si se está logrando mayor producción con la misma cantidad de empleados o si hay cambios en la estructura del empleo. En contraste, el análisis basado en las horas trabajadas permite identificar si las variaciones en la productividad se deben a ajustes en la jornada laboral, como reducciones de turnos o cambios en la intensidad de las cargas de trabajo.¹¹⁴

¹¹⁴ Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), *Índices de Productividad Laboral y del Costo Unitario de la Mano de Obra*, Síntesis Metodológica, Serie 2018, México, 2023, consultada en

Entre 2007 y 2024, el Índice de Productividad Laboral con base en el personal ocupado, tanto en la fabricación de automóviles y camiones como en la fabricación de autopartes, mostró variaciones significativas, con caídas y recuperaciones abruptas asociadas, principalmente a la crisis financiera de 2008 y la pandemia de COVID – 19. En el sector de fabricación de automóviles y camiones, el índice cayó hasta -36.8% en el segundo trimestre de 2009, con una recuperación de 75% en el primer trimestre de 2010. En la pandemia, la caída más severa en la productividad ocurrió en el segundo trimestre de 2020, con una disminución de -69.8%, seguida de una recuperación en el segundo trimestre de 2021, cuando el índice subió 193.9%, tras la reapertura de las fábricas. Como se observa en la gráfica, la productividad del sector de autopartes también reflejó tendencias similares, aunque con menor variación.

Gráfica 8. Variación anual por trimestre en el Índice de productividad laboral con base en personal ocupado de la industria automotriz (2007 - 2024)



Fuente: Elaboración propia con datos del INEGI.

Por otro lado, al analizar el Índice de Productividad Laboral con base en las horas trabajadas, encontramos tendencias similares a las observadas en el índice basado en personal ocupado, pero con diferencias en la magnitud de las variaciones. Por ejemplo, en la fabricación de automóviles y camiones, las caídas más fuertes ocurrieron en 2009 (-27.2%) y en 2020 (-26.9%), pero fueron menos pronunciadas que las registradas en el indicador por personal ocupado. Esto sugiere que, durante la crisis de 2008 y la pandemia de COVID - 19, la industria automotriz prefirió ajustar primero la jornada laboral antes que promover despidos de su personal. En la fabricación de autopartes, el comportamiento fue similar, pero con menor volatilidad. Las caídas en 2009 (-12.3%) y 2020 (-26.6%) reflejan la dependencia de la fabricación de partes con la producción de automóviles, aunque nuevamente el impacto fue menor en las horas trabajadas que en el índice por personal ocupado.

Gráfica 9. Variación anual por trimestre en el Índice de productividad laboral con base en horas trabajadas totales de la industria automotriz (2007 - 2024)



Fuente: Elaboración propia con datos del INEGI

Los datos analizados reflejan que, aunque la productividad laboral en el sector automotriz puede verse influenciada por interrupciones tecnológicas, las variaciones más abruptas han estado relacionadas con factores externos como una crisis financiera y una pandemia. Esto refuerza la idea de que el cambio tecnológico puede tener un impacto en la eficiencia del trabajo, pero que no es el único factor determinante en los cambios observados en la productividad laboral del sector. Por tanto, el impacto de la Cuarta Revolución Industrial en la productividad del sector automotriz no es concluyente con los datos disponibles. Para evaluar con mayor precisión esta relación, es necesario un análisis económico más robusto que relacione la inversión en tecnología con el número de horas trabajadas, el personal ocupado y otros factores externos, como costos de insumos y regulaciones laborales. Sin este tipo de análisis, cualquier afirmación sobre la causalidad entre la Industria 4.0 y la productividad del sector automotriz tendría que hacerse con cautela.

¿CUÁL ES EL AVANCE DE LA CUARTA REVOLUCIÓN INDUSTRIAL EN EL SECTOR AUTOMOTRIZ EN MÉXICO?

Hay que reconocer que, hasta ahora, no existe información suficiente que permita determinar el grado actual de la adopción de tecnologías 4.0 en la producción de automóviles y autopartes en el país. Con la información disponible en fuentes abiertas, no es posible saber cuántas empresas automotrices establecidas en México ya emplean tecnologías 4.0. Tampoco hay información acerca de qué tecnologías disruptivas son las que más se han adoptado ni hay datos sobre qué procesos específicos han sido los que más se han transformado en las fábricas de coches y autopartes en territorio nacional.

Conocer el avance o grado de adopción de tecnologías asociadas con la Cuarta Revolución Industrial en la industria automotriz mexicana es relevante y, sobre todo, de interés público y académico porque teóricamente la intensificación en el uso de estas tecnologías provocará efectos relevantes en la producción, la productividad, el empleo y, por tanto, la economía del país. Además, para esta investigación también es útil pues el cambio en las instituciones que regulan la producción automotriz depende, en gran medida, del grado de adopción o avance de la Cuarta Revolución Industrial.

Autores como Carrillo y Nava *et al.* ya adelantaron esfuerzos por determinar el avance de la Cuarta Revolución Industrial en el sector automotriz, pero con estudios de caso limitados cuyo alcance es regional o estatal. Los estudios previos de estos autores, a pesar de no tener un alcance nacional, son muy relevantes pues recopilan evidencia de que la industria automotriz efectivamente ha adoptado tecnologías 4.0 en diversos procesos de fabricación.¹¹⁵ Las investigaciones de Carrillo y Nava permiten anticipar que, por lo menos dentro de la industria automotriz de estos estados fronterizos, sí hay casos específicos de implementación de tecnologías 4.0.

Al investigar el nivel de conocimiento y adopción de tecnologías en la producción automotriz en los estados de Baja California y Chihuahua, Carrillo concluye que hay una menor adopción de tecnologías como gemelos digitales, realidad aumentada y realidad virtual. Destaca que hay otras herramientas que se han adoptado más rápidamente como simulaciones por computadora, computación en la nube, robótica colaborativa e Internet Industrial de las Cosas.¹¹⁶

¹¹⁵ Jorge Carrillo *et al.*, “¿Podrán transitar los ingenieros a la Industria 4.0? Análisis industrial en Baja California”, *op. cit.*, México, 2020.

¹¹⁶ Jorge Carrillo *et al.*, “¿Podrán transitar los ingenieros a la Industria 4.0? Análisis industrial en Baja California”, *op. cit.*, México, 2020.

Por su parte, Nava *et al.* utilizan el método de entrevista para recopilar información acerca de la implementación de tecnologías 4.0 en ocho empresas de autopartes Tier 2 establecidas en Nuevo León. Concluyen que sí hay procesos que emplean nuevas tecnologías como computación en la nube y, en algunos casos, gemelos digitales e Internet Industrial de las Cosas (IIoT). Además, sostienen que la adopción de tecnologías disruptivas en compañías de autopartes se ha dado transversalmente en diversas áreas de las empresas como producción, control de calidad, recursos humanos, finanzas, compras, logística externa, logística interna y planeación.¹¹⁷

En este sentido, Odracir Barquera, director general de AMIA y Francisco González, presidente de INA, me confirmaron en las entrevistas cualitativas que les realicé para este trabajo que la adopción de tecnologías ha sido escalonada y diferenciada dependiendo de la posición de las empresas en la cadena de suministro. Explicaron que las armadoras y las compañías Tier 1 cuentan con procesos de adaptación tecnológica más desarrollados que las firmas Tier 2 o Tier 3. Coincidieron en que la reconversión tecnológica de las plantas también está asociada con el año de construcción de cada instalación y el país de origen de las compañías productoras. Mencionaron que la adopción no ha sido homogénea al interior de las compañías y que, incluso, hay plantas de la misma empresa cuyo grado de adopción de tecnologías 4.0 varía con base en el año en que se construyó cada instalación.^{118 y 119}

¹¹⁷ Karla María Nava Aguirre *et al.*, “La incorporación de la Industria 4.0 en el sector de autopartes en Nuevo León, México”, *Op Cit.* pp. 232–270.

¹¹⁸ Odracir Barquera, *Entrevista cualitativa*, Asociación Mexicana de la Industria Automotriz (AMIA), 12 de abril de 2024, Ciudad de México, México.

¹¹⁹ Francisco González, *Entrevista cualitativa*, Industria Nacional de Autopartes (INA), 19 de febrero de 2024, Ciudad de México, México.

CATÁLOGO DE PROYECTOS AUTOMOTRICES DE INDUSTRIA 4.0 EN MÉXICO

Si bien hay algunas evidencias académicas y empíricas que muestran, someramente, el avance de la Cuarta Revolución Industrial en la producción de coches y autopartes, lo cierto es que aún es necesario recolectar más datos y profundizar los análisis para conocer el grado real de adopción de tecnologías 4.0 en la industria automotriz a nivel nacional. Sin embargo, obtener esa información no es tarea sencilla y requiere de la colaboración de los actores que participan en la industria e, incluso, de la participación de las autoridades, sobre todo porque implica obtener información que forma parte del secreto industrial de las compañías productoras.

A pesar de esta limitante, una metodología que puede contribuir a identificar más proyectos de Industria 4.0 en el sector automotriz es la búsqueda y análisis sistemático de noticias y artículos publicados en medios de comunicación, partiendo del supuesto de que las propias empresas de automóviles y autopartes, como parte de sus estrategias de asuntos públicos, comunicación corporativa y/o marketing, difunden en los medios algunas de sus principales innovaciones tecnológicas. Por tanto, si consideramos que la difusión de innovaciones tecnológicas es una estrategia esencial de las compañías automotrices en constante competencia, podemos anticipar un reconocimiento público de las compañías en la adopción de tecnologías disruptivas en notas periodísticas o páginas web.

Con esta premisa en mente, decidí elaborar un Catálogo de Proyectos Automotrices de Industria 4.0 con base en noticias y sitios web de las compañías establecidas en el país. Para hacer el Catálogo, analicé, a través de diversos motores de búsqueda, miles de notas periodísticas y sitios web para documentar 46 casos de empresas que, públicamente, aceptaron adoptar tecnologías 4.0 en sus plantas o fábricas de automóviles o autopartes establecidas en el país. En total, seleccioné 73 notas periodísticas o sitios web oficiales que me permitieron identificar a las firmas productoras de automóviles y autopartes que

adoptaron tecnologías 4.0 en sus plantas entre 2015 y 2024. La selección de las notas para elaborar el Catálogo se hizo con base en búsquedas sistematizadas en medios de comunicación y páginas web en las que se cruzaron nombres comerciales de firmas automotrices que tienen plantas en México con palabras clave de Industria 4.0, con base en el listado que proponen los creadores del concepto Kagermann, Lukas y Wahlster.¹²⁰

En ese sentido, el Catálogo permitió concluir que, por lo menos, todas las 14 compañías armadoras u OEMs que fabrican vehículos en el territorio nacional y 32 compañías de autopartes ya han adoptado tecnologías disruptivas en sus plantas establecidas en México. Si bien la metodología empleada para elaborar este Catálogo no permite verificar el grado de adopción de las tecnologías en las fábricas, lo cierto es que los casos incluidos en el Catálogo permiten anticipar una disrupción tecnológica sin precedentes en algunas partes de la cadena de suministro, desde las armadoras hasta las compañías de autopartes.

Por ejemplo, en 2020, la armadora alemana Volkswagen informó que, para finales de la década, su producción en la conocida fábrica de Puebla estará basada en los conceptos de fábrica digital, realidad virtual, manufactura aditiva, inteligencia artificial y Big Data. La compañía alemana informó que su fábrica actualmente ya emplea alrededor de 800 robots en la producción de carrocerías del modelo Tiguan. Además, Volkswagen aceptó hace 5 años que ya estaba probando un concepto de producción en el que el operador y un brazo robótico se complementan y colaboran durante el proceso de pintura.¹²¹

¹²⁰ Henning Kagermann y Wolfgang Wahlster, “Ten years of Industrie 4.0”, *op. cit.*, pp. 1 – 10.

¹²¹ Volkswagen de México, *Volkswagen de México transforma su planta de vehículos en un entorno de industria 4.0*, 20 de febrero de 2020, Puebla, México, consultado en <https://volkswagen-mexico.prezly.com/volkswagen-de-mexico-transforma-su-planta-de-vehiculos-en-un-entorno-de-industria-40>.

Otro caso que forma parte del Catálogo es el de la compañía mexicana Vitro, fundada en 1909, con sede en Nuevo León. Esta compañía de autopartes Tier 1, en acelerada transformación tecnológica, ha reportado el desarrollo de proyectos de robótica avanzada para la automatización y digitalización de sus procesos asociados a la fabricación de cristales automotrices. En su página web, Vitro asegura que, a través de su subsidiaria FAMA, utiliza tecnología de vanguardia para la elaboración de sistemas automatizados que incrementan el rendimiento y calidad de su manufactura. Además, la empresa afirmó que actualmente diseña y fabrica celdas robóticas y equipos automáticos para manejo de materiales, carga y descarga de vidrio y paletizado.¹²² La compañía también ha informado que, para satisfacer las necesidades de sus clientes del sector, emplea modelado predictivo y software de óptica durante el diseño del producto.^{123 y 124}

En el Anexo A de esta tesis pueden consultarse los 46 casos que conforman el Catálogo. Su documentación o identificación es una muestra más de que, efectivamente, hay una transformación tecnológica de gran envergadura en las fábricas de automóviles y autopartes en México. Sin embargo, esta transformación ha sido escalonada y diferenciada en la cadena productiva. Como anticiparon los directivos de AMIA e INA en las entrevistas que les realicé, la reconversión industrial ha sido más intensiva en las armadoras u OEMs establecidas en el país. También ha modificado parcialmente las operaciones de compañías de autopartes Tier 1 y ha sido más acotada en las firmas Tier 2 y Tier 3.

¹²² FAMA, *Maquinaria y soluciones en automatización para la industria del vidrio*, FAMA by Vitro, México, 2024. Consultado en <https://www.fama.com.mx/>.

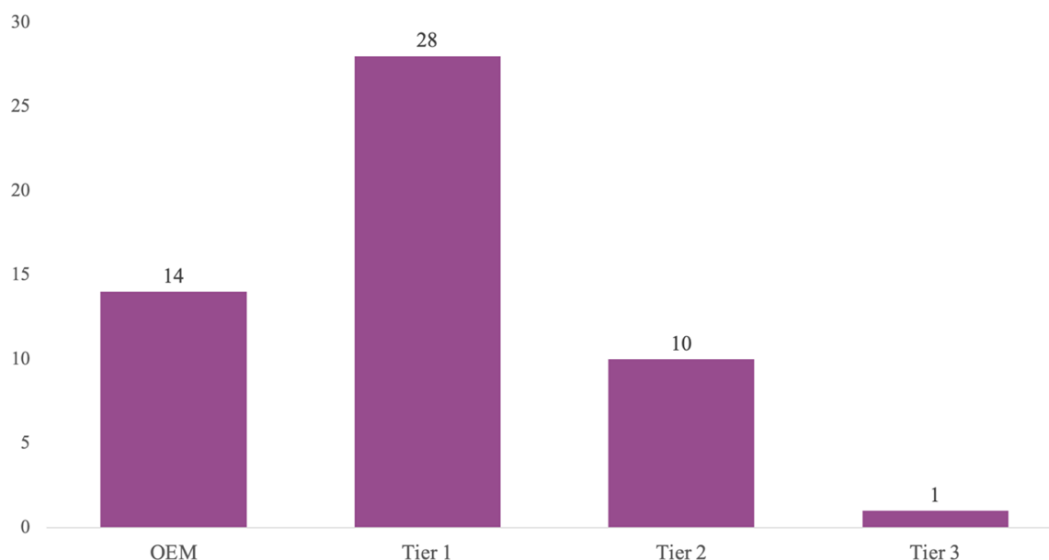
¹²³ Vitro, *State of the Art Technologies*, Vitro, México, 2024, consultado en <https://www.vitro.com/en/automotive-glass/state-of-the-art-technologies/>.

¹²⁴ FAMA, *Transforming together*, FAMA by Vitro, México, 2024, consultado en https://fama.com.mx/wp-content/uploads/2023/09/FAMA_INSTITUCIONAL_JUL2023-1.pdf.

En este sentido, la adopción de tecnologías avanzadas parece beneficiar principalmente a las grandes compañías con capacidad de inversión y acceso a conocimiento especializado, mientras que muchas pequeñas y medianas empresas (PyMEs) enfrentan mayores barreras para integrarse a la Cuarta Revolución Industrial. Esta brecha tecnológica dentro de la cadena productiva no solo limita la competitividad de ciertos proveedores, sino que también podría generar una mayor concentración de capacidades en los eslabones superiores de la cadena, profundizando la desigualdad en el sector.

En la siguiente gráfica se pueden observar las compañías automotrices con proyectos 4.0 que identifiqué, según el lugar que ocupan en la cadena de suministro. Si bien el catálogo se compone de 46 empresas, en la gráfica hay más observaciones porque hay compañías que se cuentan doble o triple pues aparecen más de una vez en la cadena de suministro. Esto ocurre con varias empresas globales como Siemens, 3M, Schneider Electric y OMRON, que ofrecen soluciones tanto para armadoras como para proveedores Tier 1 y Tier 2, lo que genera múltiples registros en la gráfica.

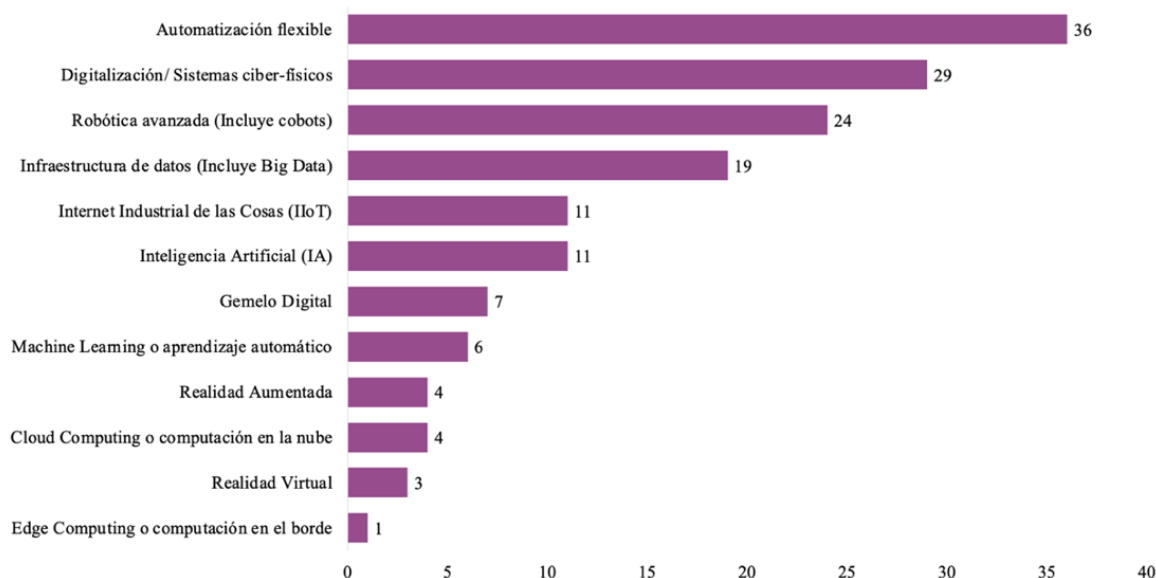
Gráfica 10. Empresas con proyectos de Industria 4.0 según su posición en la cadena de suministro



Fuente: Elaboración propia con base en el Catálogo de proyectos automotrices de Industria 4.0

En el Catálogo, identifiqué la adopción de 12 tecnologías de Industria 4.0, con base en la propuesta teórica de Kagermann, Lukas y Wahlster. Como se observa en la gráfica siguiente, existe una notable variación en la difusión de proyectos según la tecnología. Las compañías automotrices comunicaron con mayor frecuencia innovaciones relacionadas con la automatización flexible de procesos (36), digitalización (29) y el uso de robots colaborativos (24). Asimismo, destacaron proyectos en infraestructura de datos (19), Internet Industrial de las Cosas (IIoT) (11) e Inteligencia Artificial (IA) (11). Con menor frecuencia, reportaron iniciativas de Gemelo Digital (7), Machine Learning (6), Realidad Aumentada (4), Cloud Computing (4), Realidad Virtual (3) y Edge Computing (1). Este patrón no implica necesariamente que las tecnologías más difundidas sean las más implementadas, pero sí revela y confirma la adopción de diversas tecnologías 4.0 en el país, que es una de las principales conclusiones y aportaciones de este esfuerzo inicial por medir el avance real de la transformación tecnológica en el país.

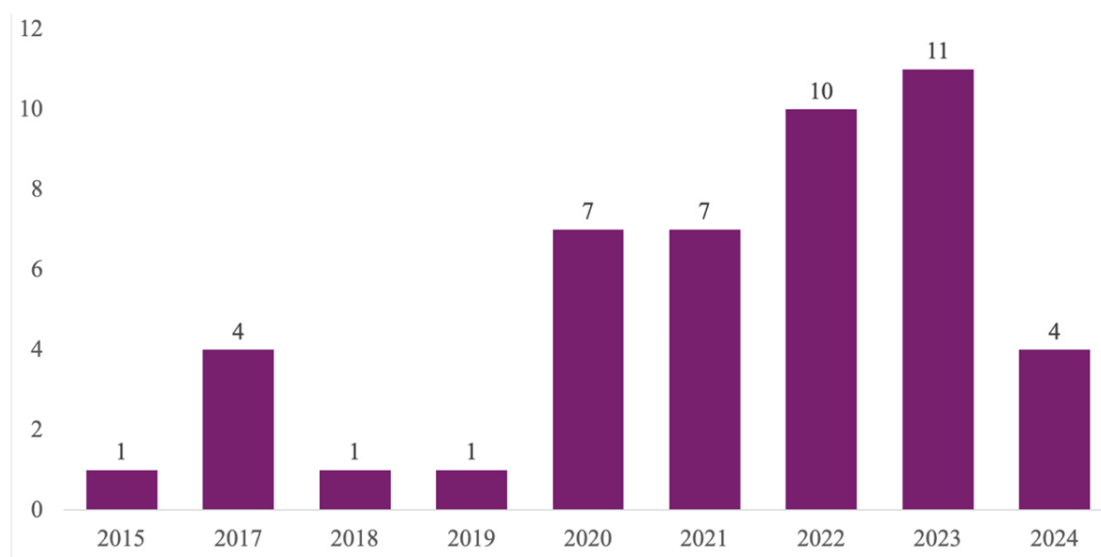
Gráfica 11. Tecnologías asociadas a Industria 4.0 implementadas en procesos de fabricación de automóviles y autopartes en México



Fuente: Elaboración propia con base en el Catálogo de proyectos automotrices de Industria 4.0

Las 46 compañías automotrices con proyectos de Industria 4.0 son originarias de 12 países. Las empresas extranjeras representan 86% de la muestra y tienen sus sedes fiscales en Alemania (9), Japón (8), Estados Unidos (7), Francia (6), Italia (3), Suecia (2), China (1), Corea del Sur (1), Irlanda (1), Países Bajos (1) y Suiza (1). A pesar de que nuestro país no cuenta con una armadora de capital nacional, sí hay 6 compañías mexicanas de autopartes como Vitro, Metalsa, Rassini, Bocar Group, Questum y Nemak que han implementado tecnologías 4.0 en la manufactura de sus productos. Además, como se observa en la siguiente gráfica, es importante precisar que, de los 46 proyectos identificados, 39 se difundieron después de 2020. Esto no significa que las tecnologías se hayan implementado necesariamente a partir del año de difusión, pero sí refleja un patrón de las compañías cada vez más interesadas en dar a conocer las innovaciones que están implementando en sus fábricas establecidas en el país.

Gráfica 12. Proyectos de Industria 4.0 en empresas automotrices por año de difusión (2015 - 2024)



Fuente: Elaboración propia con base en el Catálogo de proyectos automotrices de Industria 4.0

El Catálogo también muestra cómo la adopción de tecnologías de Industria 4.0 ha impactado y transformado diversos procesos productivos en el sector automotriz. La Cuarta Revolución Industrial ha influido en la fabricación de autopartes como llantas, monoblocks, bielas, bolsas de aire, chasis, cinturones de seguridad, cristales automotrices, frenos, limpiaparabrisas, pistones, volantes, suspensiones, transmisiones y trenes motrices, así como en el ensamble y la pintura de automóviles. También se han registrado avances tecnológicos en el diseño de planta, el monitoreo de control de calidad, el mantenimiento, el desarrollo de software, el estampado, la ciberseguridad y la soldadura.

Esfuerzos coordinados y con mayores recursos permitirán, en el futuro, precisar el grado de adopción de estas nuevas tecnologías en las fábricas automotrices en México. Este Catálogo se desarrolló con una metodología que tiene un alcance limitado para analizar especificaciones detalladas sobre modelos, marcas o aspectos técnicos específicos de la implementación de estas tecnologías. Al basarse exclusivamente en datos de fuentes abiertas, el análisis no permite verificar si las tecnologías mencionadas han sido adoptadas parcial o totalmente, ni determinar el grado o fase de su integración en los procesos productivos. No obstante, el Catálogo podría enriquecerse a través de encuestas, entrevistas y estudios interdisciplinarios en colaboración con universidades, centros de investigación, cámaras empresariales, empresas y autoridades.

Desde mi perspectiva, esta información es esencial para comprender el estado actual de la transformación tecnológica en la producción automotriz en el país. Disponer de datos precisos sobre la Cuarta Revolución Industrial en México no solo fortalecerá el diagnóstico, diseño e implementación de políticas industriales y laborales en los próximos años, sino que también ampliará nuestro entendimiento de los efectos políticos, económicos y sociales de esta nueva etapa de la producción industrial.

III. EL CAMBIO INSTITUCIONAL EN LA PRODUCCIÓN AUTOMOTRIZ EN MÉXICO ANTE LA CUARTA REVOLUCIÓN INDUSTRIAL

Con base en el Catálogo descrito en el capítulo anterior, sabemos que, entre 2015 y 2024, del total de compañías automotrices establecidas en México, todas las 14 compañías armadoras (OEMs) y, por lo menos, 32 compañías de autopartes declararon contar con proyectos de Industria 4.0 en sus operaciones productivas en el país. En ese sentido, si la transformación o el cambio tecnológico es un fenómeno en proceso en la industria automotriz, siguiendo la teoría neoinstitucional, algunas reglas del juego tendrían que estar en vías de modificación o haberse modificado ya para reducir la incertidumbre de productores y consumidores con respecto a la calidad y seguridad de automóviles fabricados con tecnologías disruptivas que antes no eran utilizadas en las plantas.

Sin embargo, a pesar de que hay evidencia de que la reconversión industrial automotriz está en curso en el país, aún no se ha estudiado con detalle el cambio institucional provocado por la disrupción tecnológica, ni en las normas privadas que regulan su fabricación ni en las leyes mexicanas. Poco sabemos en términos académicos acerca de los estándares o leyes que se han modificado para regular producciones automotrices que emplean tecnologías disruptivas.

Los líderes empresariales de AMIA e INA entrevistados para esta investigación explicaron que, para la implementación de innovaciones tecnológicas en procesos productivos automotrices, estándares internacionales privados como los establecidos por IATF o ISO son los que han sido la guía y base regulatoria de compañías automotrices pues ofrecen múltiples ventajas a los productores en términos de calidad, homologación, estandarización y seguridad. Además, en las entrevistas, los directivos de AMIA e INA aseguraron que, a pesar de la transformación tecnológica, no se han establecido canales de

negociación o mesas de trabajo con el gobierno mexicano y las asociaciones empresariales para diseñar o modificar alguna norma asociada con la reconversión tecnológica de las fábricas de coches y autopartes. En ese sentido, los representantes de las compañías productoras de automóviles y autopartes coincidieron en que la regulación productiva es preponderantemente privada y elaborada por organizaciones trasnacionales especializadas en la elaboración de normas de calidad como IATF e ISO.^{125 y 126}

Globalmente, el uso de certificaciones es una práctica generalizada en la industria automotriz, impulsada principalmente por las armadoras, que imponen estos requisitos a lo largo de su cadena de suministro. En la industria automotriz, las certificaciones IATF e ISO se han generalizado pues, durante varias décadas, ha demostrado su consistencia global o trasnacional, confiabilidad, rigor y eficacia.¹²⁷ Además, a través de solicitudes de compra y contratos, las OEMs establecen a sus proveedores la obligatoriedad de cumplir con normas elaboradas por IATF e ISO. De esta manera, los proveedores de toda la cadena automotriz tienen fuertes incentivos para operar bajo estos estándares, ya que, de lo contrario, quedan excluidos del mercado. Por su parte, las armadoras garantizan con estas normas la calidad y seguridad de los productos que componen los automóviles y aumentan su trazabilidad, lo que es esencial para sus sistemas de cumplimiento normativo.

Para las compañías de autopartes establecidas en México, contar con las certificaciones internacionales que otorgan IATF o ISO es indispensable para vender sus productos a las armadoras. La valía de certificaciones como las que emiten IATF o ISO radica en que contribuyen a la estandarización y la verificación de la calidad y seguridad de los

¹²⁵ Francisco González, *Entrevista cualitativa*, Industria Nacional de Autopartes (INA), 19 de febrero de 2024, Ciudad de México, México.

¹²⁶ Odracir Barquera, *Entrevista cualitativa*, Asociación Mexicana de la Industria Automotriz (AMIA), 12 de abril de 2024, Ciudad de México, México.

¹²⁷ Max Edwards, *ISO Standards for the Automotive Industry*, ISMS, 20 de octubre de 2023, consultado en <https://www.isms.online/sectors/iso-standards-for-the-automotive-industry/>.

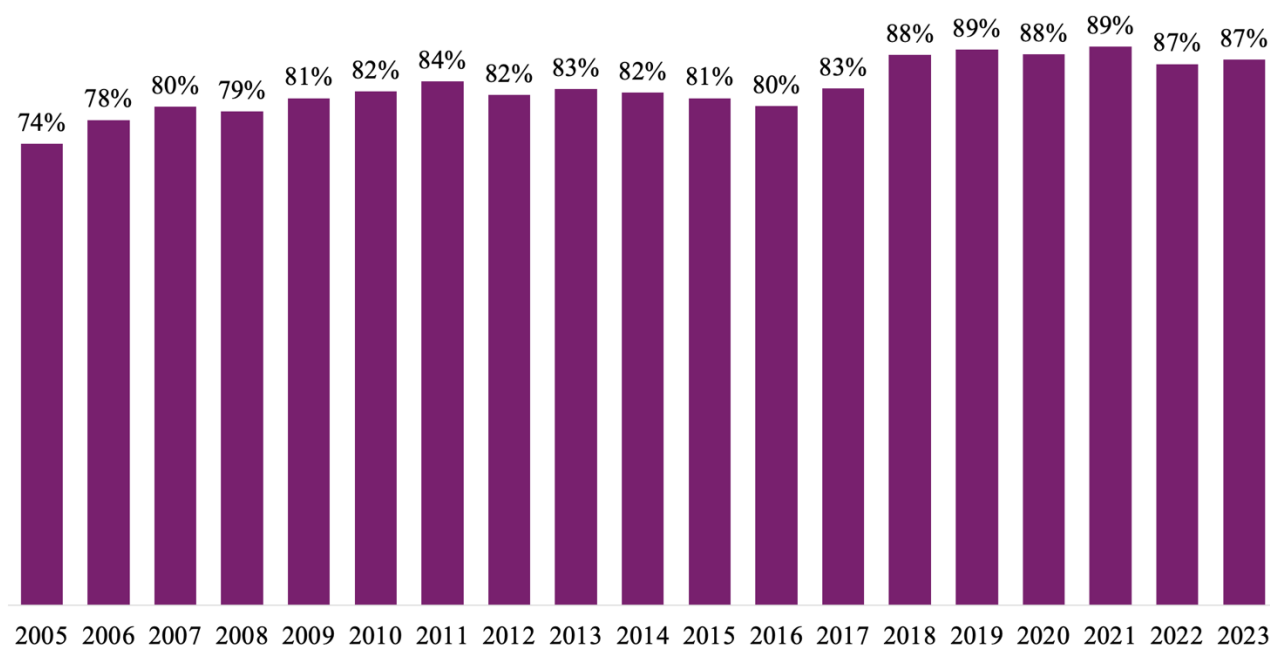
insumos, lo que reduce costos de transacción entre las compañías de toda la cadena productiva y habilita la exportación e integración logística con mercados estratégicos.

LOS ESTÁNDARES Y LA VOCACIÓN EXPORTADORA DE LA INDUSTRIA AUTOMOTRIZ

El uso de estándares internacionales de gestión de la calidad es clave para la industria automotriz mexicana, que se ha desarrollado, desde hace décadas, con fines principalmente de exportación. Tras la firma de tratados de liberalización comercial como el Acuerdo General sobre Aranceles Aduaneros y Comercio (GATT, por sus siglas en inglés), el Tratado de Libre Comercio de América del Norte (TLCAN), el Tratado de Libre Comercio con la Unión Europea (TLCUEM) y el Tratado entre México, Estados Unidos y Canadá (T-MEC), ratificado en 2020, nuestro país ha desarrollado una gran capacidad instalada para la fabricación de automóviles y autopartes.

A pesar de no tener una armadora con sede fiscal en territorio nacional, México ha desarrollado en los últimos 40 años una gran infraestructura productiva y ha fomentado la especialización en la fabricación de coches y sus partes en diversos corredores industriales. Para la economía nacional, la producción de automóviles y autopartes es una actividad estratégica que se ha convertido en uno de los bastiones del comercio exterior mexicano y, por tanto, en un relevante generador de empleos y divisas, así como un imán para la atracción de inversión extranjera directa. Como se observa en la siguiente gráfica, según datos de la AMIA, desde 2009 a la fecha, México exportó al menos 80% de su producción de automóviles, lo que confirma que las fábricas establecidas en el país se han instalado en nuestro territorio para exportar sus productos, principalmente hacia Estados Unidos.

Gráfica 13. Porcentaje de la producción de vehículos ligeros en México para exportación (2005 - 2023)



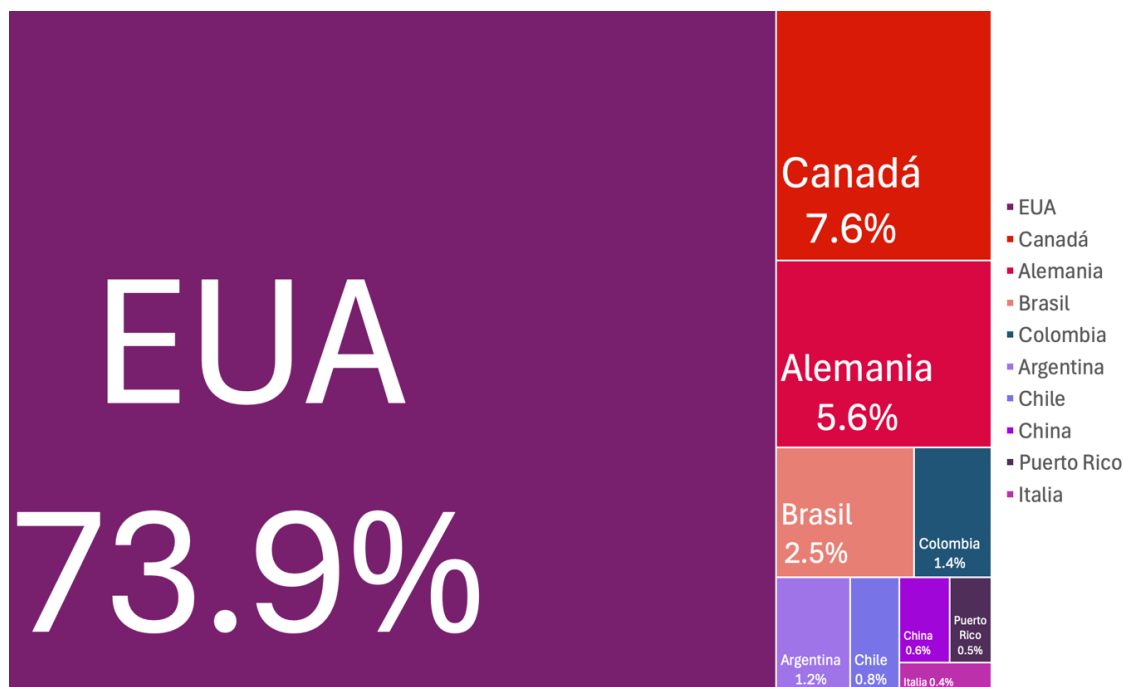
Fuente: Elaboración propia con datos de AMIA.

Las cifras muestran que el mercado de exportación automotriz desde México está profundamente integrado y concentrado con nuestros socios comerciales de Norteamérica y, particularmente, con Estados Unidos, nuestro principal comprador de automóviles y autopartes. En total, entre 2005 y 2023, de los 43 millones de automóviles ligeros que exportamos, 73% se comercializaron en el mercado estadounidense, sólo 7% en Canadá, 5% en Alemania y 2% en Brasil.^{128 y 129}

¹²⁸ Asociación Mexicana de la Industria Automotriz (AMIA), *Exportación de vehículos ligeros*, México, 2023, consultado en <https://amia.com.mx/exportacion-de-vehiculos-ligeros1/>.

¹²⁹ Data México, *Acerca de Partes y Accesorios de Vehículos Automotores*, Secretaría de Economía, Gobierno de México, consultado en <https://www.economia.gob.mx/datamexico/es/profile/product/parts-and-accessories-of-motor-vehicles>.

Gráfica 14. Porcentaje de exportación acumulada de vehículos ligeros de México por país de destino (2005 - 2023)

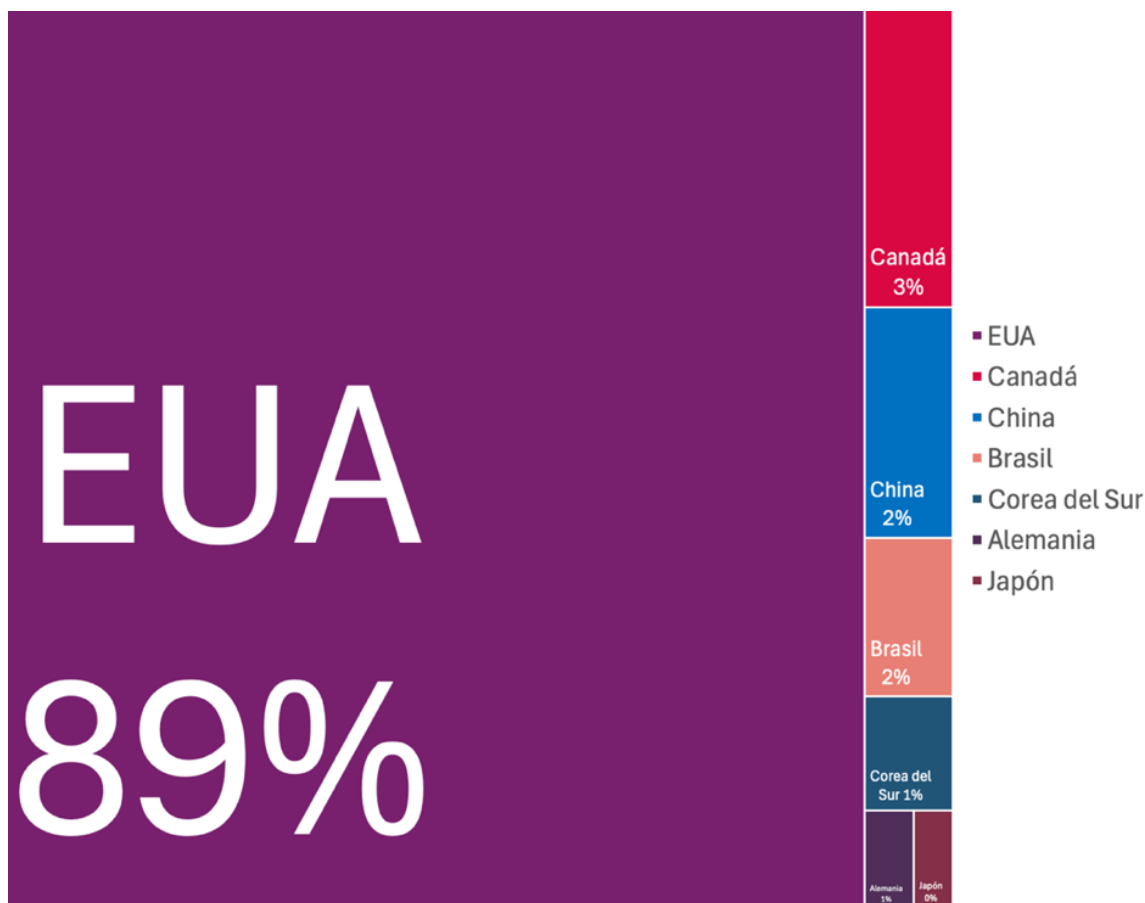


Fuente: Elaboración propia con datos de AMIA.

De igual forma, en 2023, 88.7% de las exportaciones de autopartes se enviaron a Estados Unidos, sólo 3% a Canadá, 2% a China y 2% a Brasil. Especialistas del sector automotriz calculan que hasta 40% de la proveeduría del sector automotriz en Estados Unidos proviene de México, lo que significa que las piezas cumplen con estrictos estándares de calidad internacionales que rigen la fabricación y uso de coches en territorio estadounidense como IATF o ISO.¹³⁰

¹³⁰ Alicia Salgado y Óscar Sandoval, *La Billetera. Entrevista con Sergio E. Contreras, presidente del Consejo Empresarial Mexicano de Comercio Exterior, Inversión y Tecnología (COMCE)*, transmitida en ADN 40 el pasado 15 de agosto de 2024. La entrevista puede consultarse aquí: <https://youtu.be/SdCA30KjK14?si=LEYsYggfzin6SQCV>.

Gráfica 15. Porcentaje de ventas internacionales de Partes y Accesorios de Vehículos Automotores de México por país de destino (2023)



Fuente: Elaboración propia con datos de Data México.

LA NORMA IATF 16949:2016 Y LA CUARTA REVOLUCIÓN INDUSTRIAL

Inspirada en los principios del sistema de gestión de la calidad de ISO, la International Automotive Task Force (IATF) surgió en 1996 con el objetivo de establecer un consenso internacional sobre los requisitos fundamentales de los sistemas de calidad de las empresas automotrices. Inicialmente, la IATF se integró con asociaciones nacionales de la industria automotriz de Alemania (VDA), Estados Unidos (AIAG), Francia (FIEV), Reino Unido (SMMT) e Italia (ANFIA). Durante la fundación de esta organización, armadoras de vehículos provenientes de estos cinco países, como BMW, Mercedes-Benz, Volkswagen, Ford, General Motors, Chrysler, Renault, Peugeot y Fiat, tuvieron un papel preponderante en

la creación de los estándares que, con el paso de los años, adoptaron otras firmas automotrices como Jaguar Land Rover, Geely, Volvo e IVECO.¹³¹

La primera norma desarrollada por la IATF se publicó en 1999, en colaboración estrecha con ISO, bajo el nombre de ISO/TS 16949. Esta norma se basó en los principios del sistema de gestión de la calidad de ISO 9001, pero incorporó requisitos adicionales específicos para la producción de autopartes y componentes automotrices. Con el tiempo, ISO/TS 16949 sufrió diversas actualizaciones hasta que, en 2016, la IATF optó por separarse de ISO y desarrollar su propio estándar independiente, dando origen a IATF 16949:2016. Aunque IATF sigue tomando como base ISO 9001, esta última versión incorpora requisitos adaptados específicamente a los requerimientos de las compañías armadoras.¹³²

Si bien IATF 16949:2016 no regula de manera específica la incorporación de nuevas tecnologías, sus lineamientos garantizan que cualquier innovación en las líneas de producción preserve la integridad del sistema de gestión de la calidad. Su alineación con los principios de ISO 9001 fomenta la mejora continua y la integración con otras normas de ISO que, como veremos más adelante, sí abordan tecnologías disruptivas con mayor grado de especificidad.¹³³ De esta manera, la certificación IATF regula las modificaciones en las líneas de producción de forma dinámica y adaptable, manteniéndose vigente frente a cualquier cambio tecnológico. Además, la norma IATF 16949:2016 obliga a la ejecución de auditorías, por lo menos cada 3 años, de cada proceso productivo, lo que garantiza que, en

¹³¹ International Automotive Task Force, *About IATF*, 2024, consultado en <https://www.iatfglobaloversight.org/about-iatf/>.

¹³² *Idem*.

¹³³ BSI Group, “IATF 16949 no solo es un requisito, sino una herramienta”, México, consultado en <https://www.bsigroup.com/es-MX/blog/blog-para-la-industria-automotriz/iatf-169492016-no-solo-es-un-requisito-sino-una-herramienta-del-sector-automotriz-para-la-resiliencia-de-las-empresas/>.

caso de adoptar nuevas tecnologías en algún proceso de manufactura, se debe evaluar periódicamente que la innovación cumpla con todos los requisitos de seguridad y calidad.¹³⁴

De igual manera, la norma IATF 16949:2016 dedica una sección específica a la planeación de cambios. Se trata de la sección 6.3, que estipula que cualquier modificación en los procesos productivos de las fábricas de automóviles y autopartes debe ser planeada con anticipación. Esta sección establece que, durante la implementación de los cambios, las empresas deben asegurar la integridad del sistema de gestión de calidad y evaluar los riesgos asociados. La norma también obliga a las compañías automotrices a redefinir responsabilidades y roles de los trabajadores para garantizar una correcta transición y aplicación de cualquier cambio productivo.

En 2024, México contaba con al menos 2,174 sitios de producción de automóviles y autopartes certificados bajo la norma IATF 16949. Este elevado número de sitios productivos con certificación sólo es superado por potencias automotrices como China (52,719), India (7,215), Corea del Sur (5,224), Estados Unidos (3,662) y Alemania (2,751).¹³⁵ Ante el avance de la Cuarta Revolución Industrial, el uso generalizado de la norma IATF en México garantiza que la implementación de cualquier cambio tecnológico en las fábricas tendrá que preservar la integridad del sistema de gestión de la calidad de cada fabricante.

¹³⁴ International Automotive Task Force, *IATF 16949:2016 – Preguntas más Frecuentes (FAQ)*, IATF, octubre de 2019, consultado en https://www.iatfglobaloversight.org/wp/wp-content/uploads/2019/11/IATF-16949-FAQs_Oct2019_es.pdf.

¹³⁵ International Automotive Task Force, *Statistics*, consultado en <https://www.iatfglobaloversight.org/statistics/> el 31 de Agosto de 2024.

Sin embargo, a pesar del uso generalizado del estándar IATF 16949 en la industria automotriz, es importante resaltar que algunas de las empresas y países más influyentes del sector no forman parte de la International Automotive Task Force (IATF) como miembros con derecho a voto. Aunque algunas armadoras han decidido voluntariamente no pertenecer a IATF, lo cierto es que este modelo de gobernanza concentra la toma de decisiones regulatorias en un grupo reducido de países y fabricantes, lo que en la práctica puede provocar distorsiones de mercado dentro de la industria al permitir que ciertos actores influyan en la definición de los estándares. Entre las armadoras que no están afiliadas a IATF destacan Toyota, Honda, Nissan, Hyundai, Tesla y BYD. Asimismo, países con industrias automotrices ampliamente desarrolladas, como Corea del Sur, Japón, China o México, no tienen representación empresarial dentro de IATF.

LA CUARTA REVOLUCIÓN INDUSTRIAL EN LA ERA ISO

La Organización Internacional de Normalización (ISO, por sus siglas en inglés) se fundó en 1947 y tiene su sede en Ginebra, Suiza. Al igual que otros organismos internacionales relevantes para el comercio mundial, como la Organización Mundial del Comercio (OMC), ISO se estableció en Suiza tras el fin de la Segunda Guerra Mundial debido a su estabilidad financiera y aparente neutralidad política, lo que ha convertido a este país europeo en un punto estratégico para la sede de diversas instituciones de gobernanza internacional.

El nombre ISO proviene del término griego ‘isos’ (igual), un concepto que refleja la esencia de esta organización transnacional. Desde su fundación, ISO se ha distinguido por desarrollar e implementar complejos sistemas de gestión de la calidad en compañías de diversos sectores, incluido el automotriz, con el objetivo de garantizar que los productos que

consumimos cumplan con estándares mínimos de calidad, independientemente del lugar de origen o la empresa que lo produzca.¹³⁶

La calidad es un concepto que popularizó el uso de certificaciones ISO, pues resultó muy atractivo para las compañías y los gobiernos de todo el mundo ya que, a diferencia de la uniformidad, los sistemas de gestión de la calidad no buscan que los productos sean idénticos, sino que cumplan con un conjunto de requisitos mínimos que garanticen su seguridad y desempeño óptimo. Esta visión, base de normas como ISO 9001, no impone una producción estandarizada en términos absolutos, sino que establece un piso mínimo de cumplimiento normativo que las empresas deben alcanzar para asegurar que sus productos cumplan con las expectativas de los consumidores.

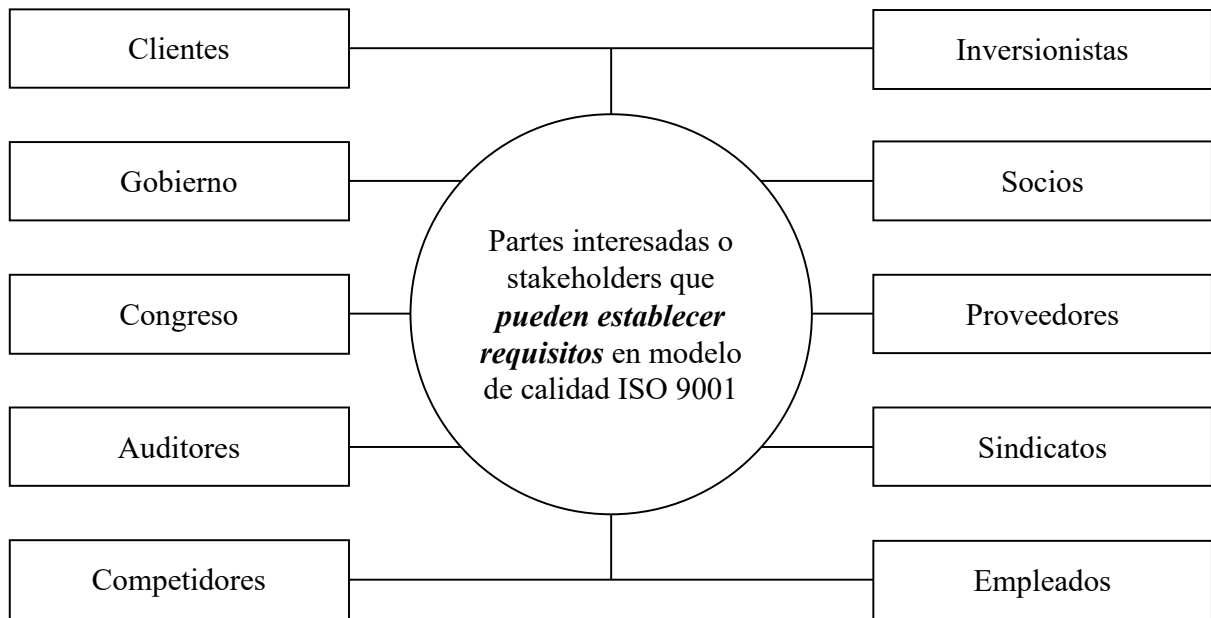
Según ISO 9001, la calidad se define como el grado en que un conjunto de características inherentes o rasgos distintivos de un objeto cumple con los requisitos. El conjunto de requisitos que debe cumplir un objeto es determinado por un grupo amplio de actores que, de una u otra manera, afectan la operación de cada empresa. Para ISO, el conjunto de requisitos que debe cumplir un objeto — como las autopartes o los automóviles — es establecido por las partes interesadas o stakeholders, que incluyen a clientes, inversionistas, gobierno, socios, proveedores, competidores, sindicatos y empleados.^{137 y 138}

¹³⁶ International Organization for Standardization (ISO), *About ISO*, consultado en <https://www.iso.org/about>.

¹³⁷ International Organization for Standardization (ISO), “9001:2015 Sistemas de gestión de la calidad”, ISO, 2015, consultada en <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:9001:ed-5:v1:es>.

¹³⁸ Richard Keen, *Understanding the Needs and Expectations of Interested Parties [ISO 9001]*, ISO 9001 Checklist, 26 de febrero de 2022, consultado en <https://www.iso-9001-checklist.co.uk/4.2-understanding-the-needs-and-expectations-of-interested-parties.htm>.

Gráfica 16. Mapa de actores del modelo de gestión de la calidad de ISO¹³⁹



Fuente: Elaboración propia con base en Kosutic (2022)

Aunque la norma ISO 9001 define los principios generales de gestión de la calidad y mejora continua, su enfoque es intencionalmente amplio, permitiendo su aplicación en cualquier industria sin especificar tecnologías en lo particular. Para suplir esta limitación, ante el avance de la Cuarta Revolución Industrial, ISO creó en 2019 el Comité de Coordinación para la Manufactura Inteligente (SMCC, por sus siglas en inglés), un comité técnico especializado para definir estándares específicos que regulen la integración de tecnologías disruptivas asociadas con la Cuarta Revolución Industrial en procesos productivos de las empresas.¹⁴⁰

Tras un estudio pormenorizado, el Comité identificó y definió un conjunto de 14 tecnologías de la Cuarta Revolución Industrial lo suficientemente maduras en su desarrollo

¹³⁹ Dejan Kosutic, “Who are interested parties, and how can you identify them according to ISO 27001 and ISO 22301?”, *Advisera*, 17 de Noviembre de 2022, consultado en <https://advisera.com/27001academy/knowledgebase/how-to-identify-interested-parties-according-to-iso-27001-and-iso-22301/>.

¹⁴⁰ISO Smart Manufacturing Coordinating Committee, *White paper on Smart Manufacturing*, Op. Cit., Agosto de 2021. El documento puede consultarse aquí: <https://www.iso.org/publication/PUB100459.html>.

como para ser implementadas en procesos productivos.¹⁴¹ Si bien el Comité advirtió que los estándares para la manufactura inteligente de estas tecnologías habilitadoras aún no pueden considerarse como plenamente consolidados pues la Cuarta Revolución Industrial está en una etapa temprana de desarrollo, lo cierto es que, desde 2019 a la fecha, ISO intensificó la publicación de normas relacionadas con ciertas tecnologías.¹⁴² En la siguiente tabla pueden observarse al menos 9 normas publicadas en los últimos 6 años por ISO, en su mayoría elaboradas en alianza con la Comisión Electrotécnica Internacional (IEC, por sus siglas en inglés), que están relacionadas con tecnologías habilitadoras de la Industria 4.0:

Gráfica 17. Estándares ISO relativos al uso e implementación de tecnologías habilitadoras de Industria 4.0

Tecnología habilitadora	Norma	Alcance	Año de publicación
Inteligencia Artificial y Machine Learning	ISO/IEC 22989:2022	Establece terminología y describe conceptos en el campo de la Inteligencia Artificial. Incluye definiciones y normativas para Machine Learning.	2022
Robótica	ISO 8373:2021	Define la terminología utilizada en el ámbito de la robótica. La última actualización ya reconoce conceptos asociados a la 4RI como los robots colaborativos o la interacción de humanos con robots.	2021
Internet de las Cosas	ISO/IEC 30141:2024	Propicia una Arquitectura de Referencia estandarizada para Internet de las Cosas, utilizando un vocabulario común, diseños reutilizables y mejores prácticas de la industria.	2024
Gemelo digital	ISO/IEC 30173:2023	Establece la terminología para el gemelo digital (DTw) y describe conceptos asociados con el campo del gemelo digital.	2023
Ciberseguridad y sistemas ciber - físicos	ISO/IEC AWI TS 5689	Establece un modelo conceptual de los sistemas ciber - físicos (CPS), detallando sus características específicas y sistemas de seguridad requeridos.	En desarrollo

¹⁴¹ *Ibid.*

¹⁴² *Ibid.*

Realidad virtual y aumentada	ISO/IEC 5927:2024	Especifica cómo deben configurarse y utilizarse los dispositivos de realidad aumentada (RA) y realidad virtual (RV) en el lugar de trabajo de la empresa, de forma que se garantice el mantenimiento de la salud y la seguridad, se comprendan las consecuencias de su uso y no se introduzcan riesgos adicionales.	2024
Cloud computing	ISO/IEC 22123-1:2023	Define los términos utilizados en el campo de la computación en la nube.	2023
Edge computing	ISO/IEC TR23188:2020	Examina el concepto de computación en el borde, su relación con la computación en la nube y el Internet de las Cosas (IoT), así como las tecnologías clave para su implementación. Explora aspectos como la arquitectura, terminología, clasificación del software y tecnologías de soporte.	2020
Big Data	ISO/IEC 20546:2019	Establece un conjunto de términos y definiciones para mejorar la comunicación y comprensión en el ámbito de big data, estableciendo una base terminológica para estándares relacionados. Además, ofrece una visión conceptual del campo de big data, su relación con otras áreas técnicas y estándares.	2019

Fuente: Elaboración propia con datos de ISO/IEC

Si bien ISO se ha posicionado como una organización técnica con una estructura democrática basada en la idea de que cada país miembro tiene un voto en la asamblea general, lo cierto es que más allá de este mecanismo formal que involucra a los 167 países miembros, hay otros mecanismos de influencia que permiten que los comités técnicos sean dominados por ciertas compañías y países con intereses específicos. Por ello, desde mi perspectiva, es fundamental estudiar con mayor detalle estos mecanismos internos de influencia que permiten que ciertos países y compañías ejerzan una mayor influencia que otros, especialmente a través de los comités técnicos donde se elaboran las normas que habilitan el uso de tecnologías emergentes en este sistema de gobernanza transnacional híbrido.

Por ejemplo, en el caso del Comité de Coordinación para la Manufactura Inteligente (SMCC) que integró ISO, participaron representantes de empresas tecnológicas como Siemens, ABB, Intel, Boeing e IBM, cuyos intereses podrían incidir en la dirección de las normas establecidas. Este tipo de dinámicas no son exclusivas de SMCC, sino que se replican con muchas otras empresas en otros comités clave de ISO e IEC, responsables de la elaboración de estándares para la Industria 4.0. Por tanto, en futuras investigaciones, es fundamental estudiar con mayor precisión la composición y el rol de estos comités técnicos, ya que son los responsables de definir y actualizar las normas que regulan la integración de tecnologías emergentes. Determinar quiénes participan y cuál es su influencia es esencial para comprender cómo se moldean las regulaciones globales, así como qué corporaciones tienen influencia en la definición de estándares asociados con las tecnologías emergentes y, sobre todo, con aquellas tecnologías que aún están por inventarse o desarrollarse.

Esta tarea implica descifrar un complejo entramado de organizaciones privadas y públicas que componen el sistema de gobernanza técnica transnacional que, como advierte Ladiaut, está conformado por decenas de sociedades científicas y empresas que establecen estándares a través de mecanismos de influencia, como los comités técnicos de ISO.¹⁴³ Se trata de un asunto totalmente estratégico para el comercio internacional en tanto que los estándares condicionan la viabilidad de nuevos mercados y tecnologías, los cuales solo pueden ser escalables e integrados a la globalidad si cumplen con ciertos requisitos que se imponen a través de este sistema híbrido de gobernanza técnica que, si bien se concentra en organizaciones como IATF, ISO o IEC, requiere del respaldo político de la mayoría de los gobiernos en todo el mundo para legitimarse.

¹⁴³ Santiago Liaudat, “Estándares técnicos, desarrollo y geopolítica: historia, actualidad y desafíos”, consultado en <https://www.cipi.cu/wp-content/uploads/2023/02/Trabajo.-Estandares-tecnicos-geopolitica-y-desarrollo.pdf>.

DEL NACIONALISMO TÉCNICO A LA INFRAESTRUCTURA DE LA CALIDAD

En México, la regulación productiva de la industria automotriz está basada en un modelo de gobernanza técnica híbrido donde coexisten estándares privados, como los que establecen IATF o ISO, con leyes federales. Los estándares internacionales se armonizan con ordenamientos de carácter federal en materia de normalización, metrología y, más reciente, infraestructura de la calidad. Así, en México, los estándares privados actualmente son reconocidos como referencia con validez legal por el sistema jurídico mexicano pues, desde la perspectiva de las autoridades, garantizan la alta calidad, seguridad y fiabilidad de los productos elaborados.¹⁴⁴ Sin embargo, a pesar de su autonomía regulatoria, siguiendo a Falkner, la validez y uso de estos estándares transnacionales es posible en tanto que el Estado, para reducir costos, tolera y propicia el desarrollo de normas privadas de alta especialización técnica.

En 1969, en su primer discurso como secretario general de ISO, Olle Sturen aseguró que “el nacionalismo técnico había desaparecido” en todo el mundo. Esta atrevida declaración se dio a tan sólo 2 décadas de la fundación de esta organización transnacional que surgió tras el fin de la Segunda Guerra Mundial en 1947, con apoyo de importantes oficinas nacionales de normalización. El secretario Sturen dijo que, ante el acelerado comercio internacional y la expansión en el uso de estándares comunes a nivel global, las fronteras nacionales técnicas y las ideas económicas nacionalistas habían perdido relevancia. Sin embargo, a pesar de su optimismo técnico, el secretario general de ISO reconoció que el nacionalismo político, en ocasiones con intereses distintos a los meramente técnicos, prevalecerá permanentemente “mientras vivamos”.¹⁴⁵

¹⁴⁴ International Organization for Standardization (ISO), “What can standards do for you”, ISO, Ginebra, Suiza, 2024, consultado en <https://www.iso.org/home.html>.

¹⁴⁵ Olle Sturen, “The expansion of ISO. Decade by decade”, en International Organization for Standardization (ISO), *Friendship among equals: recollections from ISO's first fifty years*, Ginebra, Suiza,

Como lo previó el secretario Sturen, en el caso de México, las normas nacionales técnicas, desde la década de los años ochenta y hasta la fecha, perdieron relevancia, sobre todo por la acción del Estado para favorecer la homologación internacional de nuestros estándares de normalización, metrología, acreditación y evaluación de la conformidad con el objetivo de acelerar las exportaciones mediante el desarrollo de corredores industriales. Así, tras la entrada en vigor del General Agreement on Tariffs and Trade (GATT) en 1986 y la posterior firma de tratados de libre comercio con socios comerciales estratégicos, las certificaciones ISO se generalizaron paulatinamente en la mayoría de las compañías establecidas en México de sectores como el manufacturero, incluyendo la producción automotriz, que también adoptó los estándares de IATF a partir de 1999.¹⁴⁶

José Augustin Portal sostiene que México, para acelerar sus exportaciones desde la década de los años ochenta del siglo pasado, tomó la decisión de ceder centralidad en el proceso de regulación productiva, como lo hicieron muchos otros países, para delegarlo a un tercero especializado en el desarrollo de estándares internacionales de calidad. Desde finales del siglo XX, México homologó su sistema de normalización y metrología con el de sus socios comerciales, principalmente Estados Unidos, Canadá y Europa, quienes reconocen en IATF e ISO a organizaciones muy eficaces para emitir regulaciones técnicas. En ese sentido, Portal sostiene que México expidió en 1992 la Ley Federal Sobre Metrología y Normalización con el fin de preparar al país en términos de estandarización y normalización para la entrada en vigor del Tratado de Libre Comercio de América del Norte (TLCAN) en 1994.¹⁴⁷

1997, pp. 57 – 67, consultado en https://www.iso.org/files/live/sites/isoorg/files/about%20ISO/docs/en/Friendship_among_equals.pdf.

¹⁴⁶ José Augustin Portal, “Mexican Standards Related Policy and Regulation”, en *United States – Mexico Law Journal*, Volumen 9, 2001, pp. 7 – 19. El artículo puede consultarse aquí: <https://digitalrepository.unm.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1157&context=usmexlj>

¹⁴⁷ *Ibid.*

Desde mi perspectiva, la decisión deliberada del Estado mexicano de homologar sus normas de producción industrial a estándares internacionales es una prueba de que sí hubo, desde la década de los ochenta hasta la fecha, una política industrial que habilitó el crecimiento de las exportaciones. Por tanto, concluyo que es falsa la socorrida idea de que “la mejor política industrial para México es la que no existe” pues el Estado mexicano sí ha tenido un papel relevante al actualizar leyes y ordenamientos que hoy permiten establecer como referencias legales a los estándares internacionales. Esta regulación delegada es una visión que favoreció el desarrollo de una economía basada en las exportaciones al incrementar el número de bienes intercambiables disponibles en territorio nacional.¹⁴⁸

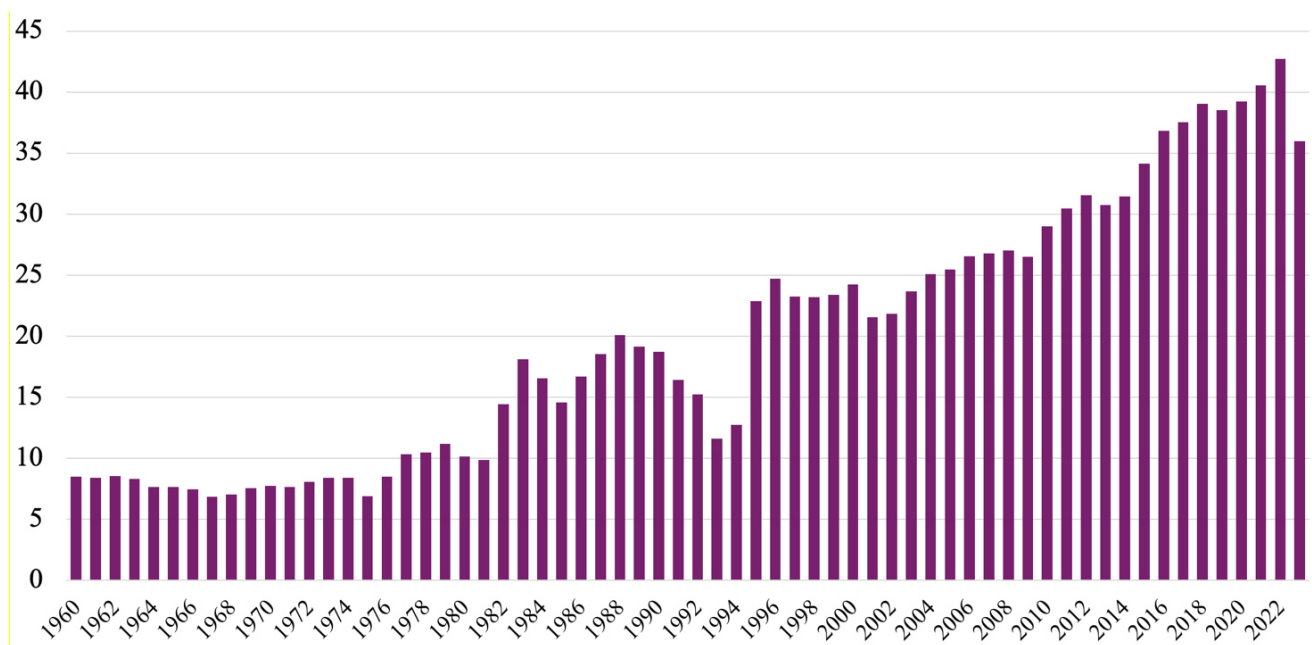
En las últimas décadas, México ha establecido los parámetros de su política industrial con base en un modelo regulatorio híbrido que tolera estándares internacionales, la reducción o eliminación de aranceles e impuestos, sobre todo para empresas de países estratégicos con tratados comerciales y la atracción de inversión extranjera directa. Hay evidencia de que la promulgación de las leyes de normalización, metrología y, más recientemente, infraestructura de la calidad obedecieron, en la práctica, a una decisión de Estado, a través de los poderes Ejecutivo y Legislativo, para no entorpecer la cadena productiva y acelerar la internacionalización de los productos elaborados en territorio nacional.¹⁴⁹

¹⁴⁸ La frase de que “la mejor política industrial para México es la que no existe” ha sido atribuida erróneamente al economista Jaime Serra Puche a quien se acusó, en su momento, de haber manifestado esa idea cuando negoció el TLCAN como secretario de Comercio y Fomento Industrial del gobierno de Carlos Salinas de Gortari (1988 – 1994). Enrique Campos asegura que la frase no es atribuible al exsecretario Serra Puche pues es más antigua y surgió en la época del posfranquismo español. (Enrique Campos Suárez, “Una política industrial más para olvidar”, en *El Economista* (Sec. Opinión), Lunes 07 de octubre de 2019, México, consultado en <https://www.eleconomista.com.mx/opinion/Una-politica-industrial-mas-para-olvidar-20191006-0061.html>)

¹⁴⁹ Incluso, autores como Portal consideran que México adoptó un camino hacia la privatización de las actividades de normalización y metrología, como parte de sus negociaciones comerciales con Estados Unidos, Canadá y la Unión Europea. José Augustin Portal, “Mexican Standards Related Policy and Regulation”, *op. cit.*, pp. 9 - 12.

Los resultados de esta política industrial deliberada desde la década de los años ochenta hasta la fecha no se hicieron esperar. En este periodo, México incrementó la producción de diversos bienes con fines de exportación, como automóviles, autopartes, electrónicos, tequila y cerveza. En total, como se observa en la siguiente gráfica, las exportaciones incrementaron su participación en el PIB mexicano en 32% entre 1980 y 2022, año en que las exportaciones de bienes y servicios representaron más de 42% del PIB nacional, una cifra récord en la historia del país.¹⁵⁰

Gráfica 18. Exportaciones de bienes y servicios en México como porcentaje del PIB (1970 - 2023)



Fuente: Elaboración propia con datos del Banco Mundial.

¹⁵⁰ Banco Mundial, Exportaciones de bienes y servicios (% del PIB) – México, Datos de cuentas nacionales del Banco Mundial y archivos de datos de Cuentas Nacionales de la OCDE, consultado en <https://datos.bancomundial.org/indicador/NE.EXP.GNFS.ZS?end=2023&locations=MX&start=1970>.

Los asombrosos resultados de esta política industrial de liberalización comercial han provocado, desde hace algunos años, una peculiar unanimidad y coincidencia ideológica de todas las fuerzas partidistas en México. En la clase política mexicana hay un consenso sobre que el país debe orientar e integrar sus cadenas productivas hacia esquemas de regulación basados en la armonización y homologación con fines de competitividad para la exportación, principalmente hacia mercados como Estados Unidos, Canadá y la Unión Europea, como lo demuestra la reciente discusión, aprobación y promulgación de la Ley de la Infraestructura de la Calidad.

Esta ley, impulsada por el gobierno del presidente López Obrador a través de la Secretaría de Economía, fue aprobada por el Congreso federal en 2020 casi por unanimidad. Su objetivo fue actualizar el marco normativo mexicano para incorporar el concepto de “Infraestructura de la Calidad”, promovido en años recientes por agrupaciones como ISO y la Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial (ONUDI). A diferencia del enfoque fragmentado de las décadas de los ochenta y noventa, que abordaba por separado la normalización, acreditación y evaluación de la conformidad, la Infraestructura de la Calidad propone un sistema integral y coordinado que garantiza, certifica y evalúa la calidad de los bienes y servicios producidos en un territorio determinado.¹⁵¹

La Ley de Infraestructura de la Calidad fijó las bases de esta nueva política industrial para garantizar la producción de bienes y servicios, a través de las actividades de normalización, estandarización, acreditación, evaluación de la conformidad y metrología.¹⁵²

¹⁵¹ ONUDI define un Sistema de la Infraestructura de Calidad (SIC) como una combinación de iniciativas, instituciones, organizaciones, actividades y personas. Usualmente, según ONUDI, el sistema incluye una política nacional de calidad, así como organizaciones gubernamentales capaces de ponerla en práctica, un marco regulatorio, proveedores de servicios de calidad, empresas, clientes y consumidores. (Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial (ONUDI), “Infraestructura de la calidad: Confianza para el comercio”, 2017, pp. 2, consultado en https://www.unido.org/sites/default/files/2017-02/QI_Spanish_final_0.pdf)

¹⁵² Cámara de Diputados, Ley de Infraestructura de la Calidad, promulgada el 01 de julio de 2020 por el presidente Andrés Manuel López Obrador. *op cit.*

La nueva legislación abrogó la antigua Ley Federal sobre Metrología y Normalización, que se encontraba vigente desde 1992, para propiciar, entre otros objetivos, una mayor innovación tecnológica y el desarrollo de más infraestructura física y digital.¹⁵³

La iniciativa de reforma para crear la Ley de la Infraestructura de la Calidad se desarrolló en la Secretaría de Economía y fue sometida a consulta pública durante algunos meses. Posteriormente, fue presentada por el líder parlamentario del partido político MORENA en la Cámara de Senadores, Ricardo Monreal, el 18 de marzo de 2020.¹⁵⁴ Tras su revisión en comisiones, la Ley se aprobó en el Senado de la República con 95 votos a favor y 3 en contra mientras que en la Cámara de Diputados obtuvo 367 votos a favor y hubo una sola abstención.

La Ley se aprobó en un periodo extraordinario, pues era uno de los compromisos de México ante la entrada en vigor del Tratado de Libre Comercio entre México, Estados Unidos y Canadá (T-MEC) que firmaron, en su momento, los presidentes Andrés Manuel López Obrador y Donald Trump y el primer ministro de Canadá, Justin Trudeau, en 2018.¹⁵⁵ La urgencia por promulgar diversas leyes necesarias para el T-MEC llevó al Congreso federal a convocar a un singular periodo extraordinario y, dentro de los dictámenes a votación, se incluyó la Ley de la Infraestructura de la Calidad.^{156 y 157}

¹⁵³ Cámara de Diputados, Ley de Infraestructura de la Calidad, *op. cit.*

¹⁵⁴ Sen. Ricardo Monreal Ávila, “Iniciativa con proyecto de decreto por el que se expide la Ley de Infraestructura de la Calidad y se abroga la Ley Federal sobre Metrología y Normalización”, Cámara de Senadores, México, 18 de marzo de 2020, consultada en https://comisiones.senado.gob.mx/hacienda/docs/parlamento/iniciativa_1.pdf.

¹⁵⁵ Carlos Cordero, “Avala Senado Ley de Infraestructura de la Calidad, última en marco T-MEC”, *Quadratin México*, 29 de junio de 2020, México, consultado en <https://mexico.quadratin.com.mx/avala-senado-ley-de-infraestructura-de-la-calidad-ultima-en-marco-t-mec/>.

¹⁵⁶ Cámara de Diputados, Dictámenes aprobados en la LXIV Legislatura relativos a leyes o decretos, Secretaría de Servicios Parlamentarios, México, consultado en https://sitl.diputados.gob.mx/LXIV_leg/dictameneslxiv_ld.php?edot=2&init=0&tipot=&pert=13.

¹⁵⁷ Cámara de Diputados, Ley de Infraestructura de la Calidad, promulgada el 01 de julio de 2020 por el presidente Andrés Manuel López Obrador. (Cámara de Diputados, México, 2020) tras su aprobación el 30 de junio de 2020. Se consultó en: https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LICal_010720.pdf.

En la exposición de motivos de la iniciativa de reforma de Ley de Infraestructura de la Calidad, el entonces senador Monreal aseguró que el nuevo ordenamiento motiva la adopción y uso de parámetros internacionales para el desarrollo de estándares como los establecidos por ISO o IEC.¹⁵⁸ El legislador explicó que el objetivo central de la Ley de la Infraestructura de la Calidad es armonizar las actividades de evaluación de la conformidad que se realizan en México respecto a las que se realizan en otros países, lo que, a decir del entonces líder de MORENA en la Cámara Alta, representa beneficios de largo alcance para impulsar al sector productivo nacional en el comercio internacional, facilitando la suscripción de acuerdos entre México y otros países o regiones económicas.¹⁵⁹

Entre los objetivos de la Ley de la Infraestructura de la Calidad, precisamente, según lo expresado por la entonces secretaria de Economía, Graciela Márquez Colín, está fomentar el desarrollo de nuevas tecnologías y, sobre todo, armonizar nuestra legislación con las leyes comerciales y estándares internacionales que rigen en los principales mercados a los que exportamos.^{160 y 161} En materia automotriz, la Ley de la Infraestructura de la Calidad se convirtió en la referencia técnica que regula la comercialización y circulación de automóviles nuevos en la Ley General de Seguridad Vial, una nueva legislación federal y estatal que también se aprobó durante el sexenio del presidente López Obrador.

¹⁵⁸ Sen. Ricardo Monreal Ávila, “Iniciativa con proyecto de decreto por el que se expide la Ley de Infraestructura de la Calidad y se abroga la Ley Federal sobre Metrología y Normalización”, *op cit*.

¹⁵⁹ *Ibid*.

¹⁶⁰ Secretaría de Economía, *Presenta la Secretaría de Economía proyecto de nueva Ley de Infraestructura de la Calidad*, Gobierno de México, México, 23 de agosto de 2019, consultado en <https://www.gob.mx/se/prensa/presenta-la-secretaria-de-economia-proyecto-de-nueva-ley-de-infraestructura-de-la-calidad>.

¹⁶¹ Senadores de MORENA, Versión estenográfica del mensaje de la doctora Graciela Márquez Colín, secretaria de Economía, durante el segundo día de trabajos de la III Reunión Plenaria del Grupo Parlamentario de Morena de la LXIV Legislatura, 30 de agosto de 2019, México, consultado en <https://morena.senado.gob.mx/version-estenografica-graciela-marquez-colin-iii-reunion-plenaria-morena/>.

Esta ley, promulgada en abril de 2024, estableció en su artículo 54 que los automóviles nuevos deben cumplir con los dispositivos, sistemas y estándares de seguridad de las Normas Oficiales Mexicanas (NOM), de acuerdo con lo establecido por la Ley de Infraestructura de la Calidad. De esta forma, la Ley General de Seguridad Vial, aprobada en el Senado con 102 votos, especificó que la regulación técnica para automóviles nuevos deberá establecerse de acuerdo con estándares, recomendaciones y mejores prácticas internacionales, lo que convierte a las certificaciones de organizaciones como IATF, ISO y IEC en referencias con validez legal en el sistema jurídico mexicano para la regulación de la producción automotriz en el país.^{162 y 163}

La reciente aprobación de la Ley de la Infraestructura de la Calidad evidencia el consenso dentro del sistema político mexicano sobre la importancia de delegar la regulación productiva en estándares y organismos internacionales, cuyo respaldo y eficacia han sido ampliamente reconocidos por su capacidad para establecer sistemas de gestión que garantizan la calidad y seguridad de los productos fabricados. Esta estrategia industrial y comercial, validada unánimemente por las principales fuerzas políticas del país, ha facilitado la integración de México en cadenas globales de valor, las cuales están instaladas desde hace tiempo en nuestro territorio y contribuyen significativamente con el PIB nacional.

¹⁶² Senado de la República, “Senado aprueba Ley General de Movilidad y Seguridad Vial; turnan proyecto al Ejecutivo”, 05 de abril de 2022, Coordinación de Comunicación Social, LXV Legislatura, consultado en <https://comunicacionsocial.senado.gob.mx/informacion/comunicados/2347-senado-aprueba-ley-general-de-movilidad-y-seguridad-vial-turnan-proyecto-al-ejecutivo>.

¹⁶³ Ley General de Seguridad Vial, Artículo 54 “De los estándares de vehículos nuevos”, promulgada por el Ejecutivo federal en el Diario Oficial de la Federación el 17 de mayo de 2022 tras ser aprobada por el Senado de la República con 102 votos a favor. Se consultó en: https://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5652187&fecha=17/05/2022#gsc.tab=0 y <https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LGMSV.pdf>.

IV. CONCLUSIONES

La regulación de la producción automotriz en México se ha modificado con base en la cambiante política industrial del país, que ha transitado desde las visiones más proteccionistas hasta las políticas más neoliberales. Durante los siglos XIX, XX y XXI, la regulación técnica de la industria automotriz ha estado sujeta a diversos factores, que van desde demandas sociales y gubernamentales en favor de la seguridad vial y en contra de los embotellamientos y la contaminación atmosférica, hasta reformas federales para homologar estándares internacionales de gestión de la calidad local con fines de expansión comercial.

Ante la Cuarta Revolución Industrial, la regulación productiva de la industria automotriz ha estado sujeta a un sistema híbrido de gobernanza técnica transnacional, en el que tienen un papel preponderante las compañías armadoras y organizaciones como IATF e ISO. Este sistema de gobernanza transnacional se encarga, a través de comités técnicos, de normar el uso de tecnologías emergentes en las líneas de producción, con base en los principios del modelo de gestión de la calidad.

En esta investigación mostré que las disrupciones tecnológicas, sobre todo en el capitalismo global, difícilmente entienden de fronteras u organizaciones político-administrativas. Al integrarse al mercado global en cadenas transnacionales de valor, son las organizaciones político-administrativas, a saber, el Estado, quienes deliberadamente se sujetan a esquemas de gobernanza híbridos que toleran o habilitan la autorregulación, en algunos casos, y la correulación en otros, con base en certificaciones o estándares internacionales privados. Así, identifiqué que organizaciones como ISO, encargadas de la regulación productiva transnacional, sí han desarrollado nuevas instituciones o estándares para regular el uso de 14 tecnologías asociadas con la Cuarta Revolución Industrial, en alianza con organizaciones como IEC.

Desde los años ochenta a la fecha, el Estado mexicano ha decidido ceder su capacidad regulatoria a terceros especializados con el objetivo de atraer inversión y aumentar las exportaciones. Este modelo no implica necesariamente una debilidad del Estado en su capacidad para imponer regulaciones unilaterales, como aranceles o impuestos, sino una estrategia para fomentar la competitividad e integración en un sector donde la certificación técnica y la optimización logística son esenciales para el comercio internacional. Los resultados de esta decisión deliberada para permitir el comercio internacional de vehículos con estándares globales hablan por sí solos: México exportó, tan solo en 2023, 3.3 millones de vehículos ligeros, lo que lo convirtió en el séptimo productor en el mundo.¹⁶⁴

Sin embargo, regresando a la idea de las variedades del capitalismo de Hall y Soskice, México se ha consolidado en años recientes como una potencia en la producción de automóviles y autopartes, bajo un acuerdo político – económico muy distinto al de las tradicionales potencias automotrices. Hay que reconocer que, durante este periodo, el crecimiento en la producción de automóviles y autopartes en nuestro país no estuvo acompañado de ningún proyecto nacional de ciencia y tecnología robusto que se asemeje a lo que han construido otros líderes del sector como Estados Unidos, China, Alemania, Japón, Italia o Francia. Más bien, México siguió un modelo basado estrictamente en la atracción de inversión extranjera y la conformación de clústeres industriales para aumentar la exportación de bienes manufacturados en el país, sin consolidar una estrategia nacional de innovación o desarrollo científico y tecnológico.

¹⁶⁴ Asociación Mexicana de la Industria Automotriz (AMIA), Vehículos Ligeros, <https://amia.com.mx/vehiculosligeros/>.

Como afirman Meckling y Nahm, la intervención de algunos Estados preponderantes para fomentar el cambio y la innovación tecnológica depende, en gran medida, de patrones sectoriales asociados con las relaciones de competencia y/o coordinación entre el gobierno y las empresas de un mercado específico. Esta perspectiva contribuye a entender por qué, a pesar de que los avances tecnológicos están disponibles para todos los países en simultáneo, hay disparidades considerables en la creación y adopción de tecnologías.¹⁶⁵ A diferencia de México, los países que han desarrollado armadoras propias sí han consolidado distintos mecanismos y acuerdos de cooperación público – privada para invertir, año con año, en extensos programas de investigación científica y desarrollo tecnológico. Estos mecanismos de coordinación les permiten a las armadoras de esos países mantenerse en la vanguardia en esta industria, que requiere esfuerzos militares, científicos, corporativos, políticos y diplomáticos coordinados para su plena operación.

Si bien México requiere hacer más desde lo público, sobre todo en el fomento a la educación, la ciencia y la tecnología, esta investigación demostró que la industria automotriz mexicana sí está implementando nuevas tecnologías en las plantas de producción. A pesar de la ausencia de políticas públicas robustas de ciencia y tecnología, según los hallazgos del catálogo de proyectos de Industria 4.0, al menos 46 compañías han adoptado tecnologías 4.0. Esta adopción, como anticipaban los estudios preliminares de Carrillo y Nava, se ha dado de manera escalonada, siendo los fabricantes de equipo original (OEM) y los proveedores de primer nivel (Tier 1) los que más han implementado nuevas tecnologías en sus procesos productivos.

¹⁶⁵ Jonas Meckling y Jonas Nahm, “When do states disrupt industries? Electric cars and the politics of innovation”, *Review of International Political Economy*, Volumen 25, Número 4, 2018, pp. 505 – 529.

A pesar de que la disrupción tecnológica ha sido inicialmente más intensiva en las armadoras y compañías Tier 1, esta investigación identificó el uso de tecnologías 4.0 en todos los niveles de la cadena de suministro, desde la fabricación de autopartes hasta el ensamblaje. En México, compañías de todos los niveles emplean tecnologías 4.0 para la producción de componentes clave, como llantas, monoblocks, bielas, frenos, pistones, suspensiones, transmisiones y trenes motrices, y sistemas de seguridad y confort, como bolsas de aire, cinturones de seguridad, cristales automotrices, limpiaparabrisas y volantes. Además, se han implementado nuevas tecnologías en procesos críticos como el ensamble, el estampado, la soldadura, la pintura, el monitoreo de calidad, el mantenimiento y la ciberseguridad.

Este hallazgo demuestra que, tras décadas de liberalización comercial, el país tiene la capacidad de integrarse en complejas cadenas globales de manufactura avanzada y que, con el paso de los años, las empresas y trabajadores del sector han adquirido habilidades y certificaciones técnicas cada vez más especializadas que les permiten adaptarse continuamente a los cambios tecnológicos de esta industria. Esta interpretación se confirma con los más de 2,174 establecimientos certificados por IATF, una cifra que muestra la gran capacidad productiva instalada de México, un argumento que debería convertirse en parte de la estrategia comercial del país frente a próximas revisiones de tratados comerciales.

Además, ante la relocalización de operaciones industriales, en el contexto del llamado nearshoring, que estudian Martínez y Terrazas, los estándares internacionales de IATF e ISO se mantienen vigentes y se vuelven un requisito fundamental para la integración productiva entre regiones, que ahora buscan fortalecer sus cadenas de suministro en función de consideraciones geopolíticas y cercanía ideológica.¹⁶⁶ Con el nearshoring, los estándares privados seguirán siendo fundamentales para la industria automotriz, sobre todo ante el

¹⁶⁶ Nain Martínez y Diana Terrazas, “Contextualizando el nearshoring de vehículos eléctricos en México” en Arturo Oropeza (coord.), *Op Cit.* pp. 304 – 331.

incremento en la producción y circulación de automóviles eléctricos y autónomos que requerirán de nuevas especificaciones para garantizar la seguridad y tránsito de las personas por el espacio público.

El análisis histórico de la regulación automotriz muestra cómo la evolución tecnológica ha estado acompañada de cambios en la estructura institucional del sector. En sus primeras etapas, la regulación del Estado buscó normar la circulación de los automotores para luego proteger y desarrollar la industria nacional en el periodo post – revolucionario. Posteriormente, con la apertura comercial, el país optó por un esquema de normalización e infraestructura de la calidad, cuya base son los estándares internacionales que, con esta política industrial liberal, convirtieron a México en un receptor o importador de tecnología y de regulaciones extranjeras.

Si bien la delegación de la regulación técnica a organismos internacionales es una decisión estratégica del Estado, hay otras áreas relacionadas con el fomento industrial, científico y tecnológico en las que el papel del Estado mexicano es prácticamente nulo, lo que sí refleja una debilidad estructural. Desde mi perspectiva, la falta de inversión en investigación tecnológica, desarrollo científico y capacitación laboral profundiza la dependencia de México en tecnologías desarrolladas en otros países. En este sentido, se corre el riesgo de que la Cuarta Revolución Industrial, como ocurrió con las tres anteriores, solo sea un cambio exógeno que obligue a México a importar tecnologías, junto con sus correspondientes estándares, limitando su capacidad de adaptación y su margen de acción en la industria global.

La ausencia de una política industrial que fomente la actualización y renovación tecnológica de la base laboral de industria manufacturera recurrentemente es preocupante pues, siguiendo a Rodríguez y Sánchez, los trabajadores de la industria establecida en México están expuestos a nuevos procesos, basados en la tecnificación y la robotización, con escasas inversiones públicas en investigación, desarrollo y capacitación del talento. Más allá de incipientes esfuerzos, como el programa nacional de Educación Dual, se requieren más inversiones enfocadas en fortalecer las capacidades laborales de los trabajadores automotrices y, sobre todo, incrementar la tasa de estudiantes graduados de carreras de ciencia, tecnología, ingeniería y matemáticas (STEM, por sus siglas en inglés).¹⁶⁷

De igual forma, es fundamental que, en términos públicos, se desarrollen más capacidades de especialización técnica que garanticen, por lo menos, una actualización constante del conocimiento estatal acerca del desarrollo de nuevas tecnologías que, en esta etapa del capitalismo, se han acelerado vertiginosamente. Aunque se establezcan y validen unánimemente sistemas de gobernanza técnica transnacional, considero que es una prioridad estratégica del Estado contemporáneo el entendimiento y regulación de las tecnologías emergentes, sobre todo con miras a garantizar la seguridad y salud de sus habitantes.

En este sentido, futuras investigaciones deben analizar con mayor precisión la composición y el rol de los comités técnicos encargados de definir y actualizar normas sobre tecnologías emergentes en organizaciones como ISO. Identificar quiénes participan y cuál es su influencia es clave para comprender cómo se elaboran las regulaciones globales y qué actores corporativos determinan los estándares que regirán, no solo las tecnologías actuales, sino también aquellas que aún están por desarrollarse y comercializarse.

¹⁶⁷ En “El Futuro del Trabajo automotiz”. Seminario sobre trabajo y desigualdades, El Colegio de México, “*El futuro del trabajo automotriz*”, Mauricio Rodríguez Abreu y Landy Sánchez Peña. https://trades.colmex.mx/archivos/QXB1bnRIU2VzaW9uCiAzCmRvY3VtZW50bw==/Apuntes_para_la_equidad_1.pdf

Por tanto, se vuelve crucial la tarea de descifrar el complejo entramado de organizaciones privadas y públicas que componen este sistema de gobernanza técnica transnacional. Se trata de un aspecto estratégico para el comercio internacional, ya que los estándares condicionan, hasta cierto punto, la viabilidad de nuevos mercados y tecnologías. Solo aquellas innovaciones que cumplan con los requisitos impuestos por este sistema híbrido de gobernanza técnica pueden ser escalables e integradas a la globalidad.

Para que México cuente con una política industrial más resiliente, diversificada e independiente, es necesario diseñar una estrategia más integral que, más allá de la regulación técnica delegada, le permita al país posicionarse como un actor estratégico en la producción de automóviles y autopartes. Esto implica fortalecer las capacidades nacionales en ciencia y tecnología para que, en el futuro, las innovaciones del sector automotriz no sean solo una respuesta reactiva a estándares definidos en el extranjero, sino una oportunidad para construir capacidades propias que permitan al país influir en el futuro de la industria automotriz.

V. ANEXO A. CATÁLOGO DE PROYECTOS AUTOMOTRICES DE INDUSTRIA 4.0 EN MÉXICO

Empresa	Posición en cadena	País de origen	Tecnología(s) implementada(s)	Año de difusión
General Motors	OEM	EUA	▪ Automatización Flexible ▪ Robótica avanzada	2022
BMW	OEM	Alemania	▪ Automatización Flexible ▪ Robótica avanzada	2020
Nissan	OEM	Japón	▪ Automatización Flexible ▪ IA ▪ Realidad Virtual ▪ Infraestructura de datos ▪ IIoT	2022
Volkswagen	OEM	Alemania	▪ Automatización Flexible ▪ Robótica avanzada	2020
Ford	OEM	EUA	▪ Digitalización ▪ Infraestructura de datos ▪ Robótica avanzada ▪ IIoT	2021
Audi	OEM	Alemania	▪ Robótica avanzada	2020
KIA	OEM	Corea del Sur	▪ Infraestructura de datos ▪ Automatización Flexible ▪ Digitalización ▪ Robótica avanzada	2021
Honda	OEM	Japón	▪ Robótica avanzada ▪ Automatización Flexible	2023
Mazda	OEM	Japón	▪ Robótica avanzada ▪ Automatización Flexible	2019
Toyota	OEM	Japón	▪ Robótica avanzada ▪ Automatización Flexible	2020
Stellantis	OEM	Países Bajos	▪ Robótica avanzada ▪ Automatización Flexible	2017
Volvo Buses	OEM	Suecia	▪ Automatización Flexible	2021
JAC/Giant Motors Latinoamérica	OEM	China	▪ Computación en la nube ▪ Digitalización ▪ Infraestructura de datos	2023
Daimler/Mercedes Benz	OEM	Alemania	▪ Digitalización ▪ Infraestructura de datos ▪ Robótica avanzada ▪ Automatización Flexible	2021
Goodyear	Tier 1	EUA	▪ Digitalización ▪ Gemelo digital	2017

Michelin	Tier 1	Francia	▪ Automatización Flexible ▪ IIoT ▪ Realidad Aumentada ▪ IA ▪ Infraestructura de datos	2023
Pirelli	Tier 1	Italia	▪ Digitalización ▪ Gemelo digital	2024
Continental	Tier 1	Alemania	▪ Automatización Flexible ▪ Digitalización ▪ Machine Learning ▪ Infraestructura de datos ▪ Realidad Aumentada	2021
APTIV	Tier 1	Irlanda	▪ Digitalización ▪ Machine Learning ▪ Infraestructura de datos ▪ Automatización Flexible ▪ IIoT	2023
Metalsa	Tier 1	México	▪ Digitalización ▪ Automatización Flexible ▪ Robótica avanzada ▪ Infraestructura de datos	2023
Rassini	Tier 1	México	▪ IA ▪ Robótica avanzada ▪ Digitalización ▪ Automatización Flexible	2022
Bocar Group	Tier 1	México	▪ Automatización Flexible ▪ Robótica avanzada ▪ Gemelo digital	2020
ZF Group	Tier 1	Alemania	▪ Automatización Flexible ▪ IA ▪ IIoT ▪ Computación en la nube ▪ Infraestructura de datos	2021
Bosch	Tier 1	Alemania	▪ Automatización Flexible ▪ Robótica avanzada ▪ Digitalización ▪ IA ▪ IIoT	2023
Eaton	Tier 1	EUA	▪ Digitalización ▪ Automatización Flexible ▪ Infraestructura de datos	2024

Forvia	Tier 1	Francia	▪ Digitalización ▪ Infraestructura de datos ▪ Robótica avanzada ▪ Realidad Virtual ▪ Realidad Aumentada ▪ Automatización Flexible ▪ Cobots ▪ IA	2022
Autoliv	Tier 1	Suecia	▪ Digitalización ▪ Automatización Flexible	2021
BorgWarner	Tier 1	EUA	▪ Automatización Flexible	2022
Mitsubishi Electric Automation	Tier 1	Japón	▪ Automatización Flexible ▪ Digitalización ▪ Robótica avanzada ▪ Infraestructura de datos	2022
Beckhoff	Tier 1	Alemania	▪ Automatización Flexible ▪ Computación en la nube ▪ Digitalización ▪ Infraestructura de datos	2022
Valeo	Tier 1	Francia	▪ Robótica avanzada	2020
Vitro	Tier 1	México	▪ Digitalización ▪ Robótica avanzada ▪ Gemelo digital	2022
Questum	Tier 1	México	▪ Automatización Flexible	2022
Nemak	Tier 1	México	▪ Manufactura Aditiva	2015
Brembo	Tier 1	Italia	▪ Automatización Flexible ▪ IIoT ▪ Digitalización ▪ IA ▪ Machine Learning ▪ Realidad Aumentada	2020
Fives	Tier 1 o 2	Francia	▪ Automatización Flexible ▪ Digitalización ▪ Robótica avanzada	2023
Schneider Electric	Tier 1 o Tier 2	Francia	▪ Automatización Flexible ▪ Digitalización ▪ Infraestructura de datos ▪ IIoT ▪ Edge computing ▪ Computación en la nube ▪ Machine Learning	2023
Siemens	Tier 1 o Tier 2	Alemania	▪ Automatización flexible ▪ Digitalización ▪ Gemelo Digital ▪ IIoT ▪ IA ▪ Machine Learning	2017

ABB	Tier 1 o Tier 2	Suiza	▪ Automatización Flexible ▪ Robótica avanzada ▪ Digitalización	2018
OMRON	Tier 1 o Tier 2	Japón	▪ Automatización Flexible ▪ Robótica avanzada ▪ Infraestructura de datos ▪ IA ▪ Digitalización	2024
3M	Tier 1 o Tier 2	EUA	▪ Automatización Flexible ▪ Digitalización ▪ IA ▪ Infraestructura de datos ▪ Robótica avanzada	2022
PPG	Tier 1 o Tier 2	EUA	▪ Automatización Flexible ▪ Digitalización	2023
Juki	Tier 2	Japón	▪ Digitalización ▪ Automatización Flexible	2023
Walor	Tier 2	Francia	▪ Automatización Flexible ▪ Digitalización ▪ Infraestructura de datos ▪ IIoT	2022
Mitutoyo	Tier 2	Japón	▪ Digitalización ▪ Gemelo digital ▪ Infraestructura de datos	2024
Ternium	Tier 3	Italia	▪ Automatización Flexible ▪ Digitalización ▪ IA ▪ Machine Learning ▪ Robótica avanzada ▪ IIoT ▪ Gemelo digital ▪ Realidad Virtual	2017

VI. REFERENCIAS

Arciniega, Rosa Silvia, *La Industria Automotriz. Proveedora de Autopartes en México.*

Reestructuración productiva y relaciones de empleo, editorial Gedisa, Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Iztapalapa, Consejo Editorial de Ciencias Sociales y Humanidades, México, 2020, pp. 202 – 206.

Arellano, David *et. al*, *Política de tránsito en el DF de México: una introducción a su estudio empírico*, Documento de Trabajo, Centro de Investigación y Docencia Económicas (CIDE), México, 2011, pp. 5, consultado en <http://repositorio-digital.cide.edu/handle/11651/754>.

Asociación Española de Normalización (UNE), “Estandarización para la Industria 4.0”, *Informes de Normalización*, España, 2017, consultado en https://www.une.org/normalizacion_documentos/Estandarizacion-para-la-industria-4_0.pdf.

Asociación Mexicana de la Industria Automotriz (AMIA), *Exportación de vehículos ligeros*, México, 2023, consultado en <https://amia.com.mx/exportacion-de-vehiculos-ligeros1/>.

Asociación Mexicana de la Industria Automotriz (AMIA), *Importancia de la Industria Automotriz*, México, 2022, consultado en https://amia.com.mx/publicaciones/industria_automotriz/.

Asociación Mexicana de la Industria Automotriz (AMIA), *Indicadores Nacionales Relacionados*, México, 2022, consultado en <https://amia.com.mx/indicadores-nacionales-relacionados1/>.

Asociación Mexicana de la Industria Automotriz (AMIA), *Indicadores Internacionales Relacionados*, México, 2021, consultado en <https://amia.com.mx/indicadores-internacionales-relacionados1/>.

Asociación Mexicana de la Industria Automotriz (AMIA), *México en la Producción Mundial de Vehículos*, México, 2021, consultado en <https://www.amia.com.mx/about/vehiculos-mexico/>.

Asociación Mexicana de la Industria Automotriz (AMIA), *Vehículos Ligeros*, <https://amia.com.mx/vehiculosligeros/>.

Banco Mundial, *Exportaciones de bienes y servicios (% del PIB) – Mexico*, Datos de cuentas nacionales del Banco Mundial y archivos de datos de Cuentas Nacionales de la OCDE, consultado en <https://datos.bancomundial.org/indicador/NE.EXP.GNFS.ZS?end=2023&locations=MX&start=1970>.

Barquera, Odracir, *Entrevista cualitativa*, AMIA, 12 de abril de 2024, Ciudad de México, México.

Cámara de Diputados, *Dictámenes aprobados en la LXIV Legislatura relativos a leyes o decretos*, Secretaría de Servicios Parlamentarios, México, consultado en https://sitl.diputados.gob.mx/LXIV_leg/dictameneslxiv_ld.php?edot=2&init=0&tipot=&pert=13.

Cámara de Diputados, *Ley de Infraestructura de la Calidad*, promulgada el 01 de julio de 2020 por el presidente Andrés Manuel López Obrador tras su aprobación el 30 de junio de 2020. Se consultó en: https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LICal_010720.pdf

Cámara de Diputados, *Ley General de Movilidad y Seguridad Vial*, versión publicada el 08 de mayo de 2023. La Ley General de Movilidad y Seguridad Vial puede consultarse aquí: <https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LGMSV.pdf>.

Campos, Enrique “Una política industrial más para olvidar”, en *El Economista* (Sec. Opinión), lunes 07 de octubre de 2019, México. El artículo puede consultarse aquí:

<https://www.eleconomista.com.mx/opinion/Una-politica-industrial-mas-para-olvidar-20191006-0061.html>.

Carrillo, Jorge *et al.*, “¿Podrán transitar los ingenieros a la Industria 4.0? Análisis industrial en Baja California”, *Entreciencias: Diálogos En La Sociedad Del Conocimiento*, ENES León, Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), Año 8, Número 22, México, 2020.

Carrillo, Jorge y Maximino Matus, “Will the Mexican Auto Parts Maquilas Be Able to Transit to I4.0?”, *Paradigma económico. Revista de economía regional*, Volumen 12, no. 2, Julio 2020, pp. 39 – 61.

Christensen, Clayton M., *The innovator’s Dilemma: When New Technologies Cause Great Firms to Fail*, Harvard Business School Press, Boston, Massachusetts, Estados Unidos, 1997, 211 p.

Coase, Ronald H., The Nature of the Firm, *Economica*, Volumen 4, Número 16, noviembre de 1937, pp. 386 – 405, consultado en <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1111/j.1468-0335.1937.tb00002.x>

Cordero, Carlos, “Avala Senado Ley de Infraestructura de la Calidad, última en marco T-MEC”, *Quadratin México*, 29 de junio de 2020, México, consultado en <https://mexico.quadratin.com.mx/avala-senado-ley-de-infraestructura-de-la-calidad-ultima-en-marco-t-mec/>.

Departamento para Negocios, Energía y Estrategia Industrial del Gobierno del Reino Unido, *Standards for the Fourth Industrial Revolution*, British Standards Institution, National Physical Laboratory y United Kingdom Accreditation Services, Reino Unido, Julio de 2021.

Eckermann, Erik “The Pioneering Era and Coming of Age—1885 to 1918”, *World History of the Automobile*, Society of Automotive Engineers, Pensilvania, Estados Unidos, 2001, pp. 25 – 78.

Edwards, Max, ISO Standards for the Automotive Industry, ISMS, 20 de octubre de 2023, consultado en <https://www.isms.online/sectors/iso-standards-for-the-automotive-industry/>.

Etzkowitz, Henry y Loet Leydesdorff, “The Triple Helix -- University-Industry-Government Relations: A Laboratory for Knowledge Based Economic Development”, *Revista EASST*, Volumen 14, Número 1, enero de 1995, pp. 14-19, 1995.

Falkner, Robert, “Private environmental governance and international relations: exploring the links”, *Global Environmental politics*, London School of Economics and Political Science & Massachusetts Institute of Technology, Volumen 3, 2, 2003, pp. 72 – 87.

FAMA, Maquinaria y soluciones en automatización para la industria del vidrio. FAMA by Vitro, México, 2024. Consultado en <https://www.fama.com.mx/>.

FAMA, Transforming together, FAMA by Vitro, México, 2024, consultado en https://fama.com.mx/wp-content/uploads/2023/09/FAMA_INSTITUCIONAL_JUL2023-1.pdf.

García Bartual, Mario, “Karl Benz y la creación del primer automóvil”, *Revista Historia y Vida*, La Vanguardia, 25 de noviembre de 2019, España.

Gereffi, Gary, *Global Value Chains and Development: Redefining the Contours of 21st Century Capitalism*. Cambridge University Press, Reino Unido, 2018, pp. 2 – 10, consultado en <https://www.cambridge.org/core/books/global-value-chains-and-development/65A6936F4B34FF41B9AEFE65FEF6E0BB#fndtn-information>.

Gobierno de la Ciudad de México, *Reglamento de Tránsito de la Ciudad de México*, Modificación del 10 de agosto de 2023, consultado en <https://www.ssc.cdmx.gob.mx/storage/app/media/Transito/Actualizaciones/Reglamento-de-Transito-CDMX.pdf> .

González, Dionisio, “Al Señor gobernador del Distrito”, *El Tiempo*, Año XXIV, Núm. 7834, México, jueves 29 de noviembre de 1906).

González, Francisco, *Entrevista cualitativa*, INA, 19 de febrero de 2024, Ciudad de México, México.

González, Lilia, “México se mantiene como el 4° productor de autopartes”, *El Economista*, Sección Empresas, martes 09 de abril de 2024, México, consultado en <https://www.eleconomista.com.mx/empresas/Mexico-se-mantiene-como-el-4-productor-de-autopartes-20240409-0006.html>.

González, Lilia, “Producción de autopartes batió récord en 2023: INA”, *El Economista*, Sección Empresas, miércoles 06 de marzo de 2024, consultado en <https://www.eleconomista.com.mx/empresas/Produccion-de-autopartes-batio-record-en-2023-INA-20240306-0084.html>.

Hall, Peter. A y David Soskice, *Varieties of capitalism: The institutional foundations of comparative advantage*, Oxford, Oxford University Press, Reino Unido, 2001.

Hossain, Delwar, “Globalization, Governance, and New Institutionalism: Exploring a New “Developing World” Framework”, en Imtiaz A. Hussain (ed.), *Global-Local Tradeoffs, Order-Disorder Consequences 'State' No More An Island?*, Palgrave Macmillan, Singapur, 2022, pp. 23 – 59.

Immergut, Ellen M., “The theoretical core of the new institutionalism”, *Politics & Society*, Sage Publications, Volumen 26, Número 1, 1998.

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), Índices de Productividad Laboral y del Costo Unitario de la Mano de Obra, Síntesis Metodológica, Serie 2018, México, 2023.

La síntesis metodológica puede consultarse aquí:

https://www.inegi.org.mx/contenidos/productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/nueva_estruc/889463912439.pdf.

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), Vehículos de motor registrados en circulación, INEGI, 2022, México.

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), y Asociación Mexicana de la Industria Automotriz, “Actividades económicas ligadas a la Industria automotriz, de acuerdo con la Matriz de Insumo-Producto”, en *Estadísticas a propósito de la Industria Automotriz, México*, 2016, pp. 14. El documento puede consultarse aquí: https://www.inegi.org.mx/contenidos/productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/nueva_estruc/702825079963.pdf.

Instituto Nacional de Estadística y Geografía, “Estadísticas a propósito del Día del Mecánico Automotor”, INEGI, 22 de febrero de 2016, México.

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), Registro Administrativo de la Industria Automotriz de Vehículos Ligeros (RIAVL), INEGI, México. EL RIAVL puede consultarse aquí: <https://www.inegi.org.mx/datosprimarios/iavl/>.

International Automotive Task Force, About IATF, 2024, consultado en <https://www.iatfglobaloversight.org/about-iatf/>.

International Automotive Task Force, IATF 16949:2016 – Preguntas más Frecuentes (FAQ), IATF, octubre de 2019, consultado en https://www.iatfglobaloversight.org/wp/wp-content/uploads/2019/11/IATF-16949-FAQs_Oct2019_es.pdf.

International Automotive Task Force, Statistics, consultado en <https://www.iatfglobaloversight.org/statistics/> el 31 de agosto de 2024.

International Organization for Standardization (ISO) and International Electrotechnical Commission (IEC), ISO/IEC 42001:2023, “Information technology — Artificial intelligence — Management system”, Ginebra, Suiza, 2023. El texto puede ser consultado en <https://cdn.standards.iteh.ai/samples/81230/4c1911ebc9a641fcb6ee21aa09c28ad3/ISO-IEC-42001-2023.pdf>.

International Organization for Standardization (ISO) e International Electrotechnical Commission (IEC), ISO/IEC TR 63306-2:2021 Smart manufacturing standards map (SM2), Ginebra, Suiza, 2021. El documento puede consultarse aquí: <https://www.iso.org/standard/82195.html>.

International Organization for Standardization (ISO) e International Electrotechnical Commission (IEC), ISO/IEC 22989:2022, “Information technology — Artificial intelligence — Artificial intelligence concepts and terminology”, Ginebra, Suiza, 2021. El documento puede consultarse aquí: <https://www.iso.org/standard/74296.html>.

International Organization for Standardization (ISO) e International Electrotechnical Commission (IEC), ISO 8373:2021, “Robotics — Vocabulary”, Ginebra, Suiza, 2021. El documento puede consultarse aquí: <https://www.iso.org/standard/75539.html>.

International Organization for Standardization (ISO) e International Electrotechnical Commission (IEC), ISO/IEC 30141:2024, “Internet of Things (IoT) — Reference architecture”, Ginebra, Suiza, 2024. El documento puede consultarse aquí: <https://www.iso.org/standard/88800.html>.

International Organization for Standardization (ISO) e International Electrotechnical Commission (IEC), ISO/IEC 30173:2023, “Digital twin — Concepts and terminology”, Ginebra, Suiza, 2023. El documento puede consultarse aquí: <https://www.iso.org/es/contents/data/standard/08/14/81442.html>.

International Organization for Standardization (ISO) e International Electrotechnical Commission (IEC), ISO/IEC AWI TS 5689, “Cybersecurity – Security frameworks and use cases for cyber physical systems”, Documento de Desarrollo, Ginebra, Suiza. El documento puede consultarse aquí: <https://www.iso.org/standard/87375.html>.

International Organization for Standardization (ISO) e International Electrotechnical Commission (IEC), ISO/IEC 5927:2024, “Computer graphics, image processing and environmental data representation — Augmented and virtual reality safety — Guidance on safe immersion, set up and usage”, Ginebra, Suiza, 2024. El documento puede consultarse aquí: <https://www.iso.org/standard/81847.html>.

International Organization for Standardization (ISO) e International Electrotechnical Commission (IEC), ISO/IEC 22123-1:2023, “Information technology — Cloud computing”, Ginebra, Suiza, 2023. El documento puede consultarse aquí: <https://www.iso.org/standard/82758.html>.

International Organization for Standardization (ISO) e International Electrotechnical Commission (IEC), ISO/IEC TR23188:2020, “Information technology — Cloud computing — Edge computing landscape”, Ginebra, Suiza, 2020. El documento puede consultarse aquí: <https://www.iso.org/es/contents/data/standard/07/48/74846.html?browse=tc>.

International Organization for Standardization (ISO) e International Electrotechnical Commission (IEC), ISO/IEC 20924:2024, “Internet of Things (IoT) and digital twin —

- Vocabulary”, Ginebra, Suiza, 2024. El documento puede consultarse aquí:
<https://www.iso.org/standard/88799.html>.
- International Organization for Standardization (ISO) e International Electrotechnical Commission (IEC), ISO/IEC 20546:2019, “Information technology — Big data — Overview and vocabulary”, Ginebra, Suiza, 2019. El documento puede consultarse aquí:
<https://www.iso.org/standard/68305.html>.
- International Organization for Standardization (ISO), “9001:2015 Sistemas de gestión de la calidad”, ISO, 2015, consultada en <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:9001:ed-5:v1:es>.
- International Organization for Standardization (ISO), “Cyber-physical systems”, ISO, consultado en <https://www.iso.org/es/home/about-iso/what-we-do/research/foresight/cyber-physical-systems.html>.
- International Organization for Standardization (ISO), “What can standards do for you”, ISO, Ginebra, Suiza, 2024, consultado en <https://www.iso.org/home.html>.
- International Organization for Standardization (ISO), ISO standards enable free and fair trade, consultado en <https://capacity.iso.org/home/projects/trade.html>.
- Jessop, Bob, *El Estado: Presente, pasado y futuro*, Editorial Catarata, Madrid, España, 2016, pp. 281.
- Joel Mokyr, “La revolución industrial y la nueva historia económica”, *Revista de Historia Económica*, Año V, No. 2, 1987, pp. 203 – 210.
- Kagermann, Henning *et al.*, “Industrie 4.0: Mit dem Internet der Dinge auf dem Weg zur 4. Industriellen Revolution”, *VDI Nachrichten*, No. 13, 3 de mayo de 2011, consultado en https://www.dfki.de/fileadmin/user_upload/DFKI/Medien/News_Media/Presse/Presse-Highlights/vdinach2011a13-ind4.0-Internet-Dinge.pdf.

- Kagermann, Henning y Wolfgang Wahlster, “Ten years of Industrie 4.0”, *Sci, Multidisciplinary Digital Publishing Institute*, Volumen 4, Número 26, pp. 1 – 10.
- Kooiman, Jan, *Governing as Governance*. Sage Publications, Reino Unido, 2003, pp. 01 – 25.
- Kosutic, Dejan, “Who are interested parties, and how can you identify them according to ISO 27001 and ISO 22301?”, Advisera, 17 de noviembre de 2022, consultado en <https://advisera.com/27001academy/knowledgebase/how-to-identify-interested-parties-according-to-iso-27001-and-iso-22301/>.
- Krul, Matthijs, *The New Institutional Economic History of Douglass C. North. A Critical Interpretation*, *Palgrave Studies in the History*, Palgrave Macmillan, of Economic Thought, Max Planck Institute for Social Anthropology, Alemania, 2018, pp. 3 – 15.
- Levi-Faur, David “Regulation & Regulatory Governance”, *Jerusalem Papers in Regulation & Governance*, Working Paper No. 1, Departamento de Ciencia Política, Universidad Hebrea, diciembre de 2010, Israel, pp. 1-33.
- Liaudat, Santiago, “Estándares técnicos, desarrollo y geopolítica: historia, actualidad y desafíos”, consultado en <https://www.cipi.cu/wp-content/uploads/2023/02/Trabajo.-Estandares-tecnicos-geopolitica-y-desarrollo.pdf>.
- Loaeza, Soledad “La diplomacia blanda alemana. La Konrad Adenauer Stiftung y la democratización mexicana”, *Foro Internacional*, Volumen XLIV-1, Centro de Estudios Internacionales, El Colegio de México, México, pp. 5 – 28.
- Luchtenberg, Daphne “The Fourth Industrial Revolution will be people powered”, *McKinsey & Company*, 07 de enero de 2022, Estados Unidos, consultado en <https://www.mckinsey.com/capabilities/operations/our-insights/the-fourth-industrial-revolution-will-be-people-powered>.

- Martínez, Nain y Diana Terrazas, “Contextualizando el nearshoring de vehículos eléctricos en México” en Arturo Oropeza (coord.), *Nearshoring: la oportunidad de un nuevo desarrollo económico y social para México*, Instituto de Investigaciones Jurídicas, Universidad Nacional Autónoma de México, México, 2024, pp. 304 – 331.
- Meckling, Jonas y Jonas Nahm, “When do states disrupt industries? Electric cars and the politics of innovation”, *Review of International Political Economy*, Volumen 25, Número 4, 2018, pp. 505 – 529.
- Méndez, José Luis, “La política pública como variable dependiente: hacia un análisis más integral de las políticas públicas”, *Revista Foro Internacional*, Centro de Estudios Internacionales, El Colegio de México, México, 1993, pp. 111 – 113.
- Micheli Thirion, Jordy, Nueva manufactura, globalización y producción de automóviles en México, Facultad de Economía, Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), México, 1994, pp. 13 – 29.
- Monreal Ávila, Ricardo, “Iniciativa con proyecto de decreto por el que se expide la Ley de Infraestructura de la Calidad y se abroga la Ley Federal sobre Metrología y Normalización”, Cámara de Senadores, México, 18 de marzo de 2020, consultada en https://comisiones.senado.gob.mx/hacienda/docs/parlamento/iniciativa_1.pdf.
- Nava Aguirre, Karla María et al., “La incorporación de la Industria 4.0 en el sector de autopartes en Nuevo León, México”, *InnOvaciOnes De NegOciOs*, 16(32), pp. 232–270.
- Nelson, Richard y Sidney Winter, *An Evolutionary Theory of Economic Change*, Harvard University Press, Estados Unidos, 1982, pp. 258.
- North, Douglass C., “Economic Performance through Time”, Prize Lecture, The Nobel Prize, 9 de diciembre de 1993. La ponencia completa de Douglass North para recibir el Premio

Nobel puede consultarse aquí: <https://www.nobelprize.org/prizes/economic-sciences/1993/north/lecture/>.

North, Douglass C., “The Industrial Revolution Reconsidered”, *Structure and change in Economic History*, W. W. Norton & Company, Estados Unidos de América, 1981, pp. 163.

North, Douglass C., *Institutions, Institutional Change and Economic Performance*, Cambridge University Press, Reino Unido, 2002.

Orendain de los Santos, María Verónica, *Evolución de las autopartes para vehículos eléctricos*, Ed. Itziar Gómez Jiménez, Industria Nacional de Autopartes (INA), México, 2023, pp. 58, consultado en <https://ina.com.mx/wp-content/uploads/2023/06/Whitepaper-web.pdf>.

Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial (ONUDI), “Infraestructura de la calidad: Confianza para el comercio”, 2017, pp. 2, consultado en https://www.unido.org/sites/default/files/2017-02/QI_Spanish_final_0.pdf

Peña Nieto, Enrique “Lo que la Cuarta Revolución Industrial significa para México”, Foro Económico Mundial, 21 de enero de 2016, consultado en <https://es.weforum.org/agenda/2016/01/lo-que-la-cuarta-revolucion-industrial-significa-para-mexico/>.

Pfeiffer, Sabine, “The Vision of “Industrie 4.0” in the Making—a Case of Future Told, Tamed, and Traded”, en *Nano Ethics: Studies of New and Emerging Technologies*, Volumen 11, 2017, pp. 107 – 121.

Portal, José Augustin, “Mexican Standards Related Policy and Regulation”, en *United States – Mexico Law Journal*, Volumen 9, 2001, pp. 7 – 19.

Puiu, Roxana et al., “Procurement in Automotive Industry”, *Recent*, Vol. 22, no. 2(64), Rumania, 2021, consultado en

https://www.researchgate.net/publication/357136386_Procurement_in_Automotive_Industry

Ramírez Miramontes, Pablo Eduardo, *Economía política de la industria automotriz en México*, Tesis de Licenciatura en Relaciones Internacionales, El Colegio de México, Centro de Estudios Internacionales, México, 2010.

Redburn, Tom, “Theorist of Property Rights Wins Nobel”, *The New York Times*, 16 de octubre de 1991.

Reglamento para la Circulación de Automóviles de la Ciudad de México, 25 de agosto de 1903, México. Transcripción de Diego Antonio. Consultado en <https://es.scribd.com/document/443797543/Reglamento-para-la-circulacion-de-automoviles-expedido-en-1903>

Rodríguez, Sara, “Impulsarán desarrollo sustentable industrial en México”, *Mexico Industry*, 31 de enero de 2024. El artículo puede consultarse en <https://mexicoindustry.com/noticia/impulsaran-desarrollo-sustentable-industrial-en-mexico>.

Salgado, Alicia y Óscar Sandoval, La Billetera. *Entrevista con Sergio E. Contreras, presidente del Consejo Empresarial Mexicano de Comercio Exterior, Inversión y Tecnología (COMCE)*, transmitida en ADN 40 el pasado 15 de agosto de 2024. La entrevista puede consultarse aquí: <https://youtu.be/SdCA30KjK14?si=LEYsYggfzin6SQCV>.

Sandoval, Manuel et al. *Mapa de Ruta de diseño, ingeniería y manufactura avanzada*, ProMéxico, octubre de 2011, Primera edición.

Schroeder, Wolfgang, ‘Germany’s Industry 4.0 strategy: Rhine capitalism in the age of digitalisation’, *Fundación Friedrich Ebert*, noviembre de 2016, Alemania, pp. 1-3.

Consultado en https://uk.fes.de/fileadmin/user_upload/publications/files/FES-London_Schroeder_Germanys-Industrie-40-Strategy.pdf.

Secretaría de Economía, Data México, *Acerca de Partes y Accesorios de Vehículos Automotores*, Gobierno de México, consultado en <https://www.economia.gob.mx/datamexico/es/profile/product/parts-and-accessories-of-motor-vehicles>.

Secretaría de Economía, *Presenta la Secretaría de Economía proyecto de nueva Ley de Infraestructura de la Calidad*, Gobierno de México, México, 23 de agosto de 2019, consultado en <https://www.gob.mx/se/prensa/presenta-la-secretaria-de-economia-proyecto-de-nueva-ley-de-infraestructura-de-la-calidad>.

Senadores de MORENA, *Versión estenográfica del mensaje de la doctora Graciela Márquez Colín, secretaria de Economía, durante el segundo día de trabajos de la III Reunión Plenaria del Grupo Parlamentario de Morena de la LXIV Legislatura*, 30 de agosto de 2019, México, consultado en <https://morena.senado.gob.mx/version-estenografica-graciela-marquez-colin-iii-reunion-plenaria-morena/>.

Serrano Álvarez, Pablo, *Porfirio Díaz y el Porfiriato. Cronología (1830 – 1915)*, Instituto Nacional de Estudios Históricos de las Revoluciones de México, México, 2012, pp. 222.

Silvia Ivaldi *et al.*, “Dwelling within the fourth industrial revolution: organizational learning for new competences, processes and work cultures”, *Journal of Workplace Learning*. Consultado en <https://www.emerald.com/insight/content/doi/10.1108/JWL-07-2020-0127/full/html>

Steurer, Reinhard, “Disentangling governance: a synoptic view of regulation by government, business and civil society”, *Policy Sci*, Volumen 46, (2013), pp. 387 – 410.

Sturen, Olle, “The expansion of ISO. Decade by decade”, en International Organization for Standardization (ISO), *Friendship among equals: recollections from ISO’s first fifty years*, Ginebra, Suiza, 1997, pp. 57 – 67, consultado en https://www.iso.org/files/live/sites/isoorg/files/about%20ISO/docs/en/Friendship_among_equals.pdf.

Sturgeon, Timothy J. “Value chains, networks and clusters: reframing the global automotive industry”, *Journal of Economic Geography*, Volumen 8, Número 3, mayo de 2008, pp. 297–321.

Sturgeon, Timothy J., Global Value Chains and Economic Globalization - Towards a new measurement framework, *Industrial Performance Center, Massachusetts Institute of Technology (MIT)*, mayo de 2013, pp. 01 – 10, consultado en <https://ec.europa.eu/eurostat/documents/7828051/8076042/Sturgeon-report-Eurostat.pdf>.

Uchitelle, Louis, “Two Americans Are Awarded Nobel in Economics”, *The New York Times*, 12 de octubre de 2009.

Vilchis, Luis, “El primer auto que llegó a México ¿Cómo era y cuánto costaba?”, *El Universal*, Sec. Autopistas, 15 de junio de 2021, México. El artículo puede consultarse en <https://www.eluniversal.com.mx/autopistas/el-primer-auto-que-llego-mexico-como-era-y-cuanto-costaba/>.

Vitro, State of the Art Technologies, Vitro, México, 2024, consultado en <https://www.vitro.com/en/automotive-glass/state-of-the-art-technologies/>.

Volkswagen de México, Volkswagen de México transforma su planta de vehículos en un entorno de industria 4.0, 20 de febrero de 2020, Puebla, México. El artículo puede consultarse

aquí: <https://volkswagen-mexico.prezly.com/volkswagen-de-mexico-transforma-su-planta-de-vehiculos-en-un-entorno-de-industria-40>.

Williamson, Oliver E. “The Economics of Organization: The Transaction Cost Approach”, *American Journal of Sociology*, noviembre de 1981, Volumen. 87, Número 3, pp. 548-577.

Womack, James P. *et. al. The Machine that Changed the World: The Story of Lean Production. How Japan’s secret weapon in the global auto wars will revolutionize western industry*, HarperPerennial, Harper Collins Publishers, Estados Unidos de América, 1991, pp. 11.

Zapata, Francisco *et al.*, “La fase de las ensambladoras: desde 1920 hasta finales de la década de 1950-1960”, *La reestructuración industrial en México: el caso de la industria de las autopartes*, Centro de Estudios Sociológicos, El Colegio de México, México, pp. 37 y 38.

Zheng, Ting *et al.*, “The applications of Industry 4.0 technologies in manufacturing context: a systematic literature review”, *International Journal of Production Research*, Volumen 59, No. 6, 2021, pp. 1922-1954.