



Universidad Autónoma de Querétaro
Facultad de Contaduría y Administración
Especialidad en Doctorado en Ciencias Económico Administrativas

“Infraestructura de la calidad: Instituciones y desarrollo tecno-económico en México”

Opción de titulación
Tesis

Que como parte de los requisitos para obtener el grado de
Doctor en Ciencias Económico–Administrativas

Presenta:

César Alonso Gutiérrez Rojas

Dirigido por:

Dr. Enrique L. Kato Vidal

Dr. Enrique L. Kato Vidal

Presidente

_____ Firma

Dra. Alejandra E. Urbiola Solís

Secretario

_____ Firma

Dra. R. Beatriz Rosas Rodríguez

Vocal

_____ Firma

Dra. Ilia Violeta Cázares Garrido

Suplente

_____ Firma

Dr. René D. Carranza López Padilla

Suplente

_____ Firma

Nombre y Firma
Director de la Facultad

Nombre y Firma
Director de Investigación y Posgrado

Centro Universitario
Querétaro, Qro.
Enero 2026

La presente obra está bajo la licencia:
<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/deed.es>



CC BY-NC-ND 4.0 DEED

Atribución-NoComercial-SinDerivadas 4.0 Internacional

Usted es libre de:

Compartir — copiar y redistribuir el material en cualquier medio o formato

La licenciatario no puede revocar estas libertades en tanto usted siga los términos de la licencia

Bajo los siguientes términos:



Atribución — Usted debe dar [crédito de manera adecuada](#), brindar un enlace a la licencia, e [indicar si se han realizado cambios](#). Puede hacerlo en cualquier forma razonable, pero no de forma tal que sugiera que usted o su uso tienen el apoyo de la licenciatario.



NoComercial — Usted no puede hacer uso del material con [propósitos comerciales](#).



SinDerivadas — Si [remezcla, transforma o crea a partir](#) del material, no podrá distribuir el material modificado.

No hay restricciones adicionales — No puede aplicar términos legales ni [medidas tecnológicas](#) que restrinjan legalmente a otras a hacer cualquier uso permitido por la licencia.

Avisos:

No tiene que cumplir con la licencia para elementos del material en el dominio público o cuando su uso esté permitido por una [excepción o limitación](#) aplicable.

No se dan garantías. La licencia podría no darle todos los permisos que necesita para el uso que tenga previsto. Por ejemplo, otros derechos como [publicidad, privacidad, o derechos morales](#) pueden limitar la forma en que utilice el material.



Universidad Autónoma de Querétaro
Facultad de Contaduría y Administración
Doctorado en Ciencias Económico Administrativas

Infraestructura de la calidad: Instituciones y desarrollo tecno-económico en
México

TESIS

Que como parte de los requisitos para obtener el Grado de
Doctor en Ciencias Económico Administrativas

Presenta:
César Alonso Gutiérrez Rojas
Expediente: 107333

Dirigido por:
Dr. Enrique L. Kato Vidal

Dr. Enrique L. Kato Vidal
Presidente
Dra. Alejandra E. Urbiola Solís
Secretario
Dra. R. Beatriz Rosas Rodríguez
Vocal
Dra. Ilia Violeta Cázares Garrido
Suplente
Dr. René D. Carranza López Padilla
Suplente

Centro Universitario, Querétaro, Qro.
Enero 2026
México

RESUMEN

La relación entre las instituciones de la Infraestructura de la Calidad (IC) y el desarrollo tecno-económico ha sido ampliamente documentada, pero aún existen brechas significativas en la comprensión de cómo pueden impulsar la convergencia económica en países emergentes. México, representa un caso ideal para examinar el papel de la IC en el fomento del desarrollo tecno-económico, en aras de determinar si sus beneficios son capaces de reducir la brecha con países desarrollados, converger. Por tanto, esta investigación procura identificar los canales de transmisión a través de los cuales la IC contribuye al crecimiento tecno-económico. Con una muestra de 39 países y un periodo del año 2002 a 2022, la tesis estima y documenta una cadena causal que vincula:

Capacidades de Medición y Calibración (CMCs) → Valor agregado manufacturero → → Exportaciones de alta tecnología → Crecimiento económico.

Cuantificando el impacto con modelos de ecuaciones estructurales generalizadas y el método delta. El porcentaje de “exportaciones de productos de alta tecnología” demostró ser la variable más efectiva, encontrando que un incremento de 10 p.p. podría aumentar en un 0.38% al PIB, mientras que, el “valor agregado de manufactura” mostró un efecto negativo si se encuentra por debajo de un 20% y positivo una vez se supera ese umbral. La región EURAMET evidenció los mejores resultados impulsados por la IC, después de EUA y para el caso puntual de México, se identificaron oportunidades coherentes con sus condiciones actuales –p. ej., a diferencia de Corea, tiene una alta sensibilidad a un aumento en las “exportaciones de alta tecnología”, un alza de 10 p.p. (20%→30%), se asocia con un incremento de 0.58 p.p. en su tasa anual de crecimiento. Se confirmaron correlaciones lineales positivas de la “calidad regulatoria”, la “inversión en I&D” y el “Índice Global de Innovación”; y relaciones no lineales de las CMCs con las exportaciones, así como del “valor agregado de manufactura” con el PIB. De esta forma, la investigación proporciona las estrategias para orientar los esfuerzos de las instituciones de la IC para maximizar su impacto positivo.

Palabras clave: Infraestructura de la calidad, desarrollo tecno-económico, convergencia económica, canales de transmisión, ecuaciones estructurales, economías emergentes.

SUMMARY

The relationship between Quality Infrastructure (QI) institutions and techno-economic development has been widely documented, yet significant gaps remain in understanding how they can drive economic convergence in emerging economies. Mexico provides an ideal case to examine the role of QI in fostering techno-economic development and to determine whether its benefits can narrow the gap with advanced economies. Accordingly, this research seeks to identify the transmission channels through which QI contributes to techno-economic growth. Using a sample of 39 countries over 2002–2022, the thesis estimates and documents a causal chain linking:

Measurement and Calibration Capabilities (CMCs) → Manufacturing value added → → High-technology exports → Economic growth.

The impact is quantified with generalized structural equation models and the delta method. High-technology exports (as a share of manufactured exports) emerges as the most effective variable: a 10 p.p. increase is associated with about a 0.38% rise in GDP; meanwhile, manufacturing value added exerts a negative effect below roughly 20% of GDP and a positive effect once that threshold is exceeded. EURAMET displays the strongest QI-driven results after the United States. For Mexico specifically, the analysis identifies opportunities consistent with current conditions –in contrast to Korea, Mexico is highly sensitive to increases in high-technology exports; a 10 p.p. rise (20%→30%) is associated with a 0.58-point increase in the annual growth rate–. Regulatory quality, R&D investment, and the Global Innovation Index present positive linear correlations; CMCs display nonlinear relationships with exports, as does manufacturing value added with GDP. Taking together, the empirical evidence yields actionable strategies to better target the efforts of QI institutions to maximize impact.

Key words: Quality Infrastructure, techno-economic development, economic convergence, transmission channels, structural equations, emerging economies.

“Al fin y al cabo, somos lo que hacemos para cambiar lo que somos.”

— Eduardo Galeano, *El libro de los abrazos* (1989)

A mi madre y a mi padre.

AGRADECIMIENTOS

A mis padres, Norma Evelia Rojas Sánchez, por su fe inquebrantable en mí; y César Alonso Gutiérrez Pérez, por su apoyo y el ejemplo de fortaleza que guía mis pasos. A mis hermanos Daniel y Gabriela porque los quiero y siempre llevo conmigo.

A mi esposa, Yaeli Hernández Gardea, por sus porras, amor, paciencia y compañía. A mis hijos, César y Camila, motor y alegría de mis días. Les dedico este logro, como ejemplo de esfuerzo y constancia, mismo que espero empleen en todo lo que se propongan.

A mi director de tesis, Dr. Enrique L. Kato Vidal, por su orientación y acompañamiento de inicio a fin, su compromiso académico y, sobre todo, por el honor que siento de haber compartido este proceso con él, producto de mi más sincero reconocimiento y aprecio.

A los integrantes del sínodo doctoral, Dra. Alejandra E. Urbiola Solís, Dra. R. Beatriz Rosas Rodríguez y Dra. Ilia Violeta Cázares Garrido, por sus valiosas observaciones y perspectiva crítica. Su tiempo, exigencia y generosidad enriquecieron este proyecto y contribuyeron de manera significativa a su culminación.

Al Centro Nacional de Metrología, en especial a la comisión SIDEPRO (alta dirección), por la beca que me permitió realizar mis estudios y por la confianza depositada en mí.

Agradezco profundamente a los doctores, Victor José Lizardi Nieto, Ignacio Hernández Gutiérrez y René D. Carranza López Padilla, quienes me guiaron y apoyaron en diferentes etapas de este largo proceso. Es oportuno decir que a cada uno lo elegí por la profunda admiración que les tengo; gracias por haberme aceptado y respaldado.

A mis jefes, Mtro. César de Jesús Cajica Gómez y Mtro. Luis Omar Becerra Santiago, por su paciencia, su apoyo genuino y ejemplo de liderazgo.

Para mis compañeros de camino –de la escuela y el trabajo– a la hoy Dra. Gema Rubio, a la Mtra. Isabel Rosales, profesores y amigos; a todos los que creyeron, incluso cuando yo dudé... gracias.

ÍNDICE

1.	INTRODUCCIÓN.....	1
1.1.	Justificación.....	2
1.2.	Pregunta de Investigación	4
1.3.	Objetivos de la Investigación.....	4
1.4.	Antecedentes	5
2.	MARCO TEÓRICO	10
2.1.	Motivación: Convergencia y divergencia entre países.....	10
2.1.1.	Teoría de la convergencia: Conceptos clave.....	11
2.1.2.	PIB per cápita PPA: Alemania, Corea del Sur y México.....	15
2.1.3.	Valor Agregado en la Manufactura.....	18
2.1.4.	Porcentaje de exportaciones de productos manufacturados de alta tecnología	20
2.2.	Instituciones, infraestructura de la calidad y desarrollo económico.....	23
2.2.1.	Infraestructura de la Calidad (IC)	27
2.2.2.	IC en la economía desarrollada y subdesarrollada	31
2.2.3.	IC, su relación con la I&D y otros canales de transmisión	34
3.	METODOLOGÍA	38
3.1.	Diseño de la investigación	39
3.1.1.	Objetivos de la investigación	41
3.1.2.	Hipótesis de la investigación.....	42
3.2.	Variables de estudio	44
3.2.1.	Conceptuación y operacionalización de las variables	45
3.2.2.	Datos y estadística descriptiva	48

3.3.	Diseño Metodológico	67
3.4.	Selección de la Muestra y Recolección de Datos.....	72
3.5.	Metodología de Análisis	74
3.5.1.	Identificación del modelo econométrico.....	75
3.6.	Consideraciones éticas	80
4.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	82
4.1.	Evolución del PIB per cápita por Organización Regional de Metrología .	82
4.2.	Canales de transmisión de la IC y su impacto tecno-económico	85
4.2.1.	“Valor Agregado de Manufactura”	85
4.2.2.	“Exportaciones de productos de alta tecnología”.....	87
4.2.3.	“I&D”, “Patentes” e “Innovación” y su impacto tecno-económico.....	89
4.3.	Modelo final y niveles de incidencia en el crecimiento tecno-económico	91
4.3.1.	Exportaciones <i>Hi-Tech</i> y Valor agregado en el PIB per cápita.....	94
4.3.2.	IC en las Exportaciones <i>Hi-Tech</i>	95
4.4.	Incidencia regional (ORM) en el desarrollo tecno–económico.....	98
4.4.1.	Convergencia desde los factores contextuales de la IC y regionales	99
4.4.2.	Convergencia desde los factores contextuales de la IC y regionales (Efectos marginales).....	105
4.5.	Caso: México y Corea del Sur.....	110
4.6.	CMCs en el crecimiento económico –Efecto causal compuesto–.....	119
5.	CONCLUSIONES.....	121
6.	REFERENCIAS	130
7.	Leyes, manuales, periódicos e informes:.....	141
8.	<i>Apéndice A: Siglas y abreviaturas.....</i>	143

9.	<i>Apéndice B:</i> Datos del banco mundial utilizados	144
10.	<i>Apéndice C:</i> Métodos en ecuaciones estructurales	151

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 <i>Instituciones de la Infraestructura de la Calidad</i>	28
Tabla 2 <i>Canales de transmisión que inciden junto con la IC en el desarrollo tecnoeconómico</i>	37
Tabla 3 <i>Clasificación de la investigación según diversos criterios</i>	40
Tabla 4 <i>Conceptuación y operacionalización de las variables independientes</i>	46
Tabla 5 <i>Conceptuación y operacionalización de las variables dependientes</i>	47
Tabla 6 <i>Muestra analizada: no aleatoria, estratificada con 39 países</i>	49
Tabla 7 <i>Estadística descriptiva: Indicadores de variables</i>	50
Tabla 8 <i>Organización de métodos multivariados</i>	69
Tabla 9 <i>Variable compuesta: IC</i>	71
Tabla 10 <i>Identificación del modelo</i>	79
Tabla 11 <i>Códigos para la estimación e interpretación del comportamiento del PIB PC PPA, por regiones y países de interés</i>	82
Tabla 12 <i>Resultados parciales</i>	90
Tabla 13 <i>Resultados: Coeficientes estimados, significativos</i>	92
Tabla 14 <i>Percepción IC por subregiones (2000-2022)</i>	98
Tabla 15 <i>CMCs por subregiones (2000-2022)</i>	99

Tabla 16 <i>Índice Global de Innovación por subregiones (2000-2022)</i>	99
Tabla 17 <i>Relación causal entre el logaritmo del PIB per cápita inicial y otros regresores con la tasa de crecimiento económico</i>	103
Tabla 18 <i>Efectos marginales de la variable “ln del PIB PC inicial” sobre la tasa de “crecimiento” para cada subregión, evaluados en los promedios de las demás variables</i>	107
Tabla 19 <i>Ingresos PIB per cápita por su paridad de poder adquisitivo, de México y Corea del Sur (años: 2002, 2012 y 2022)</i>	110
Tabla 20 <i>Exportaciones de alta tecnología, como porcentaje del total de productos manufacturados, de México y Corea del Sur (años: 2002, 2012 y 2022)</i>	111
Tabla 21 <i>Valor agregado en la manufactura, como porcentaje del PIB, de México y Corea del Sur (años: 2002, 2012 y 2022)</i>	115
Tabla 22 <i>Capacidades de Medición y Calibración de México y Corea del Sur (años: 2002, 2012 y 2022)</i>	117

INDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1.</i> Lugar que México, Corea del Sur y Alemania ocupan en el ranking mundial de acuerdo con la medición del PIB per cápita PPA (Paridad de Poder Adquisitivo).....	17
<i>Figura 2.</i> “Valor agregado del sector manufactura, en dólares constantes, base 2015”..	20
<i>Figura 3.</i> Ingreso per cápita de Alemania, México y Corea del Sur, en dólares USD a valores actuales, por las “Exportaciones de productos manufacturados de alta tecnología” ..	23
<i>Figura 4.</i> Concentración de “capacidades de medición y calibración” (CMCs) en el mundo.....	56
<i>Figura 5.</i> Países objeto de estudio y las distintas Organizaciones Regionales de Metrología ..	67
<i>Figura 6.</i> Comportamiento de la región Euramet (4), México (10), Estados Unidos de América (11) y Corea del Sur (12) de acuerdo con su PIB PC PPA (del año 2000 al 2022). ..	84
<i>Figura 7.</i> Respuesta del “PIB PC PPA” debido al “Valor agregado de manufactura”....	86
<i>Figura 8</i> Valores ajustados: Variable de respuesta “Valor agregado de manufacturar” cuando se evalúan los valores de predictores “Capacidades de medición y calibración”	88
<i>Figura 9.</i> Relaciones: “Ln del PIB PC PPA” vs “Exportaciones de producto de alta tecnología” y “Ln del PIB PC PPA” vs “Valor agregado de manufactura (porcentaje del PIB)”. ..	95

<i>Figura 11.</i> Relación: “Exportaciones de producto de alta tecnología” vs “Percepción de regulación en Infraestructura de la Calidad.	96
<i>Figura 10.</i> Relación: “Exportaciones de producto de alta tecnología” vs “Capacidades de medición y calibración (CMCs)”.....	96
<i>Figura 12.</i> “Exportaciones de producto de alta tecnología” vs “Índice global de innovación”.	97
<i>Figura 13.</i> Efectos marginales y su respectivo error estándar, por cada subregión o país.	109
<i>Figura 14.</i> Efectos Marginales: De las “Exportaciones de alta tecnología en el “crecimiento” de México y Corea del Sur respectivamente.	112
<i>Figura 15.</i> Efectos marginales: De las “Exportaciones de alta tecnología” en el “crecimiento” México y Corea del Sur respectivamente, con intervalos de confianza. estrechos.....	114
<i>Figura 16.</i> Efectos marginales: En las “Exportaciones de alta tecnología”, cuando varía el “Valor agregado en manufactura en un 18, 23 y 28 porciento, de México y Corea del Sur.	116
<i>Figura 17.</i> Efectos marginales: En el “Valor agregado de manufactura” cuando varían las “CMCs” de 200 hasta 1000, para México y Corea.	117

1. INTRODUCCIÓN

Mucho se ha dicho acerca de las bondades de la infraestructura de la calidad (IC), debido a su vinculación con el crecimiento de las exportaciones, productividad, mejoramiento industrial y difusión de innovación, por mencionar algunas (Link 1996 y 1997, Guasch, 2007; Sanetra 2004 y 2007; Fisher, 2022) y en efecto, es innegable su incidencia en el desarrollo industrial y, por tanto, en el crecimiento económico de un país. Sin embargo, existen al menos dos corrientes de pensamiento que invitan a cuestionar, ¿En qué medida beneficia la IC a un país? y ¿De qué depende esta medida?

Y es que, la IC, compuesta por organizaciones y reglas, vista como “instituciones” tiene, por un lado, un cierto escepticismo con respecto a los modelos de organización como acto racional, ya que existe literatura (Luckmann, 1967 en Scott, 2001; Friedland y Alford, 2001; DiMaggio y Powell, 2001) que considera a la institucionalización como un acto dependiente del Estado, que busca legitimarse y su supervivencia, divergiendo con esto de su propósito inicial. Y, por otro lado, nobeles como Paul Krugman (1994), George Akerlof (1970) y Joseph Stiglitz (2000 y 2006), por mencionar algunos, han documentado que el actual modelo económico y la globalización, no ayudan en la misma medida al crecimiento y desarrollo de los países; lo que significaría que la IC, difícilmente ayuda en la misma medida a un país y a otro, y que este posible beneficio está condicionado por otros factores como pueden ser, su desarrollo económico per se, nivel de educación promedio, posición geográfica, política mercantil, arancelaria, capacidad productiva instalada y el nivel de madurez o implementación de la propia IC (Morin, 2024).

En el contexto de instituciones, entiéndase por reglas: las rutinas, procedimientos, convenciones, papeles, estrategias, formas organizativas y tecnologías en torno a los cuales se construye la actividad política. Asimismo, a las creencias, paradigmas, códigos, culturas y conocimientos que rodean, apoyan, elaboran y contradicen esos papeles y rutinas, de acuerdo March y Olsen (1997: 68).

1.1. Justificación

Por tanto, es oportuno analizar la teoría de la convergencia que, dentro del modelo económico neoclásico, supone que los países pobres convergerán con los países ricos si cumplen con una serie de requisitos, requisitos donde la IC puede tener injerencia debido a su relación con el sistema de mercado y las instituciones del Estado, esto además de la probada incidencia del desarrollo regional (Morin,2024). Y es que, si bien una gran cantidad de artículos desmenuzan a la teoría de convergencia, desde el punto de vista de la convergencia condicional –o de clubes– que tiene que ver con la injerencia regional que se ejerce sobre el objeto de estudio, como lo hacen Félix (2023) y German-Soto & Gluschenko (2023) al interior de México y Osorio (2019) en América Latina, por mencionar algunos de los más recientes, la presente investigación propone por su parte, explorar la incidencia de la IC, en la convergencia de un país.

Dicho esto, para realizar un análisis efectivo de los beneficios de las instituciones de las IC, es necesario conocer el ecosistema del país y los mecanismos de transmisión mediante los cuales están incidiendo las instituciones de la IC. Ante esta diversidad de factores se ha elegido acotar el estudio, al efecto de la IC en el desarrollo industrial –donde se presume se encuentran sus principales beneficios e incidencia– en México como

ejemplo de un país vías de desarrollo, Alemania, como el exponente de un país desarrollado y Corea del Sur como un país que ha transitado de una posición poco favorable a una posición preponderante en la era reciente, en el ranking mundial de economías, visto desde su nivel de ingreso, medido por el PIB per cápita en términos de su Paridad de Poder Adquisitivo (PPA).

Esta investigación se desarrolla con gran pertinencia ante el momento coyuntural que vive México debido a su recién promulgada Ley de la Infraestructura de la Calidad (2020), la cual, a la fecha de este trabajo, no cuenta con su respectivo reglamento. Y se vuelve un tema urgente, con base en la tendencia negativa de crecimiento que lleva México en los últimos 30 años, en términos de su PIB per cápita PPA, la cual podría ser revertida si el país está listo para usar tecnología avanzada (Barro & Sala-i-Martin, 1992), y para lo cual la IC juega un papel fundamental. Aprovechando la factibilidad de obtener de primera mano, información acerca del nivel de implementación y madurez de la LIC, debido al interés y facilidades proporcionadas por el CENAM, Instituto Nacional de Metrología del Estado Mexicano. La relevancia del estudio radica en cómo se podrán aprovechar los resultados, quizás en políticas públicas que permitan orientar de mejor manera los esfuerzos del Estado y los recursos económicos, con respecto a la literatura y el estado del arte, se suman conocimientos acerca de cómo medir, con mayor precisión, los beneficios de las instituciones de la IC en países en vías de desarrollo, pudiendo extrapolar metodologías y conclusiones para países de similares características a México.

1.2. Pregunta de Investigación

Con base en lo descrito anteriormente y el afán de encontrar estrategias que beneficien a países en vías de desarrollo –como México– en mayor medida que a los países desarrollados, surge el problema de investigación que se plantea con la siguiente interrogante:

¿Qué le falta a México, ahora que cuenta con instituciones de infraestructura de la calidad y canales de transmisión, para comenzar un proceso convergente tecno-económico con países desarrollados?

1.3. Objetivos de la Investigación

- Objetivo General

La presente investigación tiene por objetivo: Identificar por qué México no ha logrado la convergencia con países tecnológicamente desarrollados, a partir de la IC y sus canales de transmisión, explicando las razones por las que existe una brecha de desigualdad tecno-económica.

- Objetivos específicos

- Nivel descriptivo: Identificar los canales de transmisión (CT) que coadyuvan a la convergencia entre países tecnológicamente desarrollados y México.
- Nivel Exploratorio: Contrastar los resultados de los CT identificados, en una muestra de países representativa, permitiendo con esto realizar conclusiones acerca de la correlación de los CT de la IC para, converger o no, con países más desarrollados, desde la óptica del desarrollo tecno-económico.

1.4. Antecedentes

Los primeros cimientos de la Infraestructura de la Calidad fueron establecidos con el desarrollo de la metrología y la firma del Tratado del Metro, pilares fundamentales que han sostenido su evolución a lo largo del tiempo, aunque la IC aún no se había formado como círculo virtuoso ante la falta de otros eslabones, la metrología se fue cohesionando desde la firma del Tratado del Metro. Tratado internacional que fue firmado el 20 de mayo de 1875 en París por 17 países. México, como muchos otros países, se adhirió después, en el año de 1890 adoptando así, como su único sistema, al Sistema Internacional de Unidades. Gracias al Buró Internacional de Pesas y Medidas (BIPM) y sus países firmantes, quienes han auspiciado distintos estudios para medir los beneficios e impacto de la IC, a continuación, algunos datos:

Carbonell & Del Campo (2012) estiman que en los países industrializados medir, y todas las actividades que eso conlleva, tiene un costo equivalente en sus economías de más del 1% del PIB y un retorno equivalente entre el 2% y el 7% del PIB, por lo que la metrología supone una parte vital de la actividad diaria de la sociedad. La medición sistemática, con incertidumbre determinada, es una de las bases del control de calidad industrial, hasta el punto de que, en las industrias más modernas, el costo de las mediciones supone del 10 % al 15 % de los costos de producción. Por otra parte, en las sociedades más desarrolladas, el valor anual de las transacciones en las que se emplean mediciones puede llegar a ser el 50 % del PIB. Este dato es muy significativo e importante para valorar lo que significaría una reducción de la infraestructura de la calidad. Un aumento en el error medio de las mediciones del 0.1 % significaría un costo social del

orden del 0.05 % del PIB que es mucho mayor que el coste que los Estados pagan por mantener una infraestructura de la calidad.

De acuerdo con una recopilación realizada por el Comité Internacional de Pesas y Medidas (CIPM), en Kaarls (2003), donde se recogen a grandes rasgos resultados de cuatro estudios realizados por reputadas instituciones de países desarrollados como son el NIST (National Institute of Standards and Technology de Estados Unidos), el DTI (Department of Trade and Industry del Reino Unido), el NRC (National Research Council de Canadá) y la Unión Europea (EURAMET), desde diferentes enfoques económicos, destacan lo siguiente:

El NIST ha realizado varios estudios del impacto económico de la metrología en diversas áreas, muchos de los cuales se basan en la comparación del costo de desarrollo de un cierto patrón de medida o material de referencia certificado y el ahorro estimado a un determinado grupo de usuarios o a la industria. Este modelo, en principio, permite estimar el impacto en una escala nacional haciendo una extrapolación. Uno de los ejemplos del estudio relata que el periódico Washington Post and Medical Laboratory Observer informó que entre el 25 % y el 30 % de las mediciones relacionadas con la salud se realizan para confirmar diagnósticos (repetición de ensayos, prevención y detección de errores). Esto significa que potencialmente entre 10 y 30 mil millones de dólares por año podrían ser ahorrados si las medidas fueran consistentes y fiables.

El enfoque de la I&D está basado en consideraciones macroeconómicas que permiten obtener cifras generales. En paralelo, se han realizado estudios comparativos respecto a las capacidades de medida de un instituto nacional de metrología (National

Physical Laboratory, NPL) en relación con las de otros institutos nacionales y la investigación demostró que las mediciones en el Reino Unido tienen un efecto significativo en la economía del orden del 0.8 % del PIB.

Los estudios canadienses están basados en la combinación de varios estudios parciales, encuestas y análisis estadísticos. Los casos estudiados se han extrapolado obteniéndose la importancia de dichos resultados a escala nacional. Los resultados globales del estudio estiman, de forma conservadora, que la inversión pública de 12 millones de dólares canadienses en su instituto nacional de metrología proporciona una relación costo/beneficio de 1 a 13.

Y finalmente, el estudio de la Unión Europea (UE) que está basado en seis casos –nanotecnología, industria del automóvil, industria farmacéutica, sector del gas natural europeo, industria de diagnosis in vitro y control de emisiones y contaminación del medioambiente– y en la información aportada por los estados miembros, complementada con estimaciones económicas. Se indica que la UE gasta alrededor del 1 % del PIB en actividades de medición y que por cada euro dedicado a estas actividades se generan 3 euros. Así pues, la relación costo/beneficio es de 1 a 3, esto sin tener en cuenta las externalidades.

En resumen, se puede decir que los estudios citados, de países desarrollados, aportan argumentos que abogan por la conveniencia de que los gobiernos sigan invirtiendo en metrología.

Por su parte, de acuerdo con William P. Fisher Jr. & A. Jackson Stenner (2022) sin un INM de clase mundial, un país enfrenta barreras como: el enorme costo de desarrollar

e implementar estas mediciones, por si solos; una falta general de conocimiento de las décadas de investigación que prueban la viabilidad y ventajas especiales de los patrones de referencia en las ciencias del comportamiento; una apreciación pública subdesarrollada tanto de los altos rendimientos proporcionados por inversiones en metrología como del papel vital jugado por la metrología en la historia de la ciencia y el capitalismo; orientaciones institucionales más capaces de servir a las necesidades de los paradigmas existentes que la aparición de otros nuevos; y presupuestos culturales profundamente arraigados sobre la naturaleza del número y los supuestos límites de la medición psicosocial. Por lo que es claro que no contar con estas instituciones supone un riesgo de rezago en contraste con los países más desarrollados.

No obstante, tener una IC en un país no lo pone automáticamente en igualdad de circunstancias con países desarrollados, la globalización se ha dado de forma asimétrica y ha puesto en desventaja a los países en vías de desarrollo porque no están en condiciones de aprovechar las oportunidades que ofrece la liberación comercial. Por ejemplo, frecuentemente carecen de la infraestructura para sacar provecho a la apertura comercial y deben competir contra los subsidios de los países desarrollados a sus productores locales (Stiglitz, 2006); por su parte Vilas (1999) planteó que la globalización es un sistema de desenvolvimiento desigual, que está sometido a las tensiones y presiones recíprocas de sus principales protagonistas. Y coinciden en la importancia de que el Estado se articule con el mercado y sus actores, incluyendo el ejercicio de sus funciones respecto al capital como condición necesaria para que exista el progreso. Stiglitz (2006) afirma que la globalización tiene dos caras porque, por una parte, ha favorecido a algunos países

(principalmente en Asia), pero por otra ha perjudicado a otros (en África, América Latina y Rusia).

Para finalizar, el informe del CIPM concluye que: existen claras razones económicas para que los sistemas de medición nacionales, desarrollados y mantenidos por los institutos nacionales de metrología (INM) de los distintos países, sean financiados con fondos públicos. Los INM inducen considerables beneficios a la competitividad internacional y a los procesos de innovación industrial, además de prestar apoyo al sector industrial de los instrumentos de medida y a la pequeña y mediana empresa. Los INM generan un considerable número de beneficios externos que mejoran cuantitativamente aspectos de la calidad de vida, tales como la salud, la seguridad, la protección del consumidor y del medioambiente. La actividad de los INM influye positivamente sobre la economía a través del mantenimiento de la infraestructura de la calidad –gracias a su incidencia transversal en todos los eslabones de la IC, ver tabla 1– apoyando la innovación y permitiendo el comercio seguro y justo.

¿Pero estas conclusiones son aplicables en la misma medida a cualquier país?, o bien, ¿Son tan significativas como para cambiar el rumbo de un país en vías de desarrollo?, estas dudas y el vacío de información ad-hoc a las condiciones actuales de México, dan lugar a esta propuesta de investigación, que suma al estado del arte de la IC, la convergencia y los factores de que inciden en el desarrollo tecno-económico.

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Motivación: Convergencia y divergencia entre países

De acuerdo con Barro & Sala-i-Martin (1992) si los países pobres crecen más rápido que los países ricos, con el tiempo, se pondrán al día con base en su nivel de ingreso medido por el PIB per cápita en términos de PPA. Este proceso se denomina convergencia de ingresos. Alternativamente, los ingresos divergirían si los países ricos crecieran más rápidamente que los países pobres. Si el crecimiento económico es el mismo en todas partes, entonces las diferencias de ingresos entre países seguirán siendo las mismas. Este modelo neoclásico de crecimiento, de Solow-Swan que data de 1956 y que es probablemente el modelo de crecimiento más conocido, predice una tendencia de las economías a transitar hacia un estado estacionario, no obstante, para Robalino (2021), no hay una evidencia que sugiera la validez de la hipótesis de convergencia, aunque sí observa alguna relación –débil– en favor de la hipótesis.

Hay dos razones principales por las que los ingresos entre países pueden converger con el tiempo. La primera, desbordamiento de tecnología. Una de las razones es que las innovaciones y tecnologías que se desarrollan en los países ricos pronto están disponibles en los países pobres. Eso sucede, por ejemplo, a través de la inversión extranjera directa, ya que las empresas de los países ricos llevan nuevas tecnologías a los países pobres. Cuando la misma tecnología está disponible en todas partes, los ingresos también tienden a igualarse con el tiempo porque la tecnología es un ingrediente importante del desarrollo económico. Con base en este argumento, los ingresos convergerían más rápido si un país pobre está listo para usar la tecnología avanzada. Si tiene una fuerza laboral educada y

condiciones políticas y económicas estables, es más probable que ocurra el derrame tecnológico. Por el contrario, si su sistema educativo y sus instituciones no están bien desarrolladas, la nueva tecnología no podrá adoptarse.

La segunda, rendimientos decrecientes. Lo que significa que las inversiones en los países ricos son menos rentables que las inversiones en los países pobres. Barro (1992) lo ejemplifica de la siguiente forma: “Si una empresa de contabilidad (en un país rico) tiene 10 computadoras, una computadora más hará poca diferencia. Si una empresa de contabilidad (en un país pobre) no tiene computadoras y compra una, esta hará una gran diferencia”. La inversión en esa primera computadora valdría la pena. Por lo tanto, la inversión internacional fluiría principalmente de los países ricos a los países pobres donde las ganancias son mayores. Este flujo de inversión hará que los países pobres sean más ricos. Solo habría que tener cuidado, con este mismo ejemplo, si la empresa tiene muchas computadoras y mucha experiencia en su uso, una computadora adicional tendrá un buen uso, por otro lado, la empresa que solo tiene una computadora podría no saber qué hacer con ella. En esa versión de la historia, agregar inversiones a empresas o países que ya son ricos es más rentable. Entonces, la inversión fluye hacia ellos y los enriquece aún más. Aunque esta teoría es a la fecha aceptada, Gutiérrez et al. (2019) advierten que los países de ingreso alto crecen 0.7 puntos porcentuales más que los países de ingreso bajo.

2.1.1. Teoría de la convergencia: Conceptos clave

Hay dos formas de ver la convergencia. La primera, supone que las unidades que comienzan con un nivel de ingreso alto exhiben un crecimiento del ingreso menor que las

unidades que comienzan con niveles de ingreso bajo. Dado que este proceso se mide mediante el coeficiente de regresión, se denomina β -convergencia (Barro y Sala-i-Martin, 1992). La segunda, supone una dispersión del ingreso decreciente entre las unidades. Dado que la dispersión se mide mediante la desviación estándar o coeficiente de variación, se denomina σ -convergencia.

La existencia de σ -convergencia significa que la dispersión de la distribución transversal del ingreso disminuye con el tiempo. El crecimiento más rápido de las economías más pobres, que implica el proceso de β -convergencia, se muestra mediante un coeficiente de regresión negativo entre la tasa de crecimiento del ingreso y su nivel inicial, denominada regresión del nivel inicial de crecimiento. Quah (1993) y Friedman (1994) sostuvieron que el coeficiente β negativo en la regresión del nivel inicial de crecimiento no implica necesariamente una reducción de la dispersión. Está demostrado que la existencia de β -convergencia es necesaria, pero no suficiente, se requiere de σ -convergencia. Esto se debe a que aparecen perturbaciones aleatorias durante los procesos de convergencia entre economías.

Los estudios sobre convergencia se basaron inicialmente en datos transversales. En ese caso, la especificación de la regresión del crecimiento incluye el nivel inicial de ingreso y la tasa de crecimiento del ingreso entre el último y el primer período. La verificación de la convergencia mediante este tipo de análisis no confirma la existencia de la convergencia entendida como un proceso. Consideran sólo el primer y último período del intervalo de tiempo, ignorando los períodos intermedios, esto puede llevar a

conclusiones erróneas. Para evitar este problema, se utiliza la regresión con datos panel. Otra ventaja de la aplicación de datos panel es la corrección del problema de variables omitidas, existente en los estudios transversales (Stock & Watson, 2011).

Otro concepto clave es la distinción entre convergencia incondicional, condicional y de clubes. La primera supone que las características de las economías, que afectan los niveles de ingreso en el estado estacionario, son las mismas para todas las unidades. Como resultado, la regresión del nivel inicial de crecimiento no incluye otras variables explicativas además del nivel inicial de ingreso. A diferencia, la convergencia condicional sí supone diferencias en el estado estacionario para cada economía (Gutiérrez et al., 2019), y es hasta cierto punto similar a la convergencia de clubes que tampoco supone un nivel de equilibrio único para todas las economías, sino un equilibrio múltiple para grupos de países. De acuerdo con Baumol (1986), Durlauf y Johnson (1995) y Galor (1996), la diferencia entre convergencia condicional y convergencia de clubes es que, en el caso de la convergencia condicional, regiones o países que son similares en sus características estructurales convergen entre sí independientemente de su condición inicial, y en el caso de la convergencia de club, no sólo las características estructurales deben ser las mismas para conducir a la convergencia, sino que sus condiciones iniciales –ingreso per cápita, capital humano, infraestructura e instituciones y políticas económicas– también deben ser similares.

A pesar de las diferencias conceptuales, no es fácil separar empíricamente la convergencia de clubes de la convergencia condicional (Islam, 2003). Phillips & Sul

(2007, 2009) propusieron un procedimiento que permite identificar clubes de convergencia. Para ello, utilizan un modelo de factores, variables en el tiempo, que tiene en cuenta la heterogeneidad individual y transicional. Debido a sus capacidades integrales, esta metodología es la herramienta más popular aplicada al análisis de patrones de convergencia de clubes. La extensión de este procedimiento es el análisis ex-post de los factores que influyen en la formación de clubes (Bartkowska & Riedl, 2012).

Otro concepto de convergencia, consecuencia de la definición de convergencia de Bernard & Durlauf (1995), se centra en el comportamiento a largo plazo de las diferencias en la producción entre países, ya que define la convergencia en la producción entre los países, como la igualdad del pronóstico de producción a largo plazo para ambos países en un momento fijo. En presencia de convergencia estocástica estas diferencias deberían seguir un proceso estacionario de media cero, lo que significa que la producción de todos los países tiende a seguir largas trayectorias de equilibrio similares.

Basándose en pruebas de estacionariedad, Li & Papell (1999) distinguen entre convergencia estocástica y determinista. La tendencia estacional de las diferencias de producción se trata como una noción débil de convergencia, es decir, convergencia estocástica. Por otro lado, la tendencia lineal en el componente determinista en una serie de tiempo significa, diferencias permanentes en los niveles de producción entre países. Contrariamente a la noción débil de convergencia, Li & Papell (1999) proponen su definición fuerte, denominada convergencia determinista. En este caso, la serie de tiempo de diferencias de producción es media estacionaria. No contiene tendencias deterministas

ni estocásticas. Las diferencias en la producción son constantes a largo plazo. La existencia de convergencia determinista implica convergencia estocástica, pero no al revés.

Debido a la falta de potencia de las pruebas de raíz unitaria, de series de tiempo univariantes, del tipo Augmented Dickey–Fuller (ADF) para probar la convergencia estocástica, se aplican las pruebas de raíz unitaria de panel (Bernard & Jones, 1996; Evans & Karras, 1996; Salmerón & Romero-Ávila, 2015). Hay dos grupos de estas pruebas. El primero supone independencia transversal entre unidades y el segundo permite la dependencia transversal.

2.1.2. PIB per cápita PPA: Alemania, Corea del Sur y México

El Producto Interior Bruto (PIB), mide el valor de la producción de bienes y servicios de un país al valor monetario de cambio internacional, siendo utilizado como referencia para la comparación entre países, el dólar estadounidense, por ser la moneda en la que se realizan la mayoría de las transacciones comerciales en el mercado internacional. La locución “Per Cápita” significa “por cabeza, por individuo” y se usa normalmente en referencia a una variable económica que se distribuye entre los componentes de un grupo. Por ultimo, la Paridad del Poder Adquisitivo (PPA), mide el poder adquisitivo de compra de un bien o servicio en un país en comparación a otro, por lo que el PIB per cápita PPA que presenta el Banco Mundial es una muy buena opción para medir el crecimiento económico de un país, y quizás el mejor indicador de bienestar y bonanza económica de un país ya que toma una referencia, el costo de un bien, y expresa el costo que le representa

a cada país adquirirlo, en dólares internacionales constantes de 2011, homologando de esta forma la moneda, y al ser “per cápita” dejando de lado el tamaño de la población.

En la figura 1, se puede observar que el comportamiento de Alemania y Corea del Sur, es congruente con la teoría de la convergencia de Barro (1992), Alemania al ser un país rico, no tiene un crecimiento acelerado, ya que sus rendimientos tienden a ser decrecientes, en contraste, Corea del Sur, que era un país de media tabla, ocupando el lugar número 48 en el ranking mundial de economías en el año de 1990, tuvo un crecimiento acelerado superior al de los países ricos, despegando notablemente a partir del año 2009. Por su parte, México encontrándose en una situación similar, y ligeramente mejor en el año 1990, ha tenido un decrecimiento sostenido, obligando a pensar que se encuentra en el lado de la divergencia con los países ricos. Ver apéndice B, tabla B1, para conocer los datos puntuales de los 3 países, de 1990 a 2021.

Con base en la teoría de Barro (1992) donde resulta fácil sostener que tener un ecosistema que permita las adopción y uso de tecnología es primordial para el crecimiento económico de un país, es que urgentemente se debe analizar el caso de México que, aunque tiene instituciones que favorecen la citada convergencia, como el caso de las instituciones de la IC, en medición del PIB per cápita PPA no ha visto reflejada esta ventaja, quizás porque los canales de transmisión no han sido los adecuados.

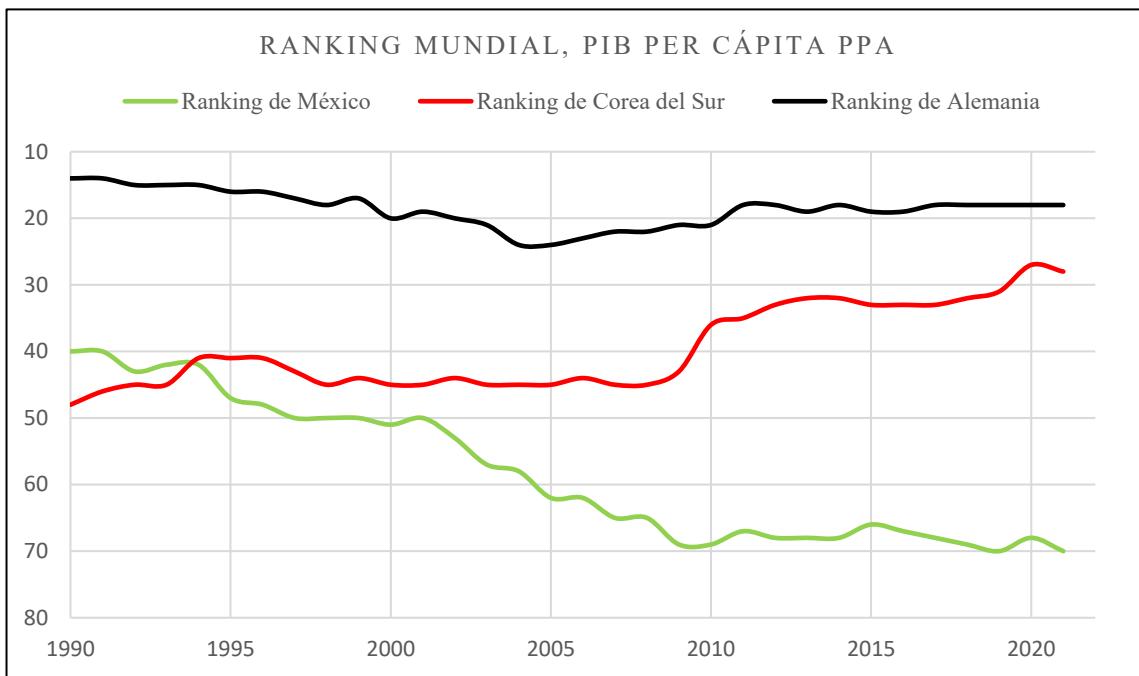


Figura 1. Lugar que México, Corea del Sur y Alemania ocupan en el ranking mundial de acuerdo con la medición del PIB per cápita PPA (Paridad de Poder Adquisitivo).

Fuente: Elaboración propia con datos de Banco Mundial 1990–2021.

Nota: Un movimiento al alza refleja una mejor posición a nivel mundial; en cambio, una disminución indica que otros países superaron el PIB per cápita.

Una consideración, Gernan-Soto y Gluschenko (2023) concluyen en una investigación que, para el caso de México, por su extensión territorial solo el 41% de los estados mantiene una dinámica regular de convergencia al nivel nacional, violando los prerequisitos del modelo de crecimiento neoclásico (Campos-Vazquez et al., 2021). Los resultados de su análisis desatan el interés académico, al proporcionar un patrón integral de tendencias de crecimiento económico entre las regiones de un país, lo que puede ser una base para diseñar políticas regionales que busquen reducir las diferencias de ingresos y promover el crecimiento entre regiones. De esta forma, las medidas de política pública deben ser específicas para cada región, ya que varias fuerzas en diferentes regiones

impulsan la desigualdad y las peculiaridades regionales juegan un papel determinante. Por tanto, queda pendiente de resolver el problema de identificar estas fuerzas y peculiaridades al interior de México, quizás, canales de transmisión. No obstante, el tratamiento de esta investigación es nacional, no regional, considerando los resultados –nacionales– del presente trabajo, para México, habría que continuar con estudios y estrategias para homologar al interior del país, las prácticas y estrategias que la presente investigación concluya convenientes para lograr la convergencia con países ricos.

2.1.3. Valor Agregado en la Manufactura

De acuerdo con el Banco Mundial, el indicador "Industrialización, valor agregado (% del PIB)" es una métrica que evalúa la contribución del sector industrial al Producto Interno Bruto (PIB) de un país, expresada como un porcentaje del total del PIB. Este indicador se utiliza para analizar el grado de desarrollo industrial de una economía en relación con su actividad económica total. La industrialización se refiere al proceso mediante el cual una economía cambia su estructura productiva de una orientación agrícola, turística o basada en recursos naturales hacia una centrada en la producción de bienes manufacturados, teniendo la ventaja de reducir la dependencia de su economía de sus recursos naturales que pueden ser finitos (Krugman, 1991). El valor agregado industrial se calcula, restando el valor de los insumos intermedios utilizados en el proceso productivo del valor total de la producción. Por lo tanto, este indicador proporciona una medida del valor que se agrega en el proceso de transformación de materias primas en productos finales, dentro del sector industrial.

Una mayor proporción de valor agregado industrial en el PIB suele indicar un mayor nivel de desarrollo industrial en una economía. La industrialización puede tener importantes efectos en el crecimiento económico, la creación de empleo, la productividad y la diversificación de la economía, razón por lo cual esta importante métrica es considerada en el presente trabajo, como un indicador que se debe manifestar en presencia de una IC madura y robusta.

Dado que el indicador de Banco Mundial “Industrialización, valor agregado (% del PIB)” es un valor relativo al PIB, para poder hablar en términos absolutos y desestimar el tamaño de la población de cada país, se construyó un indicador que multiplica el “Valor agregado” por el “PIB” de su respectivo país, esto es necesario ya que puede haber países con un porcentaje alto y un PIB bajo, lo que provocaría un sesgo, si solo vemos el porcentaje se podrían colocar países en desarrollo por encima de los países ricos. Recordemos que finalmente el interés es conocer las prácticas que nos lleven a los resultados de los países ricos en términos de su PIB per cápita.

Con datos de 1991 a 2022 de México, Alemania y Corea del Sur, como se aprecia en la figura 2, encontramos claramente a Alemania como un país aspiracional en términos de su desarrollo industrial y tecno-económico. Asimismo, se vuelve a apreciar el despuente de Corea del Sur, como sobrepasa a México, y lo pronunciado de su pendiente a la alza – imaginando la dispersión de sus datos como una línea recta– en este indicador resultado de producir bienes de alta calidad y tecnología avanzada.

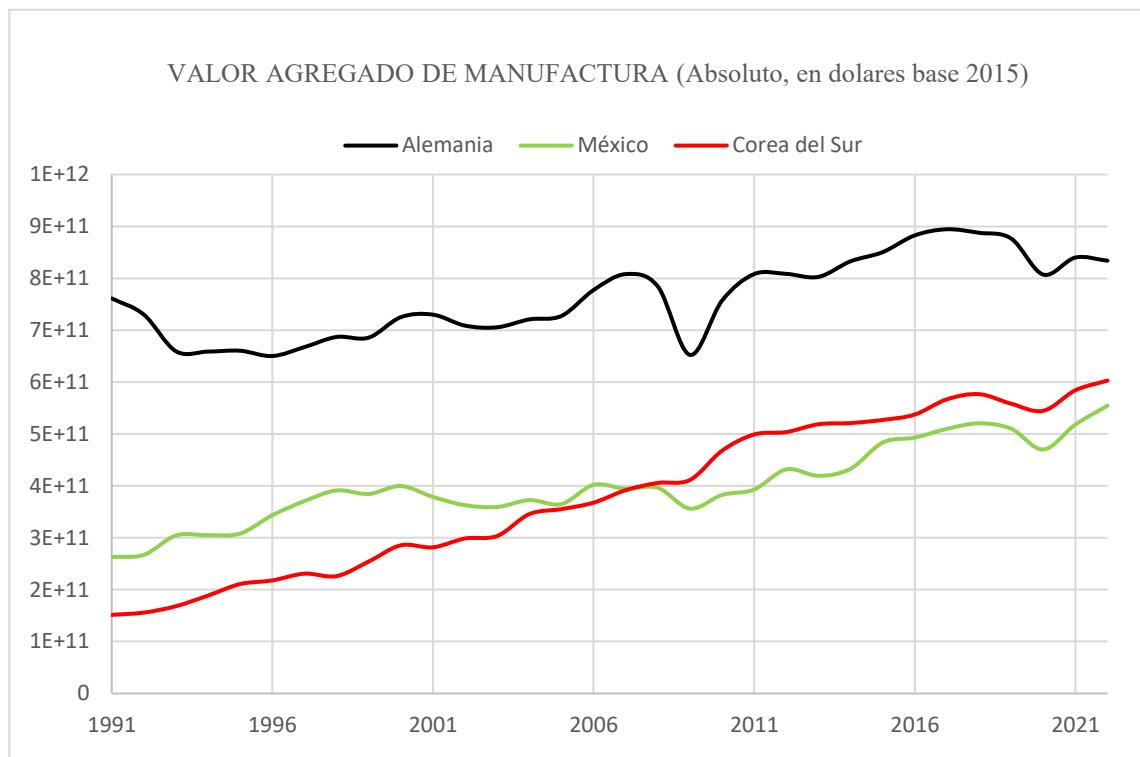


Figura 2. “Valor agregado del sector manufactura, en dólares constantes, base 2015”
Fuente: Elaboración propia con datos de Banco Mundial 1991–2022

2.1.4. Porcentaje de exportaciones de productos manufacturados de alta tecnología

Con base en los resultados presentados en la tabla 2.1 y 2.2, se confirma que hay al menos dos distintas maneras en las que un país puede ayudarse a sí mismo para pertenecer a la élite de los países ricos, tomando como criterio la medición del PIB per cápita. Una forma puede ser por medio de la industrialización de su economía (Krugman, 1991) como es el caso de Corea del Sur, o bien, por medio de su desarrollo tecnológico e innovación y lo bien que pueda comercializar el país esta alta tecnología (Barro, 1992) como en el caso de Alemania.

De acuerdo con el Banco Mundial, el indicador "Exportaciones de productos manufacturados de alta tecnología", es una métrica que evalúa la cantidad de exportaciones totales de un país, que se atribuyen a productos manufacturados considerados de alta tecnología. Este indicador es muy importante porque proporciona una métrica que permite conocer en qué medida un país está especializado en la producción y exportación de bienes, que requieren un alto nivel de conocimiento tecnológico y habilidades avanzadas. Los productos manufacturados de alta tecnología suelen ser aquellos que incorporan una considerable cantidad de investigación, desarrollo y tecnología en su producción, y esto a su vez, depende en gran medida de una IC sólida, que respalde la calidad y fiabilidad de los procesos tecnológicos y productivos –con buenos conocimientos e infraestructura en metrología, acreditaciones confiables, así como estándares y evaluaciones de la conformidad rigurosos– Por su parte, literatura reciente, Navarro et al. (2023), confirma que existe una correlación de este indicador con múltiples variables, dignas de ser analizadas con mayor detalle en países heterogéneos, como el capital físico y humano, la innovación, la inversión extranjera directa, el tamaño del país en términos de población y la pertenencia a la Unión Europea, entre otros. Ejemplos comunes de productos manufacturados de alta tecnología incluyen, electrónicos, equipos de telecomunicaciones, maquinaria avanzada, productos farmacéuticos y dispositivos médicos, entre otros.

Un valor alto asociado a las exportaciones de productos manufacturados de alta tecnología puede indicar que un país posee una base industrial avanzada y competitiva en sectores de tecnología de punta. Esto puede ser un signo de fortaleza en la capacidad de

innovación y en la adopción de tecnologías de vanguardia, lo que a su vez puede impulsar el crecimiento económico y la competitividad internacional del país. Por otro lado, un bajo porcentaje de exportaciones de productos manufacturados de alta tecnología puede sugerir que un país depende en mayor medida de sectores menos intensivos en tecnología o que su base industrial no está tan orientada hacia la innovación y la tecnología avanzada. A continuación, en la figura 3, se puede observar el comportamiento de esta métrica para Alemania, Corea del Sur y México. De la misma manera en que el indicador “Valor agregado del sector manufactura (industrial)” fue llevado a valores per cápita, la información del banco mundial referente a las “Exportaciones de productos de alta tecnología” fue trabajada para llevar los valores absolutos, es decir dividida entre la cantidad de población total del respectivo país y año, para llevarlo a valores absolutos per cápita, y con esto desestimar la diferencia que pueda existir debido al tamaño de los países que se están comparando, y así, tener valor equiparables.

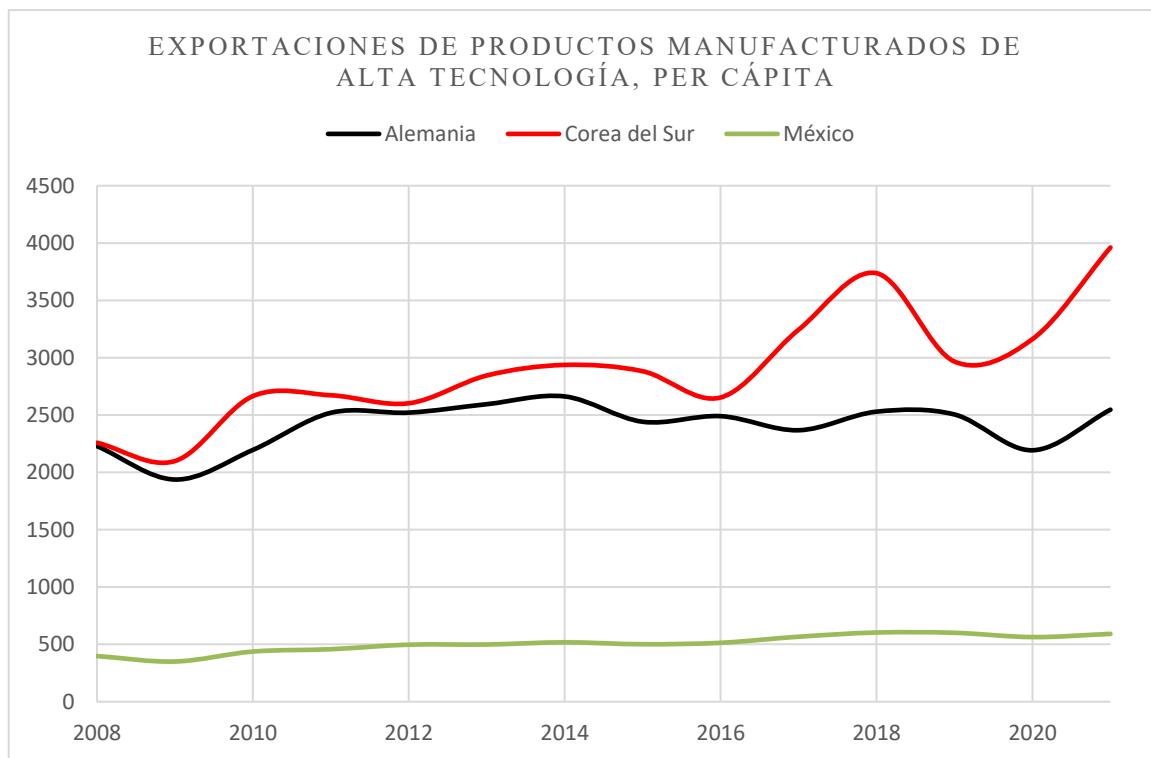


Figura 3. Ingreso per cápita de Alemania, México y Corea del Sur, en dólares USD a valores actuales, por las “Exportaciones de productos manufacturados de alta tecnología”
Fuente: Elaboración propia con datos de Banco Mundial 2008–2021.

2.2. Instituciones, infraestructura de la calidad y desarrollo económico

De acuerdo con North (1990) y Romero (2001) las instituciones son las reglas del juego en una sociedad, las obligaciones creadas por las personas que dan forma a la interacción humana; en consecuencia, éstas estructuran los incentivos en el intercambio humano, ya sea en el ámbito político, social o económico. Para Hatch (1997), institución se refiere a “una agrupación social legitimada”; bien puede tratarse de una familia, un juego o una ceremonia. Para Friedland y Alford (2001: 307), las instituciones “son patrones supra organizacionales de la actividad humana por los cuales los individuos y las

organizaciones producen y reproducen su subsistencia material y organizan el tiempo y el espacio”.

Continuando con la conceptualización de instituciones, existen dos ángulos desde los cuales típicamente se ha abordado: el “nuevo institucionalismo”, que es un enfoque anglosajón reconocido en 1977, a partir de la escuela del comportamiento, y que agrupa diversas disciplinas como la ciencia política, la sociología y la economía. Su antecedente es la teoría institucionalista que tiene su origen en los años 50 –que emergió como una respuesta al enfoque racional–, según el cual las organizaciones que componen a las instituciones desarrollan características que las diferencian unas de otras y que son el factor más importante a considerar para entender el comportamiento de los actores organizacionales. Con un énfasis pragmático, se basa en la teoría de la acción de Talcott Parsons (1951), donde se destaca la dimensión cognoscitiva y se concentra en los procesos y esquemas preconscientes a medida que forman parte de la conducta rutinaria (DiMaggio y Powell, 2001); Y por otro lado, está el “viejo institucionalismo”, de Philip Selznick, quien utiliza un enfoque institucional en sus trabajos para explicar que las organizaciones, tienen vida propia y pueden visualizar a la estructura como un organismo adaptable, formado de acuerdo con la voluntad de los participantes y a la influencia del medio ambiente.

El nuevo y el viejo institucionalismo son divergentes, pero ambos comparten su escepticismo con respecto a los modelos de organización basados en el acto racional y consideran a la institucionalización como un acto dependiente del Estado. Esta dependencia hace a las organizaciones menos racionales instrumentalmente, al limitar sus

opciones a seguir. Asimismo, enfatiza la relación entre la organización y el ambiente, así como la importancia de la cultura en la realidad organizacional (DiMaggio y Powell, 2001).

Si bien, por un lado, algunas instituciones cuando son incorporadas en redes complejas de relaciones técnicas e intercambios que traspasan fronteras, pueden crear profesiones, políticas y programas junto con los productos y servicios que se supone deben producir racionalmente, muchos de estos productos y servicios, buscan aumentar la legitimidad y perspectivas de supervivencia, de sus organizaciones independientemente de la eficacia. (Meyer y Rowan en DiMaggio y Powell, 2001).

Por otro lado, destacados autores han documentado la importancia de las instituciones del Estado para el óptimo funcionamiento del modelo económico actual, de acuerdo Stiglitz (2000) desde que nacemos hasta que morimos, las actividades del Estado influyen en forma positiva de innumerables maneras en nuestra vida, Akerlof (1970) explica el círculo vicioso en el que puede caer el mercado a causa de asimetrías de información sin la apropiada intervención del Estado; North (1989) examinó la interdependencia de las instituciones políticas y económicas con el crecimiento económico encontrando una relación directa y autores recientes como Dzinek-Kozlowska y Matera (2021), reafirman esta relación incorporando nuevos elementos, como la cultura.

A partir de esta base conceptual, la Infraestructura de la Calidad (IC) puede entenderse como un dispositivo institucional que reduce asimetrías de información, estandariza expectativas y habilita intercambios verificables en mercados complejos

(North, 1990; Stiglitz, 2000; Akerlof, 1970). Su efecto neto, sin embargo, es condicional a las capacidades locales para cumplir y aprovechar normas. La economía de los estándares documenta beneficios —menores costos de transacción, interoperabilidad y difusión de conocimiento tácito— pero también costos de cumplimiento y riesgos de *lock-in*, quedarse atrapado, cuando la densidad normativa supera la absorción empresarial (Blind, 2013). De ahí que los componentes de la IC deban analizarse como un sistema interdependiente (Sanetra y Marbán, 2007; Harmes-Liedtke, 2010, 2016; PTB, 2011), en el que la calidad regulatoria y la articulación institucional condicionan su contribución a la productividad, innovación y el comercio. Esta lectura sistémica cuenta, además, con evidencia reciente en el ámbito subnacional mexicano (Castro, 2023), donde la densidad y articulación de servicios metrológicos y de acreditación se asocian con diferencias observables en capacidades de innovación regional.

2.2.1. Infraestructura de la Calidad (IC)

De acuerdo con la Ley de la Infraestructura de la Calidad (LIC, 2020), el Sistema Nacional de Infraestructura de la Calidad se compone de normalización, estandarización, acreditación, evaluación de la conformidad y metrología para promover el desarrollo económico y la calidad de bienes y servicios. En síntesis, se trata de una arquitectura público-privada con política nacional de calidad, marco regulatorio e instituciones que interactúan para garantizar objetivos legítimos de interés público e impulsar la competitividad.

En consenso general, que explican muy bien Sanetra y Marbán (2007), la IC se compone de cinco elementos técnicos; tres —normalización, metrología y acreditación— están estructurados a nivel regional e internacional y se armonizan mediante acuerdos de reconocimiento mutuo (MRA) sustentados en evaluaciones por pares. Cada país desarrolla sus entidades nacionales y servicios bajo directrices internacionales; mientras que los otros dos componentes —ensayos y certificación— deben ser accesibles a los usuarios y vinculados al sistema a través de normas, trazabilidad metrológica y acreditación.

Más allá de su definición normativa (LIC, 2020) y de la taxonomía clásica de componentes (Sanetra y Marbán, 2007), la IC debe entenderse como una arquitectura de capacidades que asegura trazabilidad metrológica, consensos normativos y confianza en la evaluación de la conformidad. Su contribución al desarrollo es, no obstante, condicional: abre mercados y eleva la sofisticación manufacturera cuando existe masa crítica de servicios metrológicos, esquemas de acreditación creíbles y marcos regulatorios predecibles; pero puede profundizar brechas cuando los costos de cumplimiento superan

la capacidad de adopción (Henson & Humphrey, 2010). Para México, se observa que la densidad, articulación de metrología y acreditación se asocian con diferencias en capacidades de innovación a nivel regional (Castro, 2023), lo que refuerza el carácter sistémico y contingente de la IC. Este enfoque justifica el análisis comparado (p. ej., Alemania-Méjico-Corea del Sur), en el cual la coordinación interinstitucional, el aprendizaje regulatorio y entendimientos similares de la IC, producen resultados divergentes en innovación, manufactura y exportaciones.

Para efectos prácticos, ambas descripciones, tanto la arquitectura normativa como la taxonomía funcional, son consistentes y hablan de las mismas instituciones, pues hay un paralelismo y correspondencia entre los componentes de la IC que reconoce México por medio de la LIC y los que presentan Sanetra–Marbán en el modelado clásico de la mayoría de los países de Europa, apuntalado por Alemania (ver tabla 1).

Tabla 1
Instituciones de la Infraestructura de la Calidad

LIC (Méjico)	LIC Sanetra et al. (Alemania)
Normalización/Regulaciones Técnica	Normalización/Regulaciones técnicas y estándares
Estandarización	
Acreditación	Acreditación
Evaluación de la conformidad	Ensayos Certificación
Metrología	Metrología

Fuente: Elaboración propia con datos de la LIC (2020) y Sanetra (2007).

Dichos componentes –instituciones– se pueden definir de la siguiente manera: La **normalización** es un componente esencial de la Infraestructura Nacional de la Calidad, según Sanetra y Marbán (2007). Para evitar confusiones y superposiciones de actividades, cada país establece en su legislación la creación y funciones de un único Instituto Nacional de Normalización. Este instituto, ya sea de carácter público o privado, pero con reconocimiento legal, representa al país ante organismos internacionales como ISO, Codex Alimentarius y organizaciones regionales como COPANT. Siempre en sinergia con los demás actores de la IC, por ejemplo, el PTB (Physikalisch–Technische Bundesanstalt) Instituto Nacional de Metrología de Alemania, colabora estrechamente con la ISO y otras organizaciones para desarrollar normas globalmente aceptadas que faciliten el comercio y la innovación.

En el mundo de las normas, existen dos tipos: voluntarias o estándares, que requieren consenso entre las partes interesadas para su reconocimiento general, garantizando la uniformidad en las mediciones y especificaciones; y obligatorias, conocidas como "Normas Oficiales" o reglamentos técnicos, cuyo desarrollo y aplicación son responsabilidad de las entidades gubernamentales competentes en cada campo. Otro ejemplo de sinergia entre la normalización y la metrología, son las actividades que el NIST (*National Institute of Standards and Technology*), INM de Estados Unidos, ha llevado a cabo con el desarrollo de guías y estándares voluntarios ampliamente adoptados en todo el mundo en áreas como ciberseguridad, manufactura avanzada y tecnologías emergentes. Estos estándares voluntarios complementan los reglamentos técnicos obligatorios, creando un marco integral para la calidad y seguridad.

La **estandarización**, una actividad realizada excepcionalmente por las Autoridades Normalizadoras según la LIC de México, es llevada a cabo por los Organismos Nacionales de Estandarización, entidades registradas cuyo propósito principal es la elaboración, modificación y cancelación de Estándares. Estos organismos pueden ser tanto públicos como privados, ejemplo, en México, la Dirección General de Normas (DGN) que depende de la Secretaría de Economía, en Estados Unidos, el Instituto Americano de Normas Nacionales (ANSI) que es una organización privada sin ánimo de lucro.

En cuanto a la **acreditación**, Sanetra y Marbán (2007) destacan que va más allá de una simple certificación, ya que implica evaluar la competencia técnica de una persona, institución o laboratorio, no solo el cumplimiento de una norma. La acreditación es esencial para calibrar los laboratorios secundarios que brindan servicios a la industria, permitiendo la trazabilidad de las mediciones a los patrones nacionales.

Conviene subrayar que la exposición de Sanetra y Marbán se inscribe en el marco conceptual de la ISO/IEC 17000. Para aclarar términos y, en su caso, ampliar definiciones, remito al lector a dicho estándar, que ofrece el vocabulario y los principios generales que delimitan, con precisión, los conceptos de normalización, regulación técnica y evaluación de la conformidad, marco al que se acogen las categorías empleadas a lo largo de esta investigación.

La **evaluación de la conformidad**, según la LIC de México, es el proceso técnico que demuestra el cumplimiento con normas, estándares y disposiciones legales, incluyendo procedimientos de muestreo, prueba, inspección, evaluación y certificación.

Equiparable con los **ensayos**, utilizados para estudiar las características y calidad de productos, que dependen de métodos normalizados para asegurar resultados comparables y reproducibles, así como de la calibración adecuada de los equipos de medición y ensayo, la normalización es fundamental en este proceso.

Por su parte, la **metrología**, que es la ciencia de las mediciones y sus aplicaciones, de acuerdo con el *International Vocabulary of Metrology* en su cuarta edición, desempeña un papel crucial en la Infraestructura de la Calidad, ya que sin mediciones, calibraciones, laboratorios acreditados y trazabilidad, no es posible garantizar la calidad de los productos y servicios ni dar soporte a las innovación y desarrollo de nuevas tecnología, al respecto, resalta la importancia de la metrología en áreas como la salud, la energía y el medio ambiente. Donde los INMs, como el PTB, NIST, KRISS (Korea Research Institute of Standards and Science) y el CENAM, cada uno por su parte, desarrollan patrones de medición y tecnologías avanzadas para respaldar la innovación en estos sectores clave.

Este conjunto de instituciones –normalización, estandarización, acreditación, evaluación de la conformidad (ensayos) y metrología– conforman la Infraestructura Nacional de la Calidad de cualquier país, esencial para garantizar la calidad de los productos y servicios, facilitar el comercio y la integración económica a nivel regional e internacional.

2.2.2. IC en la economía desarrollada y subdesarrollada

Existen diferentes enfoques desde los cuales se señalan los beneficios que la aplicación de la infraestructura de la calidad puede tener para países desarrollados y subdesarrollados. A continuación, se presentan algunas de estas ideas.

Defendiendo la existencia de la infraestructura de la calidad, Fisher & Stenner (2022) aseguran que las instituciones de la IC juegan un papel vital en la creación de mercados, que dependen de la eficiencia obtenida a través de la disponibilidad universal de información precisa, sobre la cantidad y calidad del producto –como la industria de la manufactura (Olu-lawal et al., 2024) –. Alcanzar el potencial de estos ideales requiere prestar mucha atención a la metrología y a el papel de la tecnología en la ciencia y la economía. El valor práctico de una teoría sólida de calibración de instrumentos y de trazabilidad metrológica, se deriva de la capacidad de mediar en las relaciones de manera que se alineen, coordinen e integren las expectativas, inversiones, decisiones a largo plazo y presupuestos de capital de diferentes empresas.

En concordancia, para North (1990) los mercados económicos evolucionan dentro del marco institucional según el tipo de instituciones que prevalezcan y sus características de cumplimiento, aunque, la creación, difusión y división del conocimiento –necesario para el crecimiento económico– ocurrirá con costos de transacción altos o bajos invariablemente. Altos costos pueden llevar a una asignación ineficiente de recursos, conducir a una menor cantidad de intercambios y colaboraciones, dificultar la coordinación y colaboración entre diferentes partes, lo que limita la capacidad de formar acuerdos y alianzas, requerir estructuras más burocráticas y contratos más detallados. Por otro lado, bajos costos de transacción facilitan la coordinación y colaboración entre las diferentes partes, propicia transacciones más fáciles y menos riesgosas, originando menor burocracia. Asimismo, instituciones apropiadas, a través de la estabilización de expectativas, evitando asimetrías de información –por medio de normas, certificaciones,

evaluaciones de conformidad, etc.– conducen a una mayor seguridad en las transacciones y, por ende, favorecen al incremento de transacciones. Bajos costos de transacción y mayor número de transacciones comerciales traen al final, un mayor rendimiento económico.

La evidencia empírica de Temple, Spencer y Witt (2005) por un lado, aseguran que la elasticidad de la productividad de la mano de obra respecto de las normas creadas por las instituciones es de aproximadamente 0.05. Esto significa que un aumento del 10% en las normas aplicadas se asocia con un aumento del 0.5% en la productividad de la mano de obra.

Por otro lado, destacando los prejuicios de las normas, Czubala et al. (2007) encontraron que los efectos de las normas de la Unión Europea que difieren de las normas ISO en el sector textil y de la vestimenta de 47 países de África Subsahariana restringen el nivel de exportaciones de dichos países hacia la Unión Europea. Con base en lo anterior, no sorprende que pueda considerarse una contradicción, el beneficio y perjuicio que propicia la normalización, los efectos positivos en los cambios técnicos se ven contrarrestados por sus efectos negativos en la variedad de los productos, las normas limitan la innovación al especificar las características de los productos, como forma, rendimiento o interfaz. Las normas obsoletas o inadecuadas pueden representar un obstáculo para los cambios técnicos al impedir que se adopte una tecnología superior a causa de los anacronismos tecnológicos (Guash et al., 2007).

2.2.3. IC, su relación con la I&D y otros canales de transmisión

Deja claro la literatura, North (1990), Temple et al. (2005), Czubala y Guash. (2007), Trajkovic y Milosevic (2016) y Fisher (2022), que existe una incidencia de las instituciones de la IC en el desarrollo industrial y económico de un país. Con base en los autores previamente citados, la presente investigación parte del hecho, que existe una relación causal positiva entre las instituciones de la IC y efectos económicos, técnico-tecnológicos y sociales, como los que trae la estandarización (Trajkovic y Milosevic, 2016) por poner un ejemplo. Pero, la relación causal de la IC está condicionada a una serie de factores que potencializan o atenúan los beneficios que la IC promete, a estos factores se les denomina en la presente investigación como “canales de transmisión”.

Más ejemplos que soportan estas relaciones causales, donde además intervienen claramente canales de transmisión son: Inversión en I&D, la encuesta de innovación de la comunidad europea (CIS por sus siglas en inglés) y otros estudios revelan que las PYMES en economías en proceso de recuperación tienen un desempeño bastante pobre en innovación en comparación con las economías occidentales desarrolladas (Zerka, 2010). Por ejemplo, en comparación con la media de la Unión Europea (UE), están sustancialmente por detrás en relación con los indicadores de innovación que describen la creación de nuevos conocimientos de alto nivel, su aplicación en la sociedad y la protección de la propiedad intelectual. También, hay menos innovadores entre las PYMEs que entre las grandes empresas, tanto en las economías en proceso de recuperación como en las desarrolladas (Hewitt-Dundas, 2006). Según CIS-2006, el rendimiento de la innovación en Polonia es entre 2 y 3 veces menor entre las PYME (7-27%) que entre las

empresas más grandes (23–64%), dependiendo del tipo de innovación (producto, proceso u organización). En Estonia se encontró una tendencia similar, pero con un mayor número de empresas innovadoras (15%–48% y 32%–80%, respectivamente). Lo que relaciona directamente el poder económico con la innovación y el desarrollo tecnológico.

Nivel de cobertura y madurez de la IC, es objetivo de esta investigación conocer la importancia de la incidencia de la IC en el desarrollo tecnológico y económico, si bien hay autores que como Temple et al. (2005), Czubala,y Guash. (2007) y Fisher (2022) que dan muestra de causalidad, la investigación será enfocada en datos de México y como propuesta, se utilizarán indicadores como la “Cantidad de CMCs registradas en el BIP”, variables ampliamente conocidas en el argot de la metrología y la IC, en adelante también llamadas variables de interés. Desafortunadamente, no hay un entendimiento entre países para la forma de registrar el “Número de laboratorios de ensayo y calibración acreditados” y por tanto, nos son equiparables las bases de datos entre un país y otro.

De acuerdo con el Centro Nacional de Metroología, los países pertenecientes al Tratado del Metro firmaron en 1999 un Arreglo de Reconocimiento Mutuo (MRA por sus siglas en inglés) que les permite que sus capacidades de medición y calibración sean reconocidas entre todos los países firmantes del MRA. México, como miembro del Tratado del Metro desde 1890, suscribió el MRA, lo cual le da derecho a que su Instituto (CENAM), pueda tener reconocidas y publicadas sus CMC en la base de datos de la Oficina Internacional de Pesas y Medidas (BIPM por sus siglas en francés) conocida como KCDB (*Key Comparison Data Base*). El reconocimiento de las CMC de un país tiene varias ventajas, entre ellas está el hecho de demostrar la independencia técnica de sus

mediciones. No es lo mismo: que el país que exporta, declare que su producto cumple con los requerimientos de calidad y cantidad que haya ofrecido, a que sea el país importador quien determine la calidad como la cantidad del bien importado (Véase: Sobre la importancia de las Capacidades de Medición y Calibración (CMC) en el ámbito internacional de la Metrología). Otra ventaja del reconocimiento de las CMC de un país se refiere a la intensidad de sus competencias técnicas para proporcionar las mediciones de calidad que dentro de ese país la industria y el comercio requieren.

Capital humano, la investigación sobre sistemas de innovación se ha centrado en gran medida en las grandes economías, mientras que varios de los nuevos Estados miembros de la UE son relativamente pequeños en términos de población y PIB. Por lo tanto, es importante estudiar cómo estos países podrían superar los problemas causados por su pequeñez –que es una desventaja grave desde la perspectiva del atractivo del mercado o en términos de dotación de recursos– y lograr aprovechar las ventajas de los recién llegados. Por ejemplo, Calvert y Senker (2004) ofrecen un estudio comparativo de los problemas de innovación en los sectores biotecnológicos de Portugal e Irlanda. Adoptan una perspectiva del sistema de innovación y tratan de aclarar las diferencias en el desempeño de la innovación entre estos dos países. Los resultados muestran que hay fallas específicas del sistema que deben considerarse. La comparación mostró que Portugal no tiene tanto éxito en proporcionar innovaciones biotecnológicas como Irlanda y que las causas de esta brecha en el desempeño podrían atribuirse, al menos en parte, a una demanda industrial insuficiente en Portugal.

En resumen, en la tabla 2, se pueden observar los canales de transmisión propuestos para el análisis, con base en los distintos estudios científicos previamente mencionados, que corroboran la incidencia en el desarrollo tecnológico y económico de un país.

Tabla 2

Canales de transmisión que inciden junto con la IC en el desarrollo tecno–económico

Canales de transmisión	Variables de interés
Nivel de cobertura y madurez de la IC	<ul style="list-style-type: none"> • Cantidad de CMCs registradas en el BIPM. • Certificaciones ISO 9001. • Percepción de la regulación en la IC.
Canales de transmisión	Variables moderadoras
Capital humano, inversión e I&D.	<ul style="list-style-type: none"> • Población de entre 15 y 64 años. • Gasto en I&D. • Gasto público en educación. • Solicitudes de patentes. • Índice Global de Innovación.
Indicador	Variables de respuesta
Medidas tecno–económicas	<ul style="list-style-type: none"> • Valor agregado de Manufactura. • Exportaciones de Productos de Alta Tecnología. • PIB PPA, per cápita.

Fuente: Elaboración propia con información de Carayannis et al (2008).

3. METODOLOGÍA

En este capítulo se describe el enfoque metodológico adoptado para alcanzar el objetivo general de la investigación, así como los objetivos específicos planteados en el Capítulo 1. Se detalla el proceso a seguir para llevar a cabo cada fase del estudio, proporcionando una guía clara sobre las estrategias de investigación empleadas.

El capítulo se organiza en cinco secciones principales. La primera sección ofrece una descripción general de la investigación, en la cual se clasifica de acuerdo con criterios metodológicos reconocidos en la literatura, como los propuestos por Ollivier-Fierro et al. (2017). Esta sección también incluye la formulación de la hipótesis principal y las hipótesis secundarias, derivadas de los objetivos específicos y sustentadas por la revisión de la literatura realizada en el Capítulo 2.

La segunda sección está dedicada a la definición de las principales variables de la investigación. Aquí, se presentan las variables dependientes e independientes, así como las variables de control, definiendo tanto su dimensión conceptual como operacional.

En la tercera sección, se describe el diseño de la investigación, especificando el tipo de estudio según el nivel de control sobre las variables y la temporalidad de este. También, se discuten las técnicas de recolección y tratamiento de los datos.

La cuarta sección aborda la selección de la muestra y los procedimientos utilizados para la recolección de datos, asegurando la validez y confiabilidad de los resultados obtenidos, y como penúltima, la quinta sección se centra en la metodología de análisis de datos, detallando las técnicas estadísticas y analíticas empleadas para abordar cada uno de

los objetivos específicos. Esta sección proporciona una visión clara de cómo se estructurará el análisis de los datos y cómo se interpretarán los resultados.

Finalmente, la sexta sección cierra con las consideraciones éticas con las que fue realizada la presente investigación, y es así como, al concluir este capítulo, se habrá establecido un marco metodológico robusto, que permitirá desarrollar los análisis necesarios para presentar los hallazgos de manera coherente y rigurosa en los 2 capítulos posteriores, resultados y conclusiones.

3.1. Diseño de la investigación

La investigación se clasifica de acuerdo con criterios metodológicos ampliamente aceptados, lo que permite delimitar su alcance y definir su enfoque. La investigación se enmarca como un estudio explicativo, diseñado para generar conocimiento nuevo y basado en un enfoque cuantitativo. Según su temporalidad, es un estudio actual, transversal y su diseño se caracteriza por el uso de métodos multivariados para el análisis correlacional de los datos. A continuación, en la tabla 3. se puede apreciar la clasificación de la investigación y el porqué, de acuerdo con diversos criterios:

Tabla 3
Clasificación de la investigación según diversos criterios

Criterio	Clasificación	Definición/Análisis
Según el alcance de la investigación	Explicativo	Pretende establecer las causas del fenómeno estudiado / Esta investigación no solo busca identificar relaciones entre variables, sino también entender las causas subyacentes de ciertos fenómenos, como por qué México no ha logrado la convergencia económica en comparación con otros países. El enfoque explicativo se utiliza para profundizar en la comprensión de los mecanismos detrás de estas relaciones.
Según el nivel de conocimiento que genera	Básica	Tiene como finalidad la generación de conocimiento y teoría / La investigación se centra en el análisis de conceptos fundamentales como la Infraestructura de la Calidad, el crecimiento económico, y la convergencia económica. Estos son temas de interés general en la economía que buscan entender los mecanismos subyacentes que afectan el desarrollo económico.
Según el tipo de hipótesis	Causal	Afirma la relación entre dos o más variables / En el contexto de esta investigación, se busca determinar cómo la IC influye en el crecimiento económico, específicamente en el PIB per cápita y en las exportaciones de alta tecnología. Esto implica que se está evaluando si cambios en la IC (causa) llevan a cambios en el desarrollo tecno-económico (efecto).
Según la medición de las variables a investigar	Cuantitativa	Aquellas cuyas variables es posible asignar cantidades a través de valores numéricos y en oposición a ellas / Al utilizar datos numéricos y técnicas estadísticas avanzadas, como las ecuaciones estructurales, para analizar el impacto de la Infraestructura de la Calidad en el desarrollo tecno-económico de México y su convergencia económica con países desarrollados.
Según el control de las variables	Cuasi-experimental	Se identifican grupos de control lo más parecido posibles al grupo de tratamiento / Si bien no habrá control total sobre las variables, ni una asignación aleatoria de países o economías a grupos de tratamiento y control, sí se compararán los resultados, por ejemplo, México con otros países (como Corea del Sur y los países de EURAMET).
Según el tiempo durante el que se realizará el trabajo	Pseudo-panel	Cuando la investigación se realiza en más de un corte de tiempo utilizando diferentes cohortes / Debido a que se observan las mismas unidades (países) en múltiples períodos de tiempo (2000, 2012 y 2022). Este enfoque permitirá estudiar la evolución de las variables a lo largo del tiempo y controlar por efectos fijos o aleatorios específicos de cada país.
Por número de variables	Multivariable	Plantea una relación entre diversas variables independientes y una dependiente / Debido a la inclusión y análisis de múltiples variables que afectan el desarrollo tecno-económico de México. Este enfoque permite una comprensión más profunda y matizada de las relaciones entre la IC y el crecimiento económico, destacando la complejidad del fenómeno y la necesidad de estrategias integrales.
Por la época de estudio	Actual	Es un análisis del comportamiento de las variables en el presente / El análisis termina en el año 2022, el cual se considera "actual" debido a que son los datos recolectados más recientes disponibles para el análisis.

Fuente: Adaptado de Rosas (2021)

3.1.1. Objetivos de la investigación

El objetivo general de esta investigación es identificar las razones por las cuales México no ha logrado la convergencia con países tecnológicamente desarrollados, analizando la Infraestructura de la Calidad (IC) y sus canales de transmisión (CT). Este estudio busca explicar la persistente brecha de desigualdad tecno-económica entre México y las economías más avanzadas y, para alcanzar este objetivo general, se plantean los siguientes objetivos específicos:

Nivel descriptivo:

1. Identificar los canales de transmisión (CT) de la IC que contribuyen a la convergencia entre México y países tecnológicamente desarrollados, enfocándose en las variables que componen a la IC y sus canales de transmisión (variables de interés y moderadoras respectivamente, “ X_n ”).

Nivel exploratorio:

2. Contrastar los resultados de las instituciones de la IC y CT identificados, variables “ X_n ”, en una muestra representativa de países, analizando la correlación de estos con el desarrollo tecno-económico, variables “ Y_n ”.
3. Analizar cómo las variables de respuesta (“ Y_n ”), relacionadas con la IC y el desarrollo tecno-económico, contribuyen al PIB per cápita, variable (“ Z ”) que mide la riqueza de los países y, permite la medición de convergencia o divergencia al comparar 2 o más países.

3.1.2. Hipótesis de la investigación

La hipótesis afirmativa de trabajo (H_A), de tipo causal, plantea que: Las instituciones de la IC, aunque favorecen el desarrollo tecno–económico de países en vías de desarrollo, como México, requieren fortalecer canales de transmisión y ciertas condiciones, para potencializar los beneficios de la IC y con esto converger con países desarrollados.

En sintonía con diversos estudios publicados, como ejemplo CEPAL (2025), "fortalecer los canales de transmisión" se refiere al proceso de mejorar las capacidades institucionales y estructurales que permiten una adopción y difusión más efectiva de tecnologías y prácticas innovadoras. Esto incluye el desarrollo de infraestructura tecnológica, la mejora de la calidad regulatoria, el aumento de la inversión en investigación y desarrollo, y la potenciación del capital humano, entre otras.

La hipótesis se justifica con base en la teoría, que por un lado reconoce el beneficio de las instituciones de la IC (Link, 1996 y 1997, Guasch, 2007; Sanetra 2004 y 2007; Fisher, 2022, Olu-lawal, 2024), y que por otro lado, advierte que un país en vías de desarrollo solo logrará tener un crecimiento más acelerado, en comparación de uno ya desarrollado, cuando el país esté listo para usar tecnología avanzada, con una fuerza laboral educada y condiciones políticas y económicas estables, esto último, con base en la teoría de la convergencia de Barro & Sala-i-Martin (1992), ampliamente divulgada por el Banco mundial y la OCDE y vigente a la fecha.

Como hipótesis secundarias, exploratorias:

Hipótesis Secundaria 1: Las instituciones y canales de transmisión asociados a la Infraestructura de la Calidad (IC), como la calidad regulatoria, la cantidad de

certificaciones y las Capacidades de Medición y Calibración, tienen un impacto lineal, positivo en la convergencia tecno-económica entre México y países tecnológicamente desarrollados, así como variables asociadas al desarrollo tecnológico como numero de patentes, índice de innovación y gasto en I&D, entre otras. Por tanto, se espera que el fortalecimiento de estos canales refleje un cambio positivo en las exportaciones de alta tecnología y el valor agregado en manufactura.

Hipótesis secundaria 1, nula: Las variables muestran una relación positiva no lineal con el desarrollo tecno-económico, sugiriendo que su impacto es más fuerte en economías que ya han alcanzado cierto nivel de desarrollo.

Hipótesis Secundaria 2: Existe una relación significativa entre las exportaciones de productos de alta tecnología, el porcentaje de valor agregado en manufactura y el PIB per cápita en México. Es decir, mayores exportaciones de alta tecnología y un mayor porcentaje de valor agregado en manufactura están asociados con un aumento en el PIB per cápita.

Hipótesis Secundaria 2, nula: las variaciones en las exportaciones de alta tecnología y el valor agregado en manufactura no influyen de manera significativa en el nivel del PIB per cápita.

Estas hipótesis secundarias permitirán una exploración detallada de las dinámicas específicas, que explican la falta de convergencia de México con las economías desarrolladas, dentro de un marco analítico –la IC– que integre las variables clave identificadas en los resultados, con la teoría, dando paso a las conclusiones y recomendaciones de este trabajo.

3.2. Variables de estudio

Esta sección se dedica a la identificación y definición de las variables clave que intervienen en el estudio. Se proporcionan definiciones tanto conceptuales como operacionales de las variables principales y de moderación. Cada variable, es descrita en términos de su relevancia para los objetivos de la investigación, y en cómo se medirá, en el contexto del análisis empírico.

Con base en la selección del sujeto de estudio, el planteamiento del problema y las hipótesis, se identificaron las variables independientes y las variables dependientes como se describe a continuación:

Por un lado, en la tabla 5, se encuentran las variables de interés, que dan una buena referencia del desarrollo tecnológico y económico de un país por medio de conocer el:

1. “Valor agregado de manufactura como porcentaje del PIB”,
2. “Exportaciones de productos de alta tecnología como porcentaje de los productos manufacturados”
3. Estas variables “*Y*” inciden a su vez en la variable “*Z*” denominada “PIB per cápita PPA”, en adelante, variables dependientes, las cuales fueron elegidas de entre otras, por la importancia que tienen en la teoría de la convergencia de Barro & Sala-i-Martin (1992).

Por el otro, las variables independientes (observadas) de interés, con las que se modela la IC en esta investigación (ver tabla 4):

1. “Percepción de regulación en calidad”
2. “Certificados ISO 9001”

3. “CMCs”

y las variables independientes moderadoras, también exploradas como canales de transmisión dentro de la IC:

4. “Gasto en educación como porcentaje del PIB”
5. “Población entre 15 y 64 años como porcentaje del total de un país”
6. “Solicitud de patentes”
7. “Gasto en I&D como porcentaje del PIB”
8. “Índice Global de Innovación (GII)”

Que se presupone, de acuerdo con la teoría de North (1990), Temple et al. (2005), Czubala y Guash. (2007), Carayannis et al. (2008), Trajkovic y Milosevic (2016), Fisher (2022) y Castro (2023), inciden en el desarrollo tecnológico de un país, y por consecuencia, en su crecimiento económico.

3.2.1. Conceptuación y operacionalización de las variables

A continuación, en la tabla 4, se enlistan las variables independientes, su propósito, el indicador que se utilizará para medir dicha variable y su fuente, lo mismo en la tabla 5 para las variables dependientes. Estas propuestas nacen de una revisión teórica, expuesta en el capítulo 2, sintetizada en la tabla 2.

Tabla 4
Conceptuación y operacionalización de las variables independientes

Instituciones / Canales de transmisión	Estructuración del propósito	Indicador	Fuente
IC	De acuerdo con la ONUDI (2017), evaluar el nivel de cobertura y madurez de la infraestructura de la calidad es esencial para comprender la capacidad de un país para competir en mercados globales, proteger a los consumidores y fomentar el crecimiento económico sostenible. Se refiere a la medida en que un país cuenta con una infraestructura robusta y bien desarrollada para garantizar la calidad de sus productos y servicios. Esta infraestructura abarca una serie de componentes y sistemas que contribuyen a garantizar que los bienes producidos y los servicios ofrecidos cumplan con estándares y requisitos de calidad establecidos. Asimismo, las capacidades de medición y calibración que tienen reconocidas el INM de un país permiten demostrar la independencia técnica de sus mediciones, coadyuvando a la inversión extranjera en el país y eliminando barreras técnicas al comercio.	X_1 : Percepción de regulación en calidad	Banco Mundial. (s.f.). Regulatory Quality: Estimate. https://bit.ly/4dujmaL
		X_2 : Certificados ISO 9001	International Organization for Standardization. (s.f.). Survey of certifications to management system standards - Full results. https://bit.ly/4jeHdMQ
		X_3 : CMCs	Bureau International des Poids et Mesures. (s.f.). Calibration and Measurement Capabilities (CMCs). https://www.bipm.org/kcdb/cmc/statistics/public
		X_4 : Año de creación del INM	Consulta a cada INM
Capital humano	De acuerdo con el Banco Mundial, la "franja" de edad más productiva de las personas puede variar según el contexto y la industria, pero generalmente se considera que se encuentra en el rango generalmente entre 18 y hasta los 65 años. Asimismo, se debe considerar el nivel de educación de los trabajadores, para lo cual se puede utilizar indicador "Gasto público en educación, total (% del PIB)" que proporciona una medida relativa del esfuerzo financiero que un país dedica a la educación en comparación con el tamaño de su economía.	X_5 : Gasto público en educación, (% del PIB)	Banco Mundial. (s.f.). Gasto público en educación, total (% del PIB). https://data.worldbank.org/indicator/SE.XPD.TOTL.GD.ZS
		X_6 : Población de entre 15 y 64 años.	Banco Mundial. (s.f.). Población entre 15 y 64 años (% del total). https://data.worldbank.org/indicator/SP.POP.1564.TO.ZS
I&D	Es esencial para evaluar el compromiso de un país con la investigación y el desarrollo, y para comprender cómo la innovación puede impulsar el crecimiento económico y la competitividad a nivel global. En términos simples, refleja la cantidad de recursos financieros que un país invierte en actividades de investigación y desarrollo en relación con el tamaño de su economía, y complementando, una medición acerca de que tan productivo es un país en términos de investigación, con la producción de patentes, que podría resultar en ingresos para un país por licenciamiento y regalías.	X_7 : Solicitudes de patentes, residentes.	Banco Mundial. (s.f.). Solicitudes de patentes, residentes. https://data.worldbank.org/indicator/IP.PAT.RESD
		X_8 : Porcentaje del PIB destinado a I&D	Banco Mundial. (s.f.). Gasto en investigación y desarrollo (% del PIB). https://datos.bancomundial.org/indicador/GB.XPD.RSDV.GD.ZS
		X_9 : Índice Global de Innovación (GII)	World Intellectual Property Organization. (s.f.). Global Innovation Index. https://www.wipo.int/global_innovation_index/en/

Elaboración propia.

Evidencia sugiere que el efecto de la IC sobre el desempeño tecnológico no es automático, sino que depende de su acoplamiento con engranes del sistema de innovación: esfuerzo en I&D, calidad regulatoria y capacidad de absorción empresarial (Blind, 2023; Blind, 2024). Cuando estos faltan o están desalineados, la IC puede mejorar su trazabilidad, CMCs y conformidad, sin traducirse en adopción tecnológica o en un catalizador exportador. Este es, en esencia, el caso mexicano: avances selectivos en componentes de IC, que coexisten con niveles bajos y erráticos de I&D, vínculos débiles empresa-academia y coordinación fragmentada de políticas, lo que explica el desacoplamiento observado (GPQI, 2023; Castro, 2023). En términos empíricos, ello se refleja en relaciones no lineales y umbrales como los explorados en el Cap. 4.

Tabla 5
Conceptuación y operacionalización de las variables dependientes

Variables dependientes de interés	Estructuración del propósito	Indicador	Fuente
Desarrollo tecno-económico	La medición del "Desarrollo tecno-económico" es esencial para que un país evalúe su posición en términos de avance tecnológico y su impacto en la economía. En aras de construir y fortalecer sus ecosistemas tecnológicos, el cumplimiento de objetivos nacionales, un crecimiento económico sostenible y mejorar así la calidad de vida de sus habitantes.	Y_1 : Valor Agregado de Manufactura	Banco Mundial. (s.f.). Valor agregado en manufactura (%PIB) https://databank.worldbank.org/source/world-development-indicators/Series/NV.IND.MANF.ZS
		Y_2 : Porcentaje de las exportaciones de productos manufacturados de alta tecnología	Banco Mundial. (s.f.). Exportaciones de productos de alta tecnología (% de las exportaciones de productos manufacturados) https://datos.bancomundial.org/indicador/TX.VAL.TECH.MF.ZS?view=chart
		Z_1 : PIB per cápita PPA	Banco Mundial. (s.f.). PIB per cápita, PPA (\$ a precios internacionales constantes de 2017) https://datos.bancomundial.org/indicator/NY.GDP.PCAP.PP.KD

Fuente: Elaboración propia.

3.2.2. Datos y estadística descriptiva

Los datos utilizados en esta investigación pueden consultarse íntegramente en el Apéndice B. El período de análisis seleccionado para esta investigación abarca desde el año 2002 hasta 2022, con puntos específicos de observación en 2002, 2012 y 2022, definidos por la disponibilidad integral y homogénea de datos comparables entre países para cada variable analizada. La decisión metodológica de comparar series cronológicas responde a criterios econométricos explícitos fundamentados en la teoría de modelos de panel y pseudo-panel (Arellano, 2003; Wooldridge, 2010). Específicamente, la elección de estos cortes permite identificar patrones consistentes, trayectorias definidas y cambios estructurales relevantes en las variables estudiadas, generando interpretaciones robustas y empíricamente significativas. Adicionalmente, el último año analizado, 2022, corresponde a la información más actual disponible al momento de la consulta, lo cual incrementa la relevancia y vigencia de los hallazgos. En conjunto este diseño temporal aporta solidez analítica y asegura un valor interpretativo claro, en relación con los objetivos de la investigación.

A continuación, se presenta la información más relevante acerca del comportamiento de cada una de las variables de interés, en los países de estudio, elegidos por contar con información de todas las variables de interés, lo que permite hacer el análisis matemático con una mejor precisión, estos 39 países se muestran en la tabla 6:

Tabla 6*Muestra analizada: no aleatoria, estratificada con 39 países.*

Alemania	China	Emiratos Árabes Unidos	Finlandia	Irlanda	Luxemburgo	Pakistán	Suecia
Argentina	República de Corea	Eslovenia	Francia	Italia	Mauricio	Panamá	Suiza
Austria	Costa Rica	España	Georgia	Japón	México	Polonia	Ucrania
Azerbaiyán	Croacia	Estados Unidos	Grecia	Letonia	Noruega	Portugal	Uzbekistán
Bélgica	Dinamarca	Estonia	Hungría	Lituania	Países Bajos	Singapur	

Elaboración propia.

La Tabla 7 muestra los estadísticos descriptivos de los indicadores X_n (variables independientes) para los años 2002 y 2022, permitiendo comparar su evolución en el periodo de estudio. Por su parte, la Figura 4 resalta gráficamente los cambios más notables, facilitando la interpretación de las principales tendencias.

Tabla 7
Estadística descriptiva: Indicadores de variables

Año de inicio del estudio: 2002												
	<i>Percepción de la regulación en la IC</i>	<i>Certificados ISO 9001 per cápita</i>	<i>CMCs</i>	<i>Año de creación</i>	<i>Gasto en Edu %PIB</i>	<i>Población entre 15 y 64 años %total</i>	<i>Patentes per cápita</i>	<i>Gasto en I+Dt %PIB</i>	<i>GII</i>	<i>Valor agregado de Manufactura %PIB</i>	<i>Exportaciones de Prod Alta Tec % productos manufac</i>	<i>PIB PC PPA (\$ 2017)</i>
Media	0.7652	1.1188	9.79	1964.77	4.6674	66.579	3.1591	1.246	44.718	16.70	15.2653	36681.54
Error típico	0.146	0.872	4.517	4.01	0.21	0.627	0.628	0.145	1.677	0.89	1.906	4201.773
Mediana	0.7918	0.6911	0	1990.00	4.6587	67.228	1.5936	0.929	45.07	16.6803	11.4655	32464.2
Desviación estándar	0.9096	5.4467	28.21	43.36	1.3134	3.9169	3.9187	0.907	10.4735	5.5588	11.9058	262400.06
Varianza de la muestra	0.82	29.667	795.85	1880.51	1.725	15.343	15.35	0.824	109.696	30.9	141.748	6.89e+08
Curtosis	4.47	36.50	12.66	-0.84	3.2760	5.866	7.15	2.4367	2.01314	3.211	3.4812	3.7582
Coeficiente de asimetría	-1.05	5.9374	3.2752	-0.77	-0.0221	-0.5653	2.2556	0.7219	-0.09697	0.3513	1.0299	0.9281
Rango	4.31	34.144	126	142.00	6.247	23.309	16.213	3.266	39.92	26.683	47.248	1.12e+05
Mínimo	-2.2429	0	0	1875.00	1.8378	53.6185	0.4475	0.11566	23.9	5.2923	1.2342	3105.204
Máximo	2.0680	34.144	126	2017.00	8.0843	76.927	16.661	3.38132	63.82	31.975	48.48	115588.4

Tabla 7, continuación

Año final del estudio: 2022

	<i>Percepción de la regulación en la IC</i>	<i>Certificados ISO 9001 per cápita</i>	<i>CMCs</i>	<i>Gasto en Edu %PIB</i>	<i>Población entre 15 y 64 años %total</i>	<i>Patentes per cápita</i>	<i>Gasto en I+Dt %PIB</i>	<i>GII</i>	<i>Valor agregado de Manufactura %PIB</i>	<i>Exportaciones de Prod Alta Tec % productos manufac</i>	<i>PIB PC PPA (\$ 2017)</i>
Media	0.84	0.91	213.37	4.75	66.56	1.44	1.51	45.80	15.12	14.72	43715.26
Error típico	0.08	0.40	33.06	0.12	0.39	0.70	0.10	1.06	0.56	0.96	2593.22
Mediana	0.93	0.07	57.00	4.80	66.29	0.02	1.36	46.43	14.46	12.91	40683.88
Desviación estándar	0.84	4.33	357.56	1.28	4.25	7.57	1.09	11.44	6.02	10.40	28049.96
Varianza de la muestra	0.71	18.78	127851.11	1.65	18.04	57.32	1.19	130.97	36.23	108.09	786799998.48
Curtosis	0.95	42.16	6.81	0.08	5.10	60.38	-0.47	-0.92	1.52	1.50	1.58
Coeficiente de asimetría	-0.98	6.43	2.53	-0.16	1.17	7.57	0.60	-0.17	0.78	1.05	1.10
Rango	4.46	34.14	1895.00	6.40	31.79	67.87	4.85	45.20	34.17	52.21	133953.98
Mínimo	-2.24	0.00	-19.00	1.69	53.62	0.00	0.08	23.10	3.83	0.00	3105.20
Máximo	2.21	34.14	1876.00	8.08	85.41	67.87	4.93	68.30	37.99	52.21	137059.19

Elaboración propia.

Al analizar el escenario del año 2002 junto con 2022 en el análisis descriptivo, se observan tendencias importantes en la distribución de cada variable a nivel global. Para la Percepción de la Regulación en la IC, el promedio de los países en 2022 es de 0.84, ligeramente inferior a la mediana de 0.93, lo que sugiere una distribución sesgada a la izquierda. Este sesgo se confirma con un coeficiente de asimetría de -0.98. En otras palabras, son más comunes las percepciones bajas que las altas en materia regulatoria de infraestructura de la calidad a nivel mundial. La escala estandarizada de este indicador (de -2.5 a 2.5) permite comparaciones directas entre países. La curtosis de 0.95, cercana a 0, indica una forma aproximadamente normal, pero con colas menos pronunciadas (distribución platicúrtica). Esto es relevante en economía, ya que distribuciones platicúrticas tienden a tener menos eventos extremos, indicando cierta homogeneidad en la percepción entre países (De Carlo, 1997). Cabe destacar que en 2002 el promedio de calidad regulatoria era ligeramente menor, señalando que ha habido una mejora modesta en la gobernanza regulatoria en las últimas dos décadas, aunque sin cambios drásticos en la forma de la distribución. Este progreso refleja los esfuerzos globales de reforma institucional, pero el hecho de que la mayoría de los países sigan por debajo del nivel 1.0 en la escala sugiere que aún predominan percepciones de regulación moderadas o bajas en muchas economías en desarrollo. En conjunto, estos datos respaldan la noción de que una calidad regulatoria deficiente es un fenómeno extendido, lo cual puede afectar negativamente el entorno de negocios y la convergencia económica, según lo señalado por la literatura de crecimiento económico y convergencia institucional (Barro & Sala-i-Martin, 1992; Phillips & Sul, 2007). La mejoría marginal entre 2002 y 2022 indica que, si

bien ha habido avances en ciertas regiones, persisten rezagos importantes en otras, alineándose con el argumento de que las instituciones de regulación sólida son difíciles de construir rápidamente y suelen requerir un largo horizonte de desarrollo para equipararse a las de los países líderes.

Respecto a los Certificados ISO 9001, se propone utilizar un indicador relativo que divide la cantidad de certificados ISO 9001 de cada país entre su PIB (PPA) en lugar de usar valores absolutos. Este indicador refleja la intensidad de certificación ISO relativa a la riqueza del país, eliminando el efecto del tamaño poblacional o económico. Los resultados para 2022 muestran una fuerte asimetría positiva (coeficiente de asimetría = 6.43), con una media de 0.91 y una mediana de apenas 0.07. Esto implica que la mayoría de los países tienen un número muy bajo de certificados ISO 9001 en proporción a su PIB, mientras unos pocos países presentan valores extremadamente altos que elevan significativamente la media. En otras palabras, la adopción de estándares de calidad está altamente concentrada: unos cuantos países (principalmente economías industrializadas o con políticas activas de calidad) poseen una densidad de certificación muy superior al resto. Esta distribución altamente sesgada se confirma con una curtosis de 42.16, que indica colas muy pesadas (distribución leptocúrtica), dominada por valores atípicos. Históricamente, entre 2002 y 2022, el número total de certificaciones ISO 9001 aumentó exponencialmente en el mundo (más de 1.3 millones de certificados vigentes a nivel global para 2022), pero este crecimiento no fue uniforme entre países. En 2002, los países líderes ya mostraban mayor intensidad de certificación, pero la brecha se ha ampliado: por ejemplo, China pasó de tener ~340 mil certificados ISO 9001 en 2014 a superar el medio

millón en años recientes, representando por sí sola alrededor de un tercio del total mundial. Del mismo modo, economías europeas como Italia o Alemania también mantuvieron posiciones destacadas. Esto sugiere que la difusión de estándares de calidad ha seguido un patrón de “éxito para los exitosos”. En términos de infraestructura de calidad, aquellos países con mayores capacidades o exigencias de calidad han acumulado aún más certificaciones, mientras que países con menos desarrollo industrial quedaron rezagados.

Según la OCDE, el dominio sobre el desarrollo de estándares de alta tecnología está en manos de los líderes de alta tecnología, que solo pueden alcanzar aquellas economías que son las más robustas. Este fenómeno coincide con análisis previos que encuentran que factores como el nivel de desarrollo económico, la integración en cadenas globales de valor y las políticas gubernamentales pro-calidad influyen fuertemente en la adopción de ISO 9001. En resumen, aunque la intensificación de certificaciones ISO es global, la marcada asimetría positiva indica concentración regional: pocas naciones (principalmente en Europa y Asia Oriental) concentran la mayoría de las certificaciones relativas a su PIB, reflejando disparidades estructurales importantes en prácticas de aseguramiento de la calidad.

El análisis de las Capacidades de Medición y Calibración (CMCs) –publicadas por los Institutos Nacionales de Metrología (INMs) en el marco del Acuerdo de Reconocimiento Mutuo del CIPM– es particularmente revelador. En 2022, los INMs de la muestra reportan en promedio 213.37 CMCs reconocidas internacionalmente, con una mediana de 57.00. Esta gran diferencia entre media y mediana refleja una fuerte asimetría positiva (coeficiente de asimetría = 2.53). La desviación estándar, sumamente alta

(357.56), indica una enorme variabilidad entre países, y la curtosis de 6.81 sugiere una distribución leptocúrtica con colas pesadas y abundantes valores extremos. Es decir, unos cuantos países cuentan con un número extraordinariamente alto de CMCs, mientras que muchos otros apenas tienen unas decenas o menos.

Al examinar la distribución geográfica (Figura 4), se aprecia claramente que las CMCs se concentran en ciertos continentes (p. ej., Europa y Asia del Este). Los datos históricos refuerzan esta observación: en 2002 el promedio de CMCs era considerablemente menor (muchos países emergentes apenas comenzaban a registrar capacidades después del año 2000), pero los países industrializados ya contaban con un acervo importante. Entre 2002 y 2022, la brecha se ha ampliado: los INMs más consolidados (de Europa, Norteamérica y el Este de Asia) añadieron centenares de nuevas CMCs a sus portafolios, mientras que varios países en desarrollo avanzaron a un ritmo mucho más lento. Este comportamiento es consistente con la teoría de la convergencia condicionada y de clubes, en la que sólo algunos grupos de países logran equiparar sus capacidades tecnológicas mientras otros quedan rezagados.

Desde el punto de vista de convergencia económica, la concentración de CMCs en economías líderes sugiere efectos de ventaja acumulativa: los países que desarrollaron tempranamente su metrología e infraestructura de calidad continúan gozando de una ventaja sistémica que les permite mantener su liderazgo metrológico. Por ende, aun cuando el mecanismo de reconocimiento mutuo ha facilitado la difusión internacional de capacidades, en la práctica subsisten clubes bien definidos: un club de países con un alto número de CMCs (y alta sofisticación técnica) versus otro grupo amplio con capacidades

limitadas. Este patrón podría implicar que, sin esfuerzos adicionales, los países rezagados enfrentarán dificultades para alcanzar el nivel metrológico de las potencias, obstaculizando así la convergencia tecno-económica.

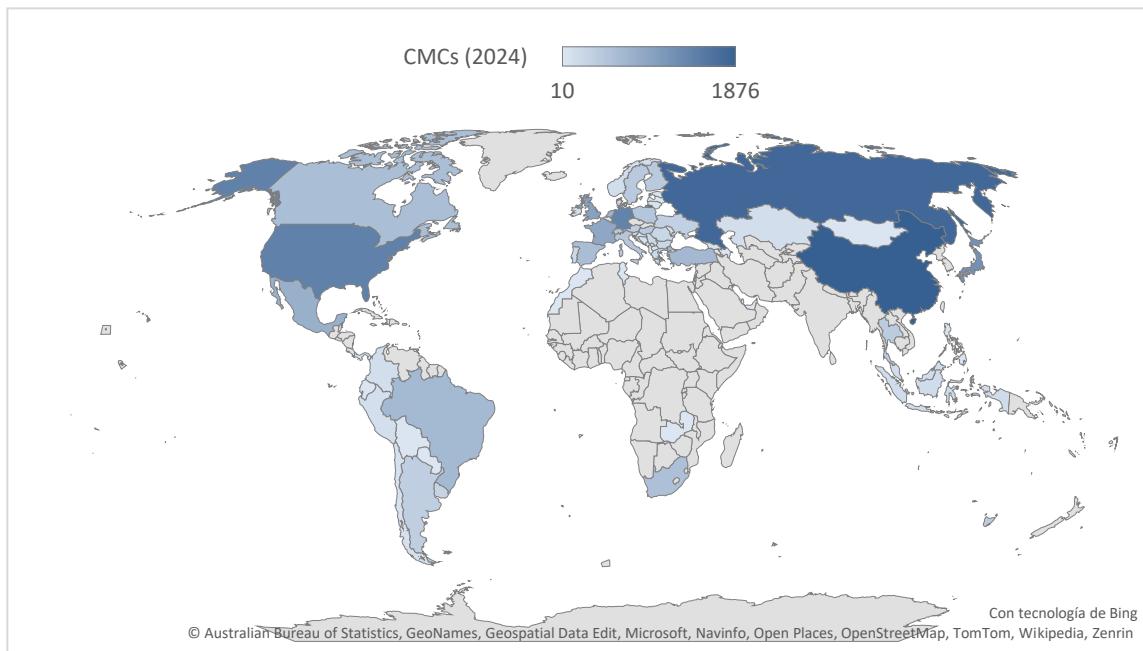


Figura 4. Concentración de “capacidades de medición y calibración” (CMCs) en el mundo.
Fuente: Elaboración propia con datos del BIPM.

Acerca del año de creación de los INMs, al tratarse de una variable institucional histórica (el año fundacional de cada instituto nacional de metrología), su valor es constante a través del tiempo. En la tabla descriptiva de 2002 se incluye esta variable por completitud, obviamente, no cambia entre 2002 y 2022. La distribución de los años de creación muestra en 2002 una ligera asimetría negativa (sesgo a la izquierda) y una desviación estándar moderada. Esto indica que la mayoría de los INMs en el mundo fueron creados en décadas relativamente recientes (post-1990), aunque subsiste un número menor

de instituciones con una historia mucho más larga, de inicios o mediados del siglo XX e incluso del XIX en casos excepcionales.

La inclusión de esta variable proporciona un contexto histórico: su dispersión moderada sugiere que muchos países establecieron formalmente sus infraestructuras metrológicas durante las últimas tres décadas, reflejando un esfuerzo global relativamente reciente por desarrollar las instituciones de metrología, normalización y acreditación. La lógica indica que, países que establecieron estas instituciones antes podrían tener ventajas acumulativas en términos de experiencia, capital humano especializado y consolidación de sus sistemas de calidad. Sin embargo, esta hipótesis deberá comprobarse empíricamente más adelante para determinar si una creación más temprana del INM se traduce efectivamente en mejores resultados tecno-económicos en la actualidad.

De hecho, análisis preliminares sugieren que no hay una correlación automática entre la antigüedad del INM y el desempeño tecnológico o industrial del país. Es decir, algunos países con institutos centenarios no necesariamente exhiben mejores indicadores de innovación o productividad que países cuyos institutos surgieron recientemente, lo que apunta a que la mera existencia longeva de la institución no basta, importa más la calidad de su gestión, su financiamiento y el contexto económico en el que opera. Esta observación coincide con la literatura institucional, la cual enfatiza que las instituciones, para ser efectivas, deben adaptarse y aportar valor continuamente (North, 1990); de lo contrario, su temprana creación podría no evitar que queden como cascarones vacíos sin impacto real en el desarrollo (Meyer & Rowan, 1977, en DiMaggio & Powell, 2001).

En cuanto al Gasto Público en Educación (% del PIB), los datos de 2022 presentan una distribución aproximadamente simétrica, ligeramente sesgada a la izquierda (asimetría negativa pequeña) y con curtosis cercana a 0 (platicúrtica). Esto implica que la mayoría de los países analizados dedican proporciones de PIB a educación dentro de un rango relativamente estrecho, con valores extremos poco frecuentes. Dicho de otro modo, existe un comportamiento bastante homogéneo: es común que las naciones inviertan entre ~3% y 6% de su PIB en educación, con pocas excepciones muy por encima o por debajo.

Esta homogeneidad sugiere la influencia de estándares internacionales y recomendaciones de organismos como la UNESCO, en cuanto a priorizar la inversión educativa, así como convergencia en las políticas educativas públicas. Además, entre 2002 y 2022, muchos países mantuvieron o incrementaron ligeramente sus niveles de gasto educativo en línea con el crecimiento económico, por lo que no se observan cambios drásticos en la distribución general. Esto refleja que el compromiso con la educación ha sido relativamente estable en el tiempo a nivel global: ningún país de la muestra redujo dramáticamente su inversión (lo que sería un *outlier* a la baja), ni tampoco hubo saltos masivos en inversión que generaran *outliers* al alza.

Por su parte, la variable “Población entre 15 y 64 años (% del total)” exhibe en 2022 una distribución leptocúrtica ($\text{curtosis} > 1$) con una marcada concentración de valores alrededor de la media y colas estrechas. La mayoría de los países tienen una proporción significativa de su población en edad laboral (típicamente entre 60% y 70% del total), lo que se traduce en baja dispersión. Este resultado era previsible dado que la estructura etaria de la población presenta patrones semejantes en muchos países,

especialmente aquellos que han pasado por el bono demográfico. Las pocas excepciones podrían corresponder a economías con población muy envejecida, ej. Japón y algunos países europeos con alrededor de un 20% de población anciana, donde se reduce ligeramente el porcentaje en edad laboral o, a economías con altísima tasa de natalidad (algunos países menos desarrollados donde más del 60% de la población está en 15 y 64 años debido a una base joven muy amplia). Sin embargo, en la muestra analizada que se enfoca en economías emergentes y desarrolladas, medianas y grandes, tales casos extremos son escasos, de ahí la alta concentración en torno al promedio.

Si comparamos 2002 con 2022, se aprecia que muchos países alcanzaron su pico de población en edad laboral hacia la década de 2010 y luego iniciaron un leve descenso debido al envejecimiento poblacional; pese a ello, la distribución general se mantuvo parecida, dado que el proceso de envejecimiento es gradual. En resumen, tanto el gasto educativo como la estructura etaria reflejan variables de contexto socioeconómico donde no hay brechas abismales entre países –a diferencia de las variables de innovación– lo que sugiere que en estos ámbitos existe cierta convergencia o al menos límites naturales (por ejemplo, es difícil superar cierto porcentaje de población en edad laboral, o invertir mucho más del 8% del PIB en educación) que acotan la variabilidad.

Para Patentes per cápita (número de patentes relativas al tamaño económico del país, medido aquí como número de patentes dividido entre el PIB per cápita PPA), indicador con el fin de neutralizar el efecto del tamaño poblacional y del sesgo hacia países más grandes, al igual que con los certificados ISO, este indicador de patentes muestra una distribución fuertemente asimétrica y con colas muy pesadas. Los resultados de 2022

evidencian colas extremadamente largas: unos pocos países exhiben un número extraordinariamente alto de patentes en relación con su economía, mientras que la gran mayoría tiene valores muy bajos. Esto es consistente con la idea ampliamente reconocida de que solo un grupo reducido de países concentra la actividad innovadora mundial – particularmente en cuanto a propiedad intelectual–, mientras que el resto innova poco en términos comparativos. De hecho, no hay evidencia estadística significativa para suponer que esta variable siga una distribución normal, log-normal, exponencial, Pareto, Cauchy o Weibull (Beltrán J., 2012); en otras palabras, la distribución empírica no encaja bien en ninguna de las distribuciones teóricas comunes debido a sus colas tan pronunciadas y concentración en valores cercanos a cero. La asimetría positiva extrema de 7.57 en 2022 confirma esta situación.

Es interesante notar que entre 2002 y 2022 aumentó aún más la concentración de patentes: en 2002, las economías líderes en patentes (Estados Unidos, Japón, Alemania, etc.) ya superaban ampliamente a los países emergentes en patentes per cápita; para 2022, economías asiáticas como China y Corea del Sur se sumaron al liderazgo innovador con crecimientos exponenciales en patentes, lo cual elevó la media global pero también intensificó la desigualdad. Por ejemplo, China pasó de tener una contribución marginal en patentes internacionales a generar por sí sola cerca de un tercio de todas las solicitudes mundiales recientes, y en conjunto seis países (China, EUA, Japón, Corea del Sur, Alemania y Francia) representan cerca del 87% de todas las nuevas patentes registradas en 2022. Este dato concreto ilustra la magnitud de la concentración: seis países aportan

casi 9 de cada 10 innovaciones patentadas en el mundo, una situación que difícilmente se reflejará en cualquier distribución simétrica o de varianza baja.

Desde una perspectiva histórica, esto refleja la aceleración de la brecha tecnológica: si bien economías emergentes asiáticas lograron incrementar su producción de patentes (mejorando su posición relativa), el liderazgo tecnológico no se ha democratizado globalmente, sino que permanece en un club muy cerrado de naciones.

Los datos estadísticos de Gasto en I+D (% del PIB), por su parte, muestran en 2022 un comportamiento mucho más cercano a la normalidad. La media de la muestra (alrededor de 1.5% del PIB) y la mediana (1.36%) están relativamente próximas, y el coeficiente de asimetría (≈ 1.05) indica solo un ligero sesgo positivo. Esto sugiere que, aunque hay diferencias en la inversión en I+D (por ejemplo, países como Corea del Sur o Alemania invierten más del 3%, mientras otros apenas 0.5%), la mayoría de los países tiende a agruparse en un rango intermedio. La curtosis de -0.47 en 2022 implica una ligera platicurtosis (colas más delgadas que la normal), consistente con una falta de valores extremadamente alejados de la media: salvo contadas excepciones como Israel o Corea del Sur –que no siempre están en todas las muestras– ningún país invierte muchísimo más que los demás, y casi todos invierten al menos algo en I+D.

Entre 2002 y 2022, se observó un aumento general de la intensidad de I+D en muchas economías emergentes (por ejemplo, China pasó de cerca de 0.9% a más de 2% del PIB en este periodo), mientras que países desarrollados mantuvieron o incrementaron ligeramente sus ya altos niveles. Como resultado, la distribución de 2022 sigue siendo aproximadamente normal, e incluso podría decirse que hubo cierta convergencia en esta

variable: varios países que invertían muy poco en 2002 lograron acercarse al rango típico (1–2%) en 2022, impulsados por políticas de innovación y transferencias tecnológicas. La tendencia general apoya la hipótesis de que la inversión en I+D se ha vuelto un consenso global como pilar del desarrollo, haciendo que pocas naciones se queden rezagadas en cero inversión, pero también que pocas puedan exceder sustancialmente el nivel de esfuerzo que impone la frontera tecnológica.

Finalmente, el Índice Global de Innovación (GII) de los países analizados refleja en 2022 una variabilidad moderada, distribución casi simétrica y ligera platicurtosis. Esto significa que, si bien existen diferencias en los puntajes del GII (que captura múltiples dimensiones de la capacidad innovadora y resultados tecnológicos), estas diferencias no son abismales en la muestra: no hay una concentración tan extrema como en patentes o certificados. La mayoría de los países se ubican en un rango medio de desempeño innovador, con algunos líderes algo por encima y algunos rezagados algo por debajo, pero sin generar una asimetría marcada.

Entre 2002 y 2022 el GII (o los indicadores equivalentes disponibles en años anteriores) mostraron mejoras en muchos países en desarrollo –reflejando esfuerzos por mejorar su infraestructura de innovación, capital humano e instituciones– aunque los países punteros también avanzaron. El carácter platicúrtico (curtosis ligeramente < 0) indica colas menos pronunciadas, sugiriendo que son raros los valores extremadamente altos o bajos de GII: es decir, ningún país de la muestra está en cero innovaciones, ni tampoco alguno alcanza el puntaje máximo teórico. Esta relativa compactación del GII podría interpretarse como una convergencia parcial en capacidad innovativa formal,

aunque persisten diferencias importantes en la calidad y sofisticación de la innovación que este índice no capta del todo.

En conjunto, los valores de cada variable sugieren un panorama global donde existen disparidades significativas entre países en cuanto a su IC y su desarrollo tecnológico, muchas de las cuales se han mantenido –o incluso profundizado– en las últimas dos décadas. Algunas variables relacionadas con capacidades tecnológicas duras muestran distribuciones altamente sesgadas y dispersas (tanto en 2002 como en 2022), destacando la concentración de capacidades y recursos en un número reducido de países. Por ejemplo, los certificados ISO 9001 y las patentes (en términos relativos) presentan sesgos extremos, lo que implica que solo unas cuantas economías concentran la mayor parte de los sistemas de calidad certificados y de la producción de innovaciones patentadas.

Estas disparidades reflejan desigualdades estructurales de larga historia: economías con mayor desarrollo industrial y tecnológico han podido reforzar aún más sus ventajas en el periodo 2002–2022, mientras que economías rezagadas enfrentan dificultades para cerrar la brecha. Este patrón es consistente con la idea de divergencia condicional o de formación de clubes de convergencia, donde grupos de países avanzan más rápido gracias a condiciones iniciales más favorables y acumulación de capacidades, en tanto otros grupos permanecen rezagados (Barro & Sala-i-Martin, 1992; Phillips & Sul, 2007).

En efecto, la evidencia sugiere que, sin intervenciones contundentes, los países líderes tienden a seguir liderando (y ampliando la distancia), fenómeno análogo al “efecto

Mateo” identificado en sociología de la ciencia, por el cual “al que tiene, más se le dará”. Las variables relacionadas con educación, inversión en I+D y población en edad laboral, por el contrario, muestran patrones mucho más consistentes y equilibrados entre países. Esto sugiere que en estas áreas existe una mayor homogeneidad o convergencia internacional de políticas y estructuras: prácticamente todos los países dedican esfuerzos significativos a la educación e I+D y cuentan con una base laboral amplia, diferencias que son más de grado que de esencia. Sin embargo, incluso dentro de estos ámbitos aparentemente homogéneos, la calidad y eficiencia de la inversión (por ejemplo, la calidad del gasto educativo o la productividad de la I+D) pueden variar mucho, aunque esas diferencias cualitativas no se captan directamente en estas estadísticas descriptivas.

En contraste, las divergencias en variables más vinculadas a resultados tecnoeconómicos –como el GII o el Valor Agregado de Manufactura (% PIB)– ponen de manifiesto que aún existen retos importantes para que los países en desarrollo cierren la brecha con las economías avanzadas. Si bien el GII muestra solo variabilidad moderada en la muestra, las economías de ingresos altos continúan superando a las emergentes en muchos subcomponentes del índice (instituciones, investigación, infraestructura, sofisticación de mercados, entre otros), reflejando brechas cualitativas. Por su parte, el valor agregado manufacturero difiere entre países industrializados (con sectores manufactureros más sofisticados, pero a veces de menor participación porcentual en economías tercerizadas) y países en proceso de industrialización (con mayor peso relativo de la manufactura, pero a menudo en actividades de menor complejidad tecnológica).

Entre 2002 y 2022, varias economías emergentes —particularmente en Asia oriental— lograron avances significativos en manufactura e incorporación tecnológica en sus exportaciones, evidenciando un proceso de *catch-up* industrial. En contraste, muchas economías latinoamericanas y africanas enfrentaron estancamiento o incluso desindustrialización prematura, manteniendo niveles bajos o decrecientes de valor agregado manufacturero (Rodrik, 2016). Estas trayectorias divergentes revelan que la distribución global de capacidades industriales e innovadoras sigue siendo marcadamente desigual.

El análisis descriptivo comparado entre 2002 y 2022 sugiere una dinámica mixta: mientras se observa cierta convergencia en factores básicos —educación, estructura demográfica, esfuerzo en I+D— persisten brechas amplias en los resultados tecnológicos e industriales. Los fundamentos parecen haberse nivelado parcialmente, pero la productividad e innovación tecnológica que se derivan de ellos continúan concentradas en un grupo reducido de países. Aunque esta sección no presenta aún los resultados econométricos, los patrones observados permiten anticipar relaciones: países con mejor regulación e instituciones de infraestructura de calidad (IC) más consolidadas tienden a obtener mayores niveles de innovación e integración en sectores de alta tecnología, y disponer de una masa crítica de CMCs, certificaciones y patentes parece asociarse con mayor desarrollo industrial y exportador, aunque esta relación podría ser bidireccional, en un ciclo virtuoso.

Cabe resaltar, la literatura adelanta que no es la cantidad de CMCs lo que explica el *upgrading* tecnológico, sino su composición estratégica y su orientación hacia dominios

de frontera. Desde la agenda de manufactura avanzada de EURAMET, Przyklenk et al. (2021) argumentan que la metrología genera mayor impacto cuando prioriza capacidades en tecnologías habilitadoras (p. ej., tiempo-frecuencia, fotónica, electromagnetismo de alta frecuencia, nanometrología y química analítica), en lugar de expandirse de forma indiscriminada. De manera complementaria, Archenti (2024) muestra que la metrología integrada a procesos de manufactura avanzada eleva productividad e innovación cuando está acoplada con I&D y capacidad de absorción empresarial. Bajo este enfoque, un aumento “extensivo” de CMCs no garantiza por sí mismo adopción de tecnologías avanzadas; lo determinante es qué CMCs se desarrollan y cómo se conectan con los engranes del sistema de innovación.

Por otro lado, variables como la antigüedad del INM o el tamaño económico del país, por sí solas, no muestran correlaciones robustas con el desempeño tecno-industrial, lo que refuerza la necesidad de avanzar hacia análisis causales más precisos. Las disparidades descritas plantean, entonces, una pregunta central: ¿Cuáles combinaciones de factores de la IC logran realmente activar procesos sostenidos de transformación tecno-económica? La evidencia sugiere que la convergencia no es automática; requiere políticas deliberadas que permitan cerrar brechas estructurales.

En este contexto, y considerando que la teoría de clubes de convergencia enfatiza el papel de los efectos regionales, se incorporarán al análisis las regiones a las que pertenece cada país de la muestra, siguiendo el esquema de agrupación propuesto por el BIPM, como se ilustra en la figura 5 para pronta referencia.



Figura 5. Países objeto de estudio y las distintas Organizaciones Regionales de Metrología

Fuente: Elaboración propia con datos del BIPM

3.3. Diseño Metodológico

En esta sección, se detalla el diseño metodológico empleado en la investigación y se describen las técnicas estadísticas que se emplearán para el tratamiento de los datos, el método multivariado y lo concerniente al sistema de ecuaciones estructurales. Además, se justifica la elección de estas técnicas en función de los objetivos de la investigación y la naturaleza de los datos disponibles.

A diferencia de exposiciones metodológicas generales, el diseño de esta tesis ha sido estructurado con base en los objetivos específicos del estudio, articulando cada decisión metodológica a partir del problema de investigación. La elección de un enfoque

explicativo, causal y quasi-experimental se justifica por la necesidad de analizar relaciones estructurales complejas entre instituciones de infraestructura de la calidad —como las Capacidades de Medición y Calibración (CMCs), las certificaciones ISO 9001 y la percepción regulatoria— y su efecto indirecto en el crecimiento económico, a través de variables mediadoras como el valor agregado manufacturero y las exportaciones de alta tecnología.

El uso de un diseño pseudo-panel permite capturar trayectorias longitudinales en un contexto de disponibilidad limitada de datos por país. Por su parte, la implementación del modelo GSEM (Generalized Structural Equation Modeling) ofrece una estrategia robusta para estimar simultáneamente múltiples ecuaciones estructurales, incorporando términos de interacción entre subregiones y regresores clave, lo que permite capturar heterogeneidades institucionales y validar empíricamente la hipótesis de convergencia condicional. Cada etapa —desde la selección de variables, la construcción de indicadores y la especificación del modelo estadístico— ha sido diseñada para asegurar coherencia empírica, validez analítica y pertinencia causal en la búsqueda por explicar ¿Por qué México no ha logrado iniciar un proceso convergente con economías tecnológicamente avanzadas?

El modelo que se propone analizar se basa en las relaciones que existen con la IC, ampliamente comentadas en el capítulo 2.2 del presente documento, para lo cual hay muchos métodos estadísticos, asociados con el análisis de datos multivariados, como se puede observar en la tabla 8.

Tabla 8
Organización de métodos multivariados

Método	Principalmente exploratorio	Principalmente confirmatorio
Primera generación de técnicas	<ul style="list-style-type: none"> • Análisis de conglomerados • Análisis factorial exploratorio • Escalamiento multidimensional 	<ul style="list-style-type: none"> • Regresión logística • Regresión múltiple • Análisis de factor confirmatorio (AFC)
Segunda generación de técnicas	<ul style="list-style-type: none"> • Modelado con ecuaciones estructurales basado en Mínimos cuadrados parciales (PLS-SEM) • Modelado con ecuaciones estructurales basado en Estimación de Máxima Verosimilitud (MLE-SEM) • Modelado de ecuaciones estructurales generalizadas (GSEM) 	<ul style="list-style-type: none"> • Modelo con ecuaciones estructurales, basado en covarianza (CB-SEM) • Modelo con ecuaciones estructurales, basado en Mínimos Cuadrados Ordinarios (OLS-SEM)

Fuente: Elaboración propia con información de Hair, J., et al. (2022)

De acuerdo con Hair et al. (2022), las técnicas de primera generación, estrictamente hablando, sólo son aplicables cuando no hay presencias de error sistemático o aleatorio. Sin embargo, esta situación rara vez se encuentra en la realidad, particularmente cuando el objetivo es estimar relaciones entre medidas de conceptos teóricos. Como las ciencias sociales y muchos otros campos de la investigación científica tratan habitualmente conceptos teóricos como percepciones, actitudes e intenciones, estas limitaciones de las técnicas de primera generación son fundamentales y críticas. Para superarlas, los investigadores han recurrido cada vez más a técnicas de segunda generación. Estos métodos, denominados modelos de ecuaciones estructurales (SEM), permiten modelar y estimar simultáneamente relaciones complejas entre múltiples variables dependientes e independientes. Los conceptos considerados normalmente, no son observables y se miden indirectamente mediante múltiples variables indicadoras. Al estimar las relaciones, los SEM tienen en cuenta el error de medición en las variables

observadas. Como resultado, el método obtiene una medición más precisa de los conceptos teóricos de interés (Cole & Preacher, 2014).

Debido a las desventajas que suponen las técnicas de primera generación, y, a que la presente tesis se basa en analizar un modelo conceptual de propuesta propia, es recomendable utilizar un método exploratorio con técnicas de segunda generación (ver tabla 8), con base en ecuaciones estructurales (SEM), estas técnicas de modelado estadístico permiten usar datos longitudinales o temporales y modelar relaciones causales entre variables observadas y no observadas, lo que las hace especialmente útiles para analizar sistemas con muchas variables altamente correlacionadas entre sí y eficaz para estimar efectos dinámicos entre variables, ya que pueden modelar cómo una variable afecta a otra y de esta manera lograr comprender mejor los mecanismos subyacentes, así como las condiciones en las que operan las relaciones entre las variables.

En el apéndice C, se detallan las diferencias entre un método y otro, particularmente, el método que mejor se ajusta a las necesidades de esta investigación es el “Modelo de Ecuaciones Estructurales Generalizado”, que, a diferencia del SEM estándar, el cual generalmente asume una distribución normal de los errores y relaciones lineales entre las variables, este (GSEM) permite la especificación de modelos con distintos tipos de variables de respuesta, incluyendo respuestas categóricas, binarias, de conteo, entre otras, lo que amplía el tipo de datos que pueden modelarse. Utiliza métodos de máxima verosimilitud (MLE), similar a SEM-MLE lo que significa la aplicación de técnicas que buscan maximizar la probabilidad de observar los datos, dados los parámetros del modelo.

Asimismo, como propuesta, para poder analizar la IC, como un concepto integral el cual contiene muchos elementos, se podría darle tratamiento de variable compuesta, que mide la IC a través de tres diferentes “variables observadas”, con la misma ponderación o coeficiente de sensibilidad, debido a que aún no hay elementos para conferir un peso particular mayor o menor a alguna de estas variables, explicadas con la tabla 9 y asumiendo linealidad.

Tabla 9
Variable compuesta: IC

Variable compuesta	Elementos que la componen	Variables observadas en cada país	Detalle	Fuente
IC	Normalización	Percepción de regulación en calidad	La Calidad Regulatoria captura las percepciones de la capacidad del gobierno para formular e implementar políticas y regulaciones sólidas que permitan y promuevan el desarrollo del sector privado. La estimación proporciona la puntuación del país en el indicador agregado, en unidades de una distribución normal estándar, es decir, entre aproximadamente -2,5 y 2,5.	“Los Indicadores de gobernanza mundial: metodología y cuestiones analíticas”. Documento de trabajo de investigación de políticas del Banco Mundial No. 5430
	Evaluación de la conformidad			
	Acreditación y Estándares	Certificados ISO 9001	Se trata del número total de certificados válidos informados por los organismos de certificación, considerando 39 sectores por país. La EA (European Accreditation) ha definido 39 sectores que abarcan una amplia gama de industrias y servicios. Estos sectores incluyen, entre otros, la agricultura, la alimentación, la construcción, la energía, el medio ambiente, la salud, la seguridad, las tecnologías de la información y la comunicación, y el transporte.	The ISO Survey of Management System Standard Certifications 2022
	Metrología	CMCs	Las Capacidades de Medición y Calibración, representan la capacidad de un laboratorio para realizar mediciones o calibraciones con una cierta precisión y fiabilidad, dentro de un rango específico de condiciones de medición. Estas capacidades se determinan a través de procesos de evaluación y validación, que pueden incluir la participación en ensayos de aptitud y comparaciones internacionales entre laboratorios.	Base de datos de la Oficina Internacional de Pesas y Medidas (conocida como KCDB, Key Comparison Data Base) https://www.bipm.org/kcdb/cmc/statistics/public

Fuente: Elaboración propia con base en la literatura consultada

No obstante, suscribo que el núcleo tecnológico de la IC se expresa en estándares técnicos (ISO, IEC, Codex). En esta tesis, la calidad regulatoria se usa como canal institucional —capacidad del Estado para formular e implementar regulaciones que favorecen la actividad productiva— mientras que la difusión de estándares en las firmas se aproxima con “ISO 9001” (intensidad de certificación), por ser el único panel global y comparable disponible para los 39 países en el periodo 2002–2022 (ISO Survey). Reconozco que ISO 9001 no agota el universo de estándares, pero la literatura lo emplea como proxy operativo de adopción de prácticas normalizadas y gobernanza de procesos a nivel empresarial (Blind, 2013; Swann, 2010). Un indicador integral de “estándares” —que cubra familias técnicas avanzadas y su uso efectivo— no existe hoy con cobertura y consistencia temporal equiparables.

De cara a trabajos futuros, se propone construir un índice de orientación avanzada (p. ej., participación/uso en dominios de frontera) y explorar métricas complementarias (ISO 14001/45001, participación en comités ISO/IEC), para capturar con mayor fineza la composición del acervo de estándares. Esta decisión, de utilizar las “variables observadas” en comento, se tomó para preservar la validez comparativa de la muestra, y es consistente con la evidencia que vincula estándares y desempeño innovador, cuando coexisten complementariedades en I&D y absorción (Blind, 2013).

3.4. Selección de la Muestra y Recolección de Datos

Aquí se presenta la estrategia utilizada para la selección de la muestra y la recolección de los datos necesarios para el análisis.

La selección de la muestra se llevó a cabo mediante un muestreo estratificado, una técnica que garantiza una adecuada representatividad de los datos ya que elimina el sesgo asociado a una posible heterogeneidad. En este caso, la población de estudio estuvo compuesta por países miembros de la organización internacional de metrología, conforme a los criterios establecidos por el *Bureau International des Poids et Mesures* (BIPM). La inclusión de países en la muestra estuvo condicionada a dos criterios fundamentales: pertenencia al marco de la metrología internacional y la disponibilidad del cien por ciento de los datos para todas las variables de interés.

Inicialmente, se consideraron todos los países que forman parte de la estructura de metrología del BIPM (ver figura 5). Sin embargo, aquellos que no contaban con un conjunto completo de datos, es decir, con información disponible en el cien por ciento de las variables requeridas, fueron descartados del análisis. Esta estrategia permitió asegurar que los datos utilizados fueran completos y, por tanto, adecuados para el modelado econométrico, evitando problemas derivados de datos faltantes o la inclusión de observaciones atípicas que pudieran distorsionar los resultados.

En términos metodológicos, esta selección de la muestra permitió evitar problemas de sesgo de selección y multicolinealidad que podrían surgir por la inclusión de países con datos incompletos o irrelevantes.

La muestra final constó de 39 países, ver tabla 6, cuidadosamente seleccionados para garantizar la consistencia en la estimación del modelo econométrico. Los datos fueron recolectados a partir de fuentes secundarias confiables, principalmente de bases de datos internacionales como el Banco Mundial, lo que asegura la fiabilidad y validez de la

información. Previo a su análisis, los datos fueron sometidos a un proceso de limpieza y validación para detectar y corregir inconsistencias o valores anómalos, maximizando la precisión y robustez de los resultados estadísticos, asegurando la representatividad de las correlaciones entre las variables y, en consecuencia, la relevancia de los hallazgos obtenidos.

3.5. Metodología de Análisis

La última sección del capítulo describe el enfoque analítico adoptado para alcanzar los objetivos específicos de la investigación. Se delinean las técnicas estadísticas y econométricas que se aplicaron a los datos, incluyendo modelos de ecuaciones estructurales y análisis de regresión. Se explica cómo cada técnica se vincula con las hipótesis planteadas y se detalla el uso del software especializado STATA, el cual fue utilizado para la realización de los análisis. Esta sección también aborda la interpretación de los resultados y cómo se relacionarán con los objetivos de la investigación.

Debido a que, la infraestructura metrológica de un país desarrollado se considera una infraestructura técnica crucial, que aporta garantías para mejorar la capacidad técnica de innovación, promover el crecimiento económico y el progreso social, aumentar la competitividad en el comercio internacional, mejorar los intercambios y cooperaciones internacionales, facilitar la aplicación de alta tecnología en la industria, garantizar la seguridad y eficacia de la asistencia sanitaria y dar respuesta a los grandes retos del mundo, de acuerdo con Carbonell, J., & Del Campo, M. (2012). Por su complejidad y las múltiples trayectorias donde incide la IC, se han probado los siguientes supuestos — relaciones causales, mediadoras o moderadoras — con la idea de comprobar con la muestra

de datos, si las variables de estudio juegan un papel en el crecimiento tecno-económico de un país, y si sí, de qué manera, y en qué medida.

3.5.1. Identificación del modelo econométrico

Con el fin de evaluar empíricamente las hipótesis planteadas, se desarrolló un modelo estructural que permite identificar las relaciones causales entre variables de la IC, capacidades tecno-industriales, y el crecimiento económico. El enfoque adoptado se sustenta en la estimación simultánea de un sistema de ecuaciones, lo que posibilita capturar tanto efectos directos como interacciones mediadas entre variables clave del desarrollo tecno-económico. Por consiguiente, el sistema modela tres relaciones simultáneas fundamentales: la ecuación 1, que evalúa el impacto de las exportaciones de alta tecnología y del valor agregado manufacturero —incluyendo efectos no lineales— sobre el logaritmo del PIB per cápita, incorporando además controles por año y subregión mediante efectos fijos. La ecuación 2, estima cómo variables clave de la infraestructura de la calidad (percepción regulatoria, certificaciones ISO, CMCs) y del sistema de innovación (I+Dt y GII) inciden en la capacidad exportadora tecnológica, permitiendo detectar efectos marginales y no lineales. La ecuación 3, por su parte, capta la influencia directa de la inversión en I+Dt sobre la estructura productiva manufacturera, controlando también por heterogeneidad temporal y regional. En conjunto, el sistema permite analizar tanto los efectos estructurales directos como los canales mediadores a través de los cuales la IC contribuye al desarrollo económico:

- 1) $\ln(PIBpc_{i,t}) = \sum_y \beta_y 1\{t = y\} + \sum_r \beta_r 1\{subreg = r\} + \sum_{y,r} \beta_{yr} 1\{t = y\} 1\{subreg = r\}$
 $+ \beta_1 (exp_manu_{i,t}) + \beta_2 (manu_pib_{i,t}) + \beta_3 (manu_pib_{i,t})^2 + u_{1,i,t}$
- 2) $exp_manu_{i,t} = \alpha_1 perc_ic_{i,t} + \alpha_2 iso_pib_{i,t} + \alpha_3 cmc_{i,t} + \alpha_4 (cmc_{i,t})^2 + \alpha_5 idt_{i,t} + \alpha_6 gii_{i,t}$
 $+ \sum_y \gamma_y 1\{t = y\} + \sum_r \delta_r 1\{subreg = r\} + u_{2,i,t}$
- 3) $manu_pib_{i,t} = \pi_1 idt_{i,t} + \sum_y \phi_t 1\{yr = t\} + \sum_r \psi_r 1\{subreg = r\} + u_{3,i,t}$

Donde:

- $\ln(PIBpc_{i,t})$: logaritmo natural del PIB per cápita en paridad de poder adquisitivo (variable dependiente del sistema).
- $exp_manu_{i,t}$: exportaciones de productos de alta tecnología como proporción del total manufacturero (variable mediadora).
- $manu_pib_{i,t}$: valor agregado de la manufactura como porcentaje del PIB (variable mediadora).
- $perc_ic_{i,t}$: percepción de la regulación en infraestructura de la calidad (variable independiente).
- $iso_pib_{i,t}$: número de certificados ISO 9001 ajustado por PIB per cápita (variable independiente).
- $cmc_{i,t}$: número de Capacidades de Medición y Calibración (variable independiente).
- $idt_{i,t}$: gasto en Investigación y Desarrollo como porcentaje del PIB (variable independiente).
- $gii_{i,t}$: Índice Global de Innovación (variable independiente).

- $1\{t = y\}$: variable indicadora para el año yyyy (efecto fijo de tiempo).
- $1\{subreg = r\}$: variable indicadora para la subregión rrr (efecto fijo regional).
- $\beta_1, \beta_2, \beta_3$: efectos marginales de las variables mediadoras (exportaciones y manufactura) sobre el PIB per cápita.
- $\alpha_1, \dots, \alpha_6$: efectos de las variables de infraestructura de calidad e innovación sobre las exportaciones de alta tecnología.
- π_1 : efecto del gasto en I+D sobre el valor agregado de la manufactura.
- $\beta_y, \beta_r, \beta_{yr}$: efectos fijos por año, subregión y su interacción en la ecuación del PIB per cápita.
- γ_y, δ_r : efectos fijos por año y subregión en la ecuación de exportaciones.
- ϕ_t, ψ_r : efectos fijos por año y subregión en la ecuación de manufactura.
- $u_{1,i,t}, u_{2,i,t}, u_{3,i,t}$: términos de error (residuos) de cada ecuación.
- $\sum_y \beta_y 1\{t = y\}$: suma de efectos fijos de año (captura tendencias comunes en el tiempo).
- $\sum_r \beta_r 1\{subreg = r\}$: suma de efectos fijos por subregión (captura heterogeneidad estructural regional).
- $\sum_{y,r} \beta_{yr} 1\{t = y\} 1\{subreg = r\}$: interacción año–subregión, que permite modelar trayectorias diferenciales por región en el tiempo.

La implementación empírica de este sistema se realizó mediante el comando *gsem* en STATA, el cual permite estimar ecuaciones estructurales simultáneas bajo un mismo marco estadístico. La sintaxis replicó fielmente la formulación matemática, incorporando

variables continuas, términos cuadráticos, interacciones y efectos fijos por año y subregión. Se utilizó además la opción *vce(cluster subreg2)* para ajustar los errores estándar ante posibles correlaciones intrarregionales, lo que refuerza la robustez de las inferencias. Esta traducción computacional del modelo garantiza plena coherencia entre el planteamiento teórico, la especificación econométrica y la estrategia de estimación adoptada.

```
gsem (ln_pibpc <- i.yr##subreg2 c.exp_manu c.manu_pib##c.manu_pib)
      (exp_manu <- perc_ic iso_pib c.cmc##c.cmc idt gii i.yr i.subreg2)
      (manu_pib <- idt i.yr i.subreg2), vce(cluster subreg2)
```

Los resultados obtenidos a partir del modelo permiten estimar de manera simultánea los efectos directos e indirectos de las variables seleccionadas sobre el crecimiento tecno-económico. Las relaciones entre el PIB per cápita, el desempeño manufacturero y los componentes de la infraestructura de la calidad son contrastadas empíricamente conforme a las hipótesis del modelo, identificando tanto los vínculos causales como los mecanismos de transmisión. Este ejercicio ofrece una base sólida para discutir las implicaciones de política económica, particularmente en lo relativo al papel estratégico que desempeñan las instituciones de la IC en la transformación productiva y tecnológica, y permite derivar recomendaciones orientadas a cerrar brechas estructurales de forma más precisa y contextualizada.

El uso de este modelo está alineado con los objetivos y las hipótesis planteadas en las sección 3.1.2, y se puede seguir en detalle observando la tabla 10:

Tabla 10
Identificación del modelo

Hipótesis Secc. 3.1.2	Código	Variables endógenas	Variables exógenas	Alineación con su hipótesis
Secundaria H_1	(exp_manu <- perc_ic iso_pib c.cmc##c.cmc idt gii i.yr i.subreg2)	Exportaciones de productos de alta tecnología como porcentaje de los productos manufacturados (exp_manu)	Percepción de regulación en calidad (perc_ic) Certificados ISO 9001 (iso_pib) Capacidades de Medición y Calibración (cmc) Índice Global de Innovación (gii)	Esta variable es modelada como dependiente de factores pertenecientes a la IC, como percepción en la regulación (perc_ic), los certificados ISO per cápita (iso_pib), la cantidad de CMCs declaradas por el INM del país (cmc), el gasto en investigación y desarrollo tecnológico y el Índice Global de Innovación (idt, gii) así como las variables de control de madurez o antigüedad del INM y su ubicación regional (yr, subreg2). Esto permite probar la H_1 , que postula que las instituciones y la tecnología impulsan el desempeño manufacturero, lo que en última instancia impacta el crecimiento económico.
	(manu_pib <- idt i.yr i.subreg2), vce(cluster subreg2)	Valor agregado de manufactura como porcentaje del PIB" (manu_pib)	Inversión en investigación y desarrollo tecnológico (idt) Año de creación del INM (yr) Subregión a la que pertenece el país (subreg2)	Se modela como función de la inversión en tecnología (idt), la madurez o antigüedad del INM (yr) y la región a la que pertenece el país (subreg2), lo cual permite analizar cómo las variables estructurales afectan la capacidad manufacturera y, por ende, probar la H_1 , sobre las interacciones entre estas variables.
Hipótesis secundaria H_2	(ln_pibpc <- i.yr##subreg2 c.exp_manu c.manu_pib##c.manu_pib)	Crecimiento del PIB per cápita (ln_pibpc)	(exp_manu) (manu_pib) (i.yr) (subreg2)	Se modela como una función dependiente de las exportaciones manufacturadas de alta tecnología (exp_manu), la contribución del valor agregado al sector manufacturero (manu_pib), y variables de control como el año de creación del INM (i.yr) y la subregión (subreg2). Este enfoque permite probar la H_2 , evaluando cómo el sector manufacturero impacta en el crecimiento económico de los países de la muestra.

Elaboración propia.

El uso de “GSEM” en STATA permite modelar simultáneamente múltiples ecuaciones, capturando las interacciones complejas entre las variables dependientes y explicativas. Esto es crucial para un análisis riguroso de las relaciones entre el sector manufacturero, las instituciones de la IC, sus CT y el crecimiento económico. Además de esta técnica de regresión multivariada, como soporte adicional, asegurando que los resultados sean robustos se corrigió la heterocedasticidad, mediante el uso de errores estándar agrupados por subregión con el código “(vce(cluster subreg2))”, lo que asegura que las estimaciones sean consistentes y eficientes incluso en presencia de heterogeneidad estructural (Hair, Ringle y Sarstedt, 2011).

El software STATA fue utilizado para la estimación del modelo econométrico, así como para la elaboración de los gráficos y tablas que sintetizan los resultados. Este paquete estadístico es adecuado para el manejo de grandes volúmenes de datos y la implementación de modelos econométricos avanzados, como el “GSEM”, que se utiliza en esta investigación.

3.6. Consideraciones éticas

La presente investigación se desarrolló bajo un estricto compromiso con los principios éticos fundamentales en el ámbito académico y profesional. Los datos utilizados provienen en su mayoría del Banco Mundial, una fuente pública y ampliamente reconocida por su integridad y fiabilidad. Asimismo, se garantiza que estos datos fueron tratados con el rigor necesario para asegurar su correcta interpretación, evitando cualquier manipulación no declarada en el presente documento. En concomitancia con este

compromiso, se ponen a disposición las bases de datos recabadas, en el apéndice B, para cualquier verificación.

Es importante destacar que el presente trabajo contó con el apoyo del CENAM, institución que forma parte de la Infraestructura de la Calidad en México, y, por lo tanto, del objeto de estudio. Sin embargo, en línea con el enfoque de Niklas Luhmann, en Baraldi et al. (2021), quien señala que "no se puede observar el objeto de estudio sin formar parte de él", desde el inicio del análisis se identificaron cuidadosamente las posibles limitaciones o sesgos inherentes a esta relación. Con ello y desde la génesis, se ajustó el alcance de la investigación para mitigar de manera óptima cualquier potencial conflicto de interés. A pesar del involucramiento profundo con los datos y su contexto, se han implementado medidas rigurosas para reducir al máximo posible cualquier influencia subjetiva, garantizando así una interpretación objetiva, científica y completamente transparente de los resultados.

A lo largo del proceso de investigación, el CENAM brindó todas las facilidades logísticas y académicas necesarias para el desarrollo de la tesis, garantizando en todo momento la autonomía de la investigación. En ningún momento se ejerció coerción alguna por parte de esta institución para influir en los resultados o el enfoque de la investigación. Este respaldo institucional fue clave para el logro de resultados, así como la independencia otorgada para abordar los problemas de investigación de forma objetiva y rigurosa.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En este capítulo se espera brindar una visión clara y detallada de los hallazgos encontrados, los cuales servirán de base para la discusión y las conclusiones del estudio. Los resultados aquí presentados constituyen un aporte significativo al conocimiento existente en el campo de las ciencias económico-administrativas y la IC, asimismo, pueden ser utilizados como punto de partida para futuras investigaciones en la materia.

4.1. Evolución del PIB per cápita por Organización Regional de Metrología

Lo primero, digno de analizar, es la evolución del PIB PC PPA particularmente, haciendo distinción entre los países (o grupos de países). Para ello se utilizó el nivel de desglose de subregión (ver apéndice B, tabla B2), y para lo cual se realizaron dos ajustes:

- i. Separar el subgrupo 6 donde está México con Estados Unidos y
- ii. Separar a Corea del resto del subgrupo 1.

Quedando de la siguiente manera, ver tabla 11:

Tabla 11

Códigos para la estimación e interpretación del comportamiento del PIB PC PPA, por regiones y países de interés

Subgrupo (original)	Subgrupo 2 (modificado)	Países
1	12	Corea del Sur
1	1	Países sin Corea del Sur
6	10	México
6	11	Estados Unidos de América
6	6	Al no estar Canadá en la muestra, el grupo 6 se descarta, quedando un análisis puntual para México y EUA

Elaboración propia.

Generando nuevos códigos del subgrupo se logra realizar una estimación con énfasis en los países de interés para la investigación. El caso de Alemania se dejó dentro del subgrupo 4, dado que se trataría de un caso general “europeo”, donde se puede decir que hay más homogeneidad regional o entre países, de acuerdo con García et al. (2023), la red de convergencia se ha transformado profundamente en los últimos 20 años, pero, las naciones europeas todavía aparecen como un núcleo.

A continuación, se muestra la evolución del PIB per cápita en los años de estudio: 2000, 2012 y 2022. Se utilizó escala logarítmica para facilitar la interpretación y para evitar un comportamiento exponencial.

Como resultado, la gráfica reporta una estimación muy sencilla, la cual sirve como caso de referencia. Se observa que el PIB per cápita mexicano está estancado y que la economía de Corea ha convergido. Al principio rápidamente (2000-2012) y después a menor velocidad (2012-2022), ver figura 6.

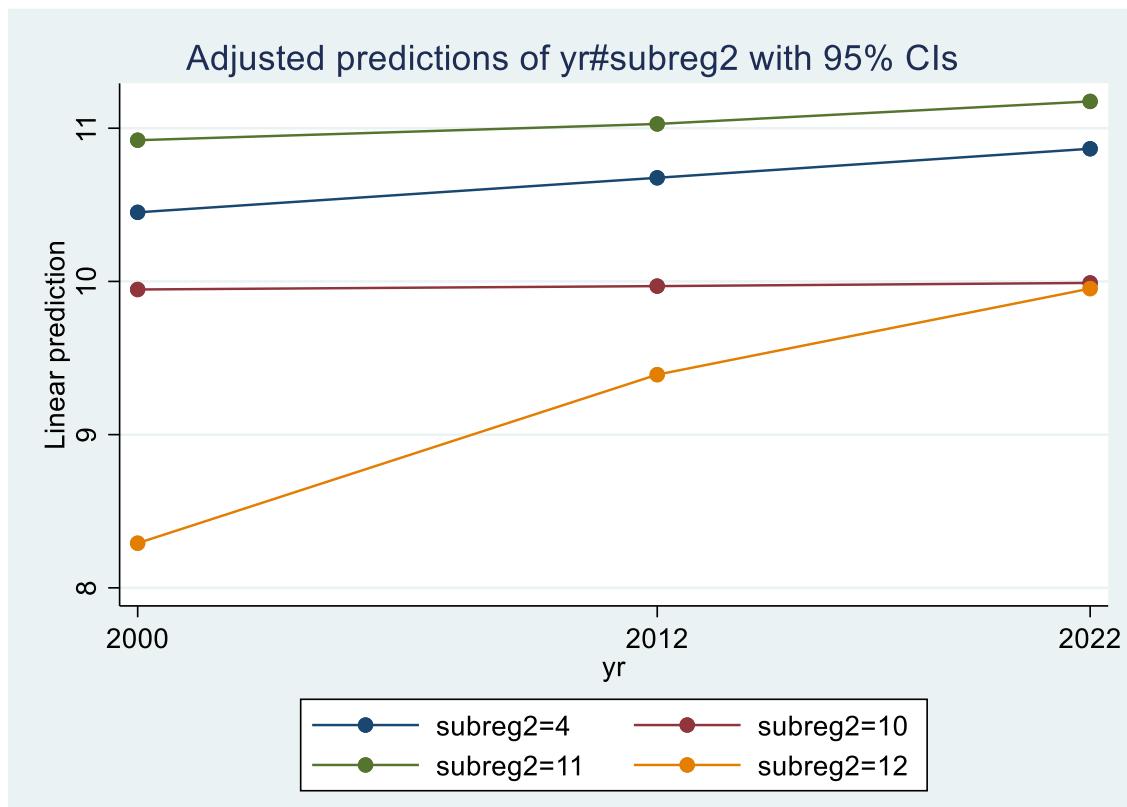


Figura 6. Comportamiento de la región Euramet (4), México (10), Estados Unidos de América (11) y Corea del Sur (12) de acuerdo con su PIB PC PPA (del año 2000 al 2022). Elaboración propia.

Cabe señalar que en la estimación sólo se usan como variables predictivas los años (“*yr*”), las subregiones modificadas (“*subreg2*”) y las interacciones (“*yr*subreg2*”), con un intervalo de confianza del 95%. Utilizando el código “*reg ln_pibpc i.yr##subreg2 , vce(cluster subreg2)*” en el software Stata, se realizó la regresión lineal, aplicando el logaritmo natural a la variable de respuesta “*PIB PB PPA*”, indicando que “*yr*” es una variable categórica, y especificando por medio del comando “##” que se debe considerar la interacción completa, tanto “*yr*” y “*subreg2*” como el término de interacción “*yr*subreg2*”, es decir, que incluye los impactos individuales de las 2 variables, y la

variable producto de esta interacción, en la variable dependiente. El último comando “*vce(cluster subreg2)*” indica que las observaciones dentro de cada subregión (“*subreg2*”) pueden estar correlacionadas, por lo que se ajustan los errores estándar para tener en cuenta esta correlación intra-clúster.

Nota 1. Se omitió del análisis el año de creación de los institutos de metrología, dada su escasa capacidad predictiva.

Nota 2. Dada la gran extensión del análisis, tampoco hubo tiempo de analizar la variable de porcentaje de población 15-64 ni el porcentaje de gasto en educación. Sin embargo, quedan los datos en el apéndice B, para un futuro análisis si fuera de interés algún investigador.

4.2. Canales de transmisión de la IC y su impacto tecno-económico

En este paso, se agregaron a la ecuación otras dos variables explicativas: las “Exportaciones de productos de alta tecnología como porcentaje de los productos manufacturados exportados” (*exp_manu*) y el “Valor agregado en manufactura como porcentaje del PIB” (*manu_pib*). Apoyado en el software Stata, se utilizó el código “*reg ln_pibpc i.yr##subreg2 c.exp_manu c.manu_pib##c.manu_pib , vce(cluster subreg2)*” con el cual se realizó un análisis por medio de regresión lineal, la aplicación del logaritmo natural a la variable “*PIB PC PPA*”, y el tratamiento de variables categóricas para “*yr*” y “*subreg2*”, así como de variables continuas para “*exp_manu*” y “*manu_pib*”.

4.2.1. “Valor Agregado de Manufactura”

Además de las consideraciones del modelo anterior –expuestas en la sección 4.1– dadas por el código “*yr##subreg2*”, se suma el término de interacción cuadrático para

capturar el efecto no lineal del “Valor agregado de manufactura (% PIB)” por medio del código “*manu_pib##manu_pib*”, el cual, al arrojar un coeficiente significativo para este término, indica que existe una relación y que no es simplemente lineal, sino que cambia dependiendo del nivel de “*manu_pib*”.

Para visualizar de mejor manera el efecto no lineal, se graficó la relación entre “*manu_pib*” y “*ln_pibpc*”, mostrando cómo el efecto de “*manu_pib*” cambia a diferentes niveles. En la figura 7 se puede confirmar que el “Valor agregado de manufactura (% PIB)” tienen un efecto no lineal, asimismo, puede observarse que existe un umbral cerca del 20% para incidir positivamente sobre el PIB PC PPA.

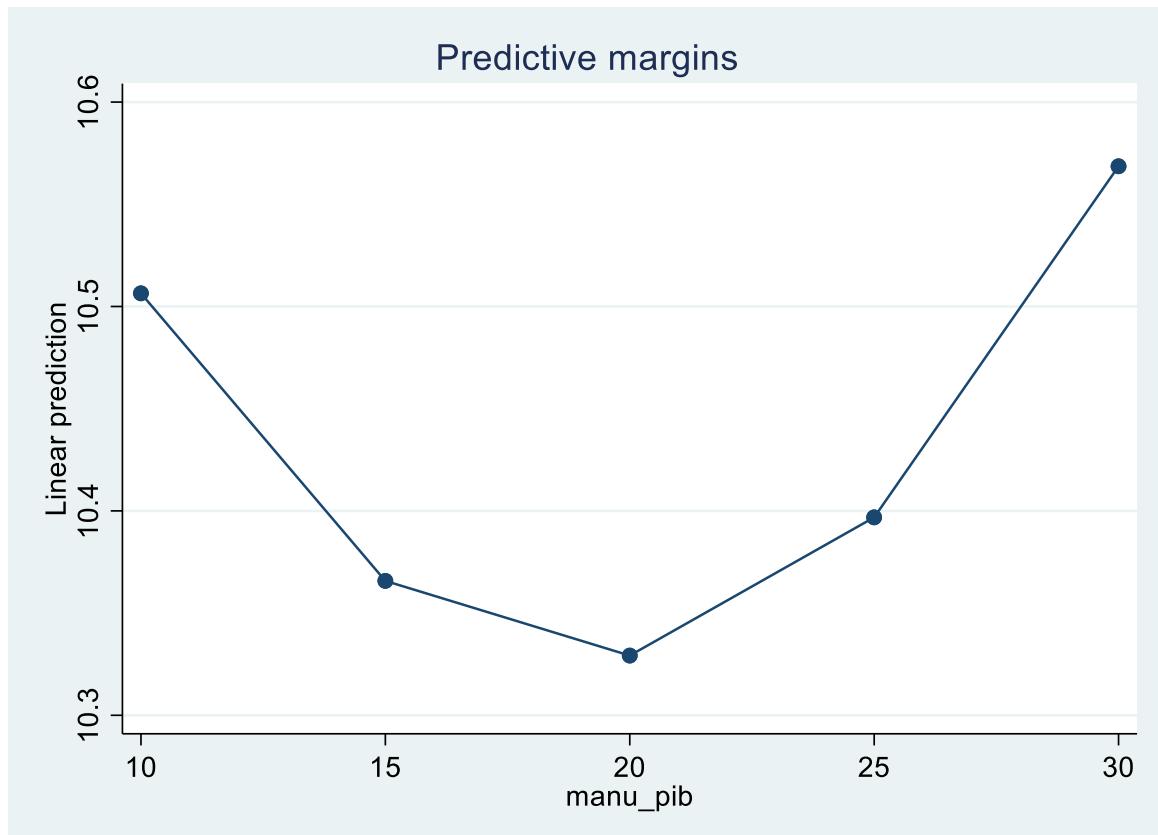


Figura 7. Respuesta del “PIB PC PPA” debido al “Valor agregado de manufactura”
Elaboración propia.

Cuando “*manu_pib*” es menor a 20%, los resultados de la IC se materializan en acciones como la Metrología Legal. Es decir, la economía con un “valor agregado de manufactura” menor a un 20 %, no puede fundamentar sus capacidades en I&DT, ni desarrollar alta tecnología pues la IC solamente alcanza para asegurar relaciones comerciales básicas: provisión de materias primas y mano de obra barata. Al contrario, para un “*manu_pib*” mayor a 20 %, la economía observa crecimiento en sus capacidades tecnológicas avanzadas, lo cual le acerca a la propuesta de converger con economías más avanzadas. En esta etapa, la IC estimula el crecimiento de la I&DT, se estimulan los estándares de tecnologías avanzadas, y así, el modelo de crecimiento económico se basa en el liderazgo tecnológico.

4.2.2. “Exportaciones de productos de alta tecnología”

Se continuó, en un segundo paso, con el análisis asociado a la IC. Esta vez no se utilizó una variable observada derivada. En vez de ello, se usaron ecuaciones simultáneas, para manejar las tres variables que conforman IC, que son: “Percepción de regulación en calidad” (*perc_ic*), “Certificados ISO 9001” (*iso_pib*) y “Capacidades de Medición y Calibración” (*cmc*). Nuevamente, se encontró una no linealidad, ahora en la variable “*cmc*”.

La siguiente gráfica (figura 8) muestra el comportamiento de los datos respecto a la variable “Exportaciones de productos de alta tecnología (% exportaciones manufacturadas)” (*exp_manu*). En esta figura se muestra el ajuste lineal, con una relación positiva pero decreciente. Esto significa que, a medida que la variable independiente (en el eje x) aumenta, la variable dependiente (en el eje y) también aumenta. Sin embargo,

este aumento no es constante. La tasa de aumento de la variable “*exp_manu*” disminuye a medida que la variable “*cmc*” aumenta.

Otra situación que se debe tener en cuenta, al observar la figura 8, es que, si el modelo predice adecuadamente los datos, los residuales (puntos azules) deben observarse distribuidos de manera aleatoria alrededor de la línea, lo que no sucede, ya que aquí se puede observar un patrón sistemático, asimismo, este patrón apunta a que existe heterocedasticidad, es decir, que la varianza no es constante. Esto solo refuerza que la relación no es lineal y que debe explorarse relaciones cuadráticas o polinómicas, y considerar errores estándar del tipo “heterocedasticidad-consistente-White”.

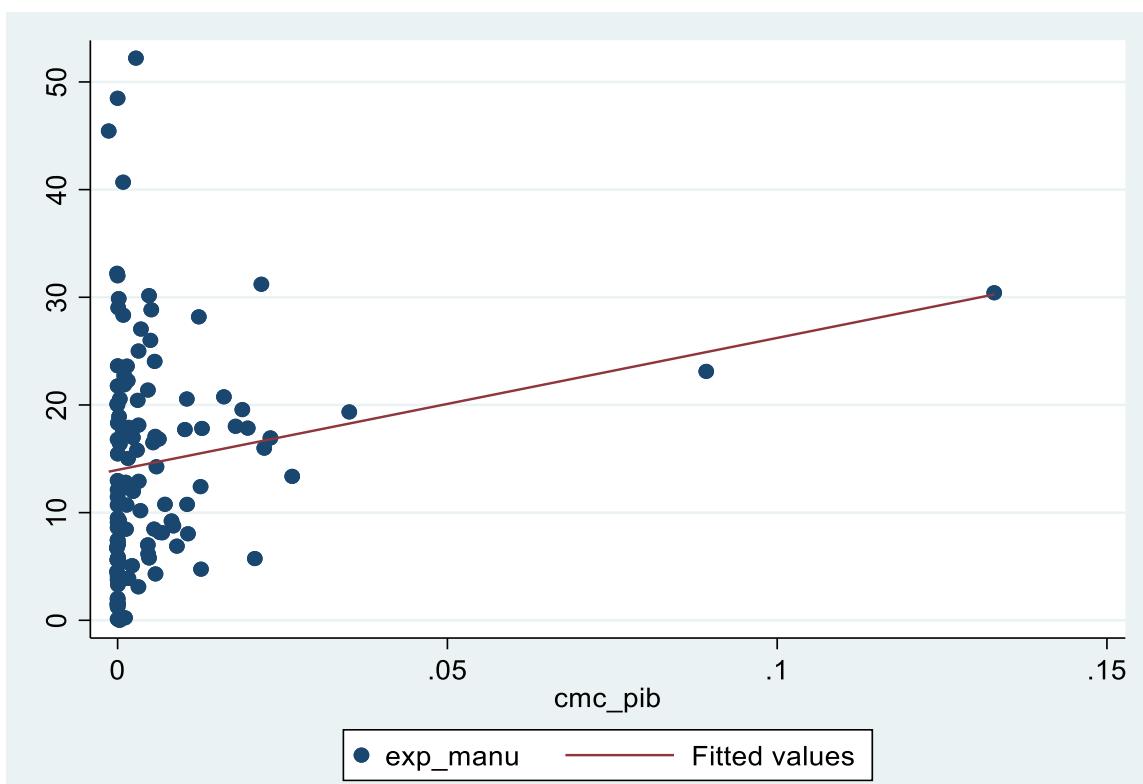


Figura 8 Valores ajustados: Variable de respuesta “Valor agregado de manufacturar” cuando se evalúan los valores de predictores “Capacidades de medición y calibración”
Elaboración propia.

4.2.3. “I&D”, “Patentes” e “Innovación” y su impacto tecno-económico

Además de las tres variables que conforman la IC, en las ecuaciones se agregaron las otras dos variables que buscan explicar a las “Exportaciones de productos de alta tecnología (% exportaciones manufacturadas)” y al “Valor agregado de manufactura (% PIB)”, respectivamente: “El porcentaje del PIB destinado a I&D” (*idt*) y el “Índice Global de Innovación” (*gii*). La IC tiene un efecto claro sobre la variable exportaciones. En cambio, sólo la “*idt*” resultó ser una variable significativa que explica la variable de interés “*exp_manu*”, asimismo, las “solicitudes de patentes residentes” (*pat_pib*) no revelaron significancia estadística.

El código utilizado para obtener el modelo de ecuaciones estructurales:

```
“gsem (exp_manu <- perc_ic iso_pib ccmc##ccmc idt pat_pibpc gii i.yr i.subreg2)  
(manu_pib <- perc_ic iso_pib ccmc##ccmc idt pat_pibpc gii i.yr i.subreg2)”
```

arrojó los resultados que pueden observarse en la tabla 12, de estos resultados parciales, destaca el signo negativo que acompaña el estadístico z de “I&D” e “ISO 9001”, debido a que ambas se relacionan negativamente con las “Exportaciones de productos de alta tecnología como porcentaje de los productos manufacturados”, dado que un valor Z negativo indica que, a medida que la variable independiente aumenta la variable dependiente disminuye, este es un hallazgo interesante, debido a que a simple vista contradice a la teoría, quizás estemos ante una relación polinómica por rendimientos decrecientes. En el caso de la incidencia para el “Valor agregado de manufactura (% PIB)” su relación con “I&D” es positiva, no así con los “Certificados ISO”, aunque esta última relación es más bien, presumiblemente inexistente de acuerdo con su valor p.

Tabla 12
Resultados parciales

	Coeficiente	Error estándar	z	P > z	Intervalo de confianza (95%)
exp_manu					
perc_ic	2.464873	1.88419	1.31	0.191	-1.228072 6.157818
iso_pib	-1.501922	0.7733999	-1.94	0.052	-3.017758 0.0139138
cmc	8.86E-03	7.72E-03	1.15	0.251	-0.0062748 0.0239874
c.cmc#c.cmc	-9.46E-06	6.00E-06	-1.58	0.115	-0.0000212 2.29E-06
idt_pib	-2.596857	1.273184	-2.04	0.041	-5.092252 -0.1014609
pat_pibpc	-0.0818226	0.2433937	-0.34	0.737	-0.5588654 0.3952203
gií	0.676313	0.1792784	3.77	0	0.3249338 1.027692
yr					
2012	-2.530879	1.807406	-1.4	0.161	-6.07333 1.011572
2022	-1.11937	2.097671	-0.53	0.594	-5.23073 2.991989
subreg2					
2	-2.659384	3.773565	-0.7	0.481	-10.05544 4.736667
3	-5.992261	4.05133	-1.48	0.139	-13.93272 1.948201
4	-10.85665	2.290854	-4.74	0	-15.34664 -6.366659
5	-15.96845	4.60179	-3.47	0.001	-24.98779 -6.949106
7	-16.1184	4.720295	-3.41	0.001	-25.37001 -6.866792
8	-7.008676	4.656141	-1.51	0.132	-16.13455 2.117194
10	3.565649	4.707602	0.76	0.449	-5.661081 12.79238
11	-5.13197	4.505062	-1.14	0.255	-13.96173 3.69779
12	58.165	25.22246	2.31	0.021	8.729881 107.6001
_cons	-5.012169	6.228537	-0.8	0.421	-17.21988 7.195541
manu_pib					
perc_ic	0.2190198	1.21036	0.18	0.856	-2.153242 2.591281
iso_pib	-0.1359039	0.4968139	-0.27	0.784	-1.109641 0.8378336
cmc	1.51E-03	4.96E-03	0.3	0.761	-0.0082102 0.0112295
c.cmc#c.cmc	-1.09E-06	3.85E-06	-0.28	0.778	-8.63E-06 6.46E-06
idt_pib	1.66981	0.8178638	2.04	0.041	0.0668266 3.272794
pat_pibpc	-0.0430351	0.1563504	-0.28	0.783	-0.3494763 0.263406
gií	0.004032	0.1151642	0.04	0.972	-0.2216857 0.2297498
yr					
2012	-3.302363	1.161035	-2.84	0.004	-5.57795 -1.026776
2022	-3.17272	1.347495	-2.35	0.019	-5.813761 -0.5316786
subreg2					
2	-5.507638	2.42405	-2.27	0.023	-10.25869 -0.7565884
3	-7.411741	2.60248	-2.85	0.004	-12.51251 -2.310975
4	-4.99094	1.471591	-3.39	0.001	-7.875205 -2.106674
5	-8.945571	2.956082	-3.03	0.002	-14.73939 -3.151756
7	-1.841352	3.032207	-0.61	0.544	-7.784368 4.101665
8	-1.356008	2.990996	-0.45	0.65	-7.218252 4.506237
10	3.255555	3.024053	1.08	0.282	-2.67148 9.182589
11	-8.954712	2.893946	-3.09	0.002	-14.62674 -3.282681
12	16.97	16.20232	1.05	0.295	-14.78596 48.72596
_cons	18.3322	4.001066	4.58	0	10.49026 26.17415

Elaboración propia.

4.3. Modelo final y niveles de incidencia en el crecimiento tecno-económico

Posteriormente, se integraron las tres ecuaciones relacionadas con:

- i. PIB per cápita PPA
- ii. Exportaciones de productos de alta tecnología (% exportaciones manufacturadas)
- iii. Valor agregado de manufactura (% PIB)

para esta estimación se eliminaron las variables no significativas. Resultando el código:

```
"gsem (ln_pibpc <- i.yr##subreg2 c.exp_manu c.manu_pib##c.manu_pib) (exp_manu <- perc_ic iso_pib ccmc##cmc idt gii i.yr i.subreg2) (manu_pib <- idt i.yr i.subreg2), vce(cluster subreg2)"
```

De esta forma, se obtuvieron los coeficientes estimados, reportados en la tabla de resultados 13.

Para explicarlo de otra manera, la eliminación de las variables no significativas, dio lugar a la ecuación completa del modelo por ecuaciones estructurales, el cual consta de tres ecuaciones analizadas simultáneamente, por estar relacionadas entre sí, incluyendo interacciones y efectos no lineales:

- i. $(ln_pibpc <- i.yr##subreg2 c.exp_manu c.manu_pib##c.manu_pib)$,
- ii. $(exp_manu <- perc_ic iso_pib ccmc##cmc idt gii i.yr i.subreg2)$ y
- iii. $(manu_pib <- idt i.yr i.subreg2)$.

Con ello se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 13*Resultados: Coeficientes estimados, significativos*

	Coeficiente	Error estándar	z	P > z	Intervalo de confianza (95%)
ln_pibpc					
exp_manu	0.0380832	0.0109713	3.47	0.001	0.0165799 0.0595865
manu_pib	-0.0802143	0.0326431	-2.46	0.014	-0.1441936 -0.0162351
Yr					
2012	0.33239	0.0271802	12.23	0	0.2791178 0.3856621
2022	0.9984206	0.1187733	8.41	0	0.7656292 1.231212
subreg2					
(2) CAMET	-0.2706803	0.066938	-4.04	0	-0.4018764 -0.1394841
(3) COOMET	-0.9781416	0.3343988	-2.93	0.003	-1.633551 -0.3227321
(4) EURAMET	0.9705838	0.141706	6.85	0	0.6928452 1.248322
(5) GULFMET	2.247089	0.3102603	7.24	0	1.63899 2.855189
(7) SADCMET	0.3009202	0.1859118	1.62	0.106	-0.0634604 0.6653007
(8) SURAMET	0.8235751	0.2076134	3.97	0	0.4166604 1.23049
(10) México	0.2464348	0.0507732	4.85	0	0.1469212 0.3459484
(11) EUA	0.8369763	0.0790985	10.58	0	0.6819461 0.9920065
(12) Corea del Sur	-2.105057	0.1558918	-13.5	0	-2.4106 -1.799515
yr#subreg2					
2012 2	0.5411438	0.2241947	2.41	0.016	0.1017303 0.9805574
2012 3	0.5838457	0.0376174	15.52	0	0.5101168 0.6575745
2012 4	-0.2126021	0.0372071	-5.71	0	-0.2855266 -0.1396776
2012 5	-0.9670711	0.0363149	-26.63	0	-1.038247 -0.8958952
2012 7	0.298457	0.1273647	2.34	0.019	0.0488267 0.5480873
2012 8	-0.1728134	0.0262927	-6.57	0	-0.2243462 -0.1212807
2012 10	-0.2660559	0.0296386	-8.98	0	-0.3241465 -0.2079653
2012 11	0.0192948	0.1357145	0.14	0.887	-0.2467007 0.2852903
2012 12	0.7806575	0.0144614	53.98	0	0.7523137 0.8090013
2022 2	-0.0024333	0.1103453	-0.02	0.982	-0.2187062 0.2138396
2022 3	0.2537158	0.1456477	1.74	0.082	-0.0317486 0.5391801
2022 4	-0.7393048	0.1183974	-6.24	0	-0.9713593 -0.5072502
2022 5	-1.491205	0.1893208	-7.88	0	-1.862267 -1.120143
2022 7	-0.2795046	0.0523644	-5.34	0	-0.3821368 -0.1768724
2022 8	-0.7270374	0.0932595	-7.8	0	-0.9098226 -0.5442521
2022 10	-0.9129808	0.1077457	-8.47	0	-1.124158 -0.7018032
2022 11	-0.4035218	0.0798192	-5.06	0	-0.5599645 -0.2470791
2022 12	1.119808	0.0895451	12.51	0	0.944303 1.295313
c.manu_pib#c.manu_pib	0.002083	0.0008983	2.32	0.02	0.0003224 0.0038437
cons	9.683274	0.5189116	18.66	0	8.666226 10.70032

Continuación

	Coefficiente	Error estandar	z	P > z	Intervalo de confianza (95%)
exp_manu					
perc_ic	2.556653	0.6431585	3.98	0	1.296085 3.81722
iso_pib	-1.391248	0.416677	-3.34	0.001	-2.20792 -0.574576
cmc	0.0098756	0.0020015	4.93	0	0.0059528 0.0137984
c.cmc#c.cmc	-0.0000106	1.88E-06	-5.65	0	-0.0000143 -6.92E-06
idt_pib	-2.618483	0.5625061	-4.66	0	-3.720974 -1.515991
gii	0.6710466	0.1354275	4.96	0	0.4056135 0.9364798
yr					
2012	-2.617539	1.544667	-1.69	0.09	-5.645032 0.4099531
2022	-1.190401	1.409302	-0.84	0.398	-3.952581 1.57178
subreg2					
(2) CAMET	-2.517779	0.7451212	-3.38	0.001	-3.97819 -1.057368
(3) COOMET	-5.747363	1.828755	-3.14	0.002	-9.331656 -2.163069
(4) EURAMET	-10.73802	0.8322809	-12.9	0	-12.36926 -9.106781
(5) GULFMET	-15.79159	0.533943	-29.58	0	-16.8381 -14.74508
(7) SADCMET	-15.96344	0.5497004	-29.04	0	-17.04084 -14.88605
(8) SURAMET	-6.909616	1.135834	-6.08	0	-9.13581 -4.683423
(10) México	3.606928	1.075418	3.35	0.001	1.499147 5.71471
(11) EUA	-4.986102	0.9718195	-5.13	0	-6.890834 -3.081371
(12) Corea del Sur	53.42724	13.03681	4.1	0	27.87557 78.97891
_cons	-4.995004	4.371681	-1.14	0.253	-13.56334 3.573333
manu_pib					
idt_pib	1.800249	0.5437861	3.31	0.001	0.7344477 2.86605
yr					
2012	-3.125533	0.2918955	-10.71	0	-3.697637 -2.553428
2022	-3.04011	0.550285	-5.52	0	-4.118649 -1.961571
subreg2					
(2) CAMET	-5.363315	1.044495	-5.13	0	-7.410487 -3.316143
(3) COOMET	-7.627757	1.082723	-7.04	0	-9.749855 -5.50566
(4) EURAMET	-4.73802	0.2929011	-16.18	0	-5.312096 -4.163945
(5) GULFMET	-8.792531	0.7628498	-11.53	0	-10.28769 -7.297373
(7) SADCMET	-1.655352	1.05973	-1.56	0.118	-3.732384 0.4216802
(8) SURAMET	-1.306207	0.9216897	-1.42	0.156	-3.112686 0.5002715
(10) México	3.550922	1.024632	3.47	0.001	1.54268 5.559164
(11) EUA	-8.962271	0.3758455	-23.85	0	-9.698914 -8.225627
(12) Corea del Sur	10.98499	0.260716	42.13	0	10.474 11.49598
_cons	18.32792	1.213141	15.11	0	15.95021 20.70564

Elaboración propia.

4.3.1. Exportaciones *Hi-Tech* y Valor agregado en el PIB per cápita

Finalmente, con la obtención del modelo por regresión, es posible acercarse al punto de interés y responder ¿Cuánto aumentaría el PIB PC si aumentara el porcentaje de exportaciones de productos de alta tecnología? o ¿Cuánto aumentaría el PIB PC si aumentara el porcentaje de valor agregado en manufactura?, para responder a ambas incógnitas basta con mirar los resultados que arrojan las gráficas de márgenes predictivos, contenidas en la figura 9, respectivamente, que permiten conocer cómo cambia la variable dependiente (en este caso, el logaritmo natural del PIB PC dentro de un intervalo de confianza del 95%) en función de los diferentes valores de las variables independientes.

Respecto al “Porcentaje de exportaciones de productos de alta tecnología”, este incide positivamente, de manera lineal, un aumento de 10 unidades puede producir un incremento del 0.38 por ciento al “Ln PIB PC PPA” (figura 9). Por su parte, el “Valor agregado de manufactura”, tiene un efecto negativo en niveles bajos, en un umbral cercano al 20 por ciento, su relación no es lineal y su efecto cambia de acuerdo con los niveles en que se mueve (figuras 7 y 9).

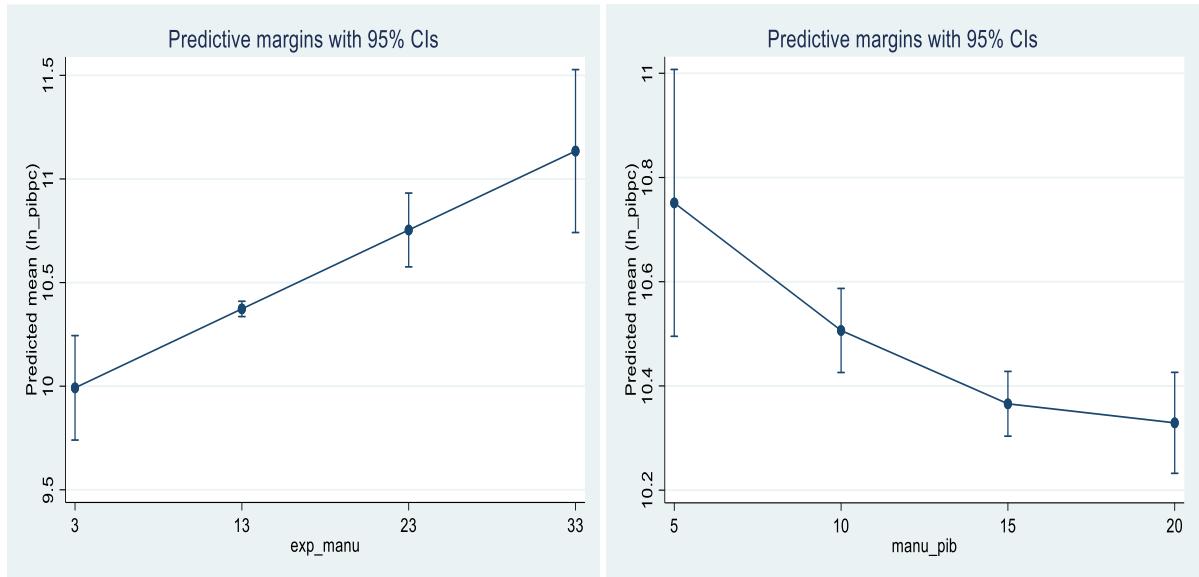


Figura 9. Relaciones: “Ln del PIB PC PPA” vs “Exportaciones de producto de alta tecnología” y “Ln del PIB PC PPA” vs “Valor agregado de manufactura (porcentaje del PIB)”.
Elaboración propia.

4.3.2. IC en las Exportaciones *Hi-Tech*

Entonces, ¿Qué requeriría la IC para incrementar las exportaciones de productos de alta tecnología? Primero, la evidencia de la figura 10 sugiere que el efecto de las CMCs no es lineal: el impacto positivo se concentra a niveles bajos (aprox. 0–500 CMCs), con un máximo alrededor de 500; por encima de ese umbral, el efecto se atenúa. Segundo, de acuerdo con la figura 11, elevar la percepción de calidad regulatoria (perc_IC) de 0.5 a 1.5 podría incrementar las exportaciones en cerca de dos puntos porcentuales. En conjunto, esto apunta a una estrategia dual: construir masa crítica temprana orientada en CMCs y en mejorar la calidad regulatoria para sostener el salto exportador.

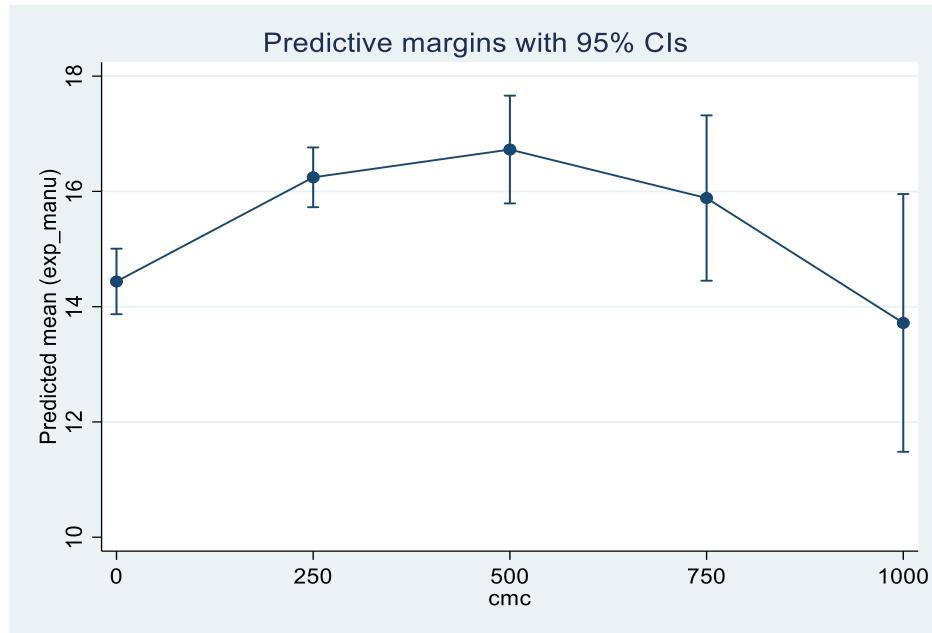


Figura 11. Relación: “Exportaciones de producto de alta tecnología” vs “Capacidades de medición y calibración (CMCs)”.

Elaboración propia.

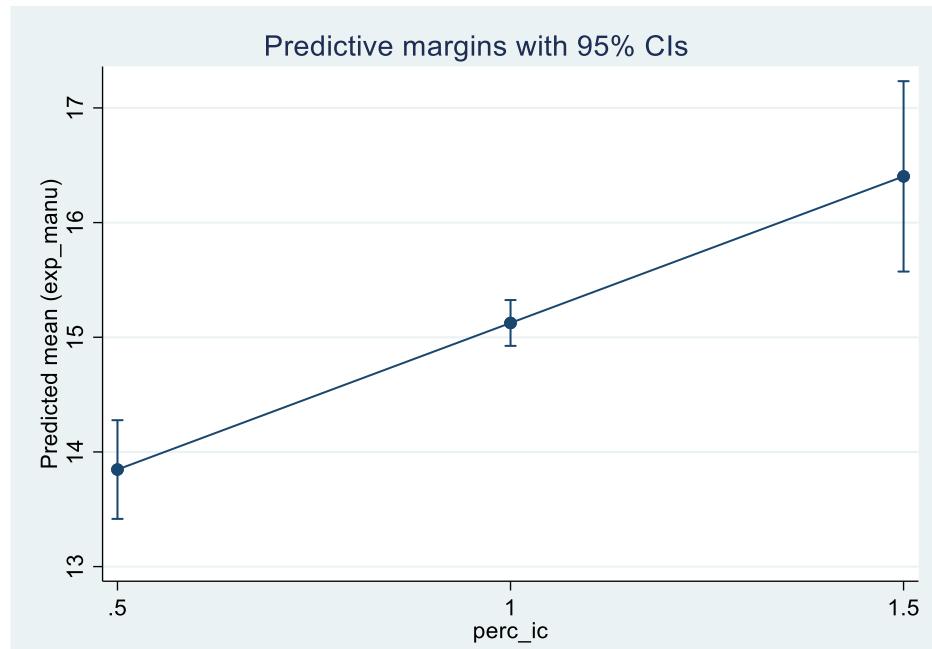


Figura 10. Relación: “Exportaciones de producto de alta tecnología” vs “Percepción de regulación en Infraestructura de la Calidad”.

Elaboración propia.

Por último, figura 12, los resultados indican que un aumento del Índice Global de Innovación (“ gii ”) de 40 a 50 podría significar un aumento 10 puntos porcentuales en las exportaciones de productos de alta tecnología. De “I&D” y “certificados ISO 9001” no se reportan resultados dado que se relacionan negativamente y no aportan al objetivo de la investigación.

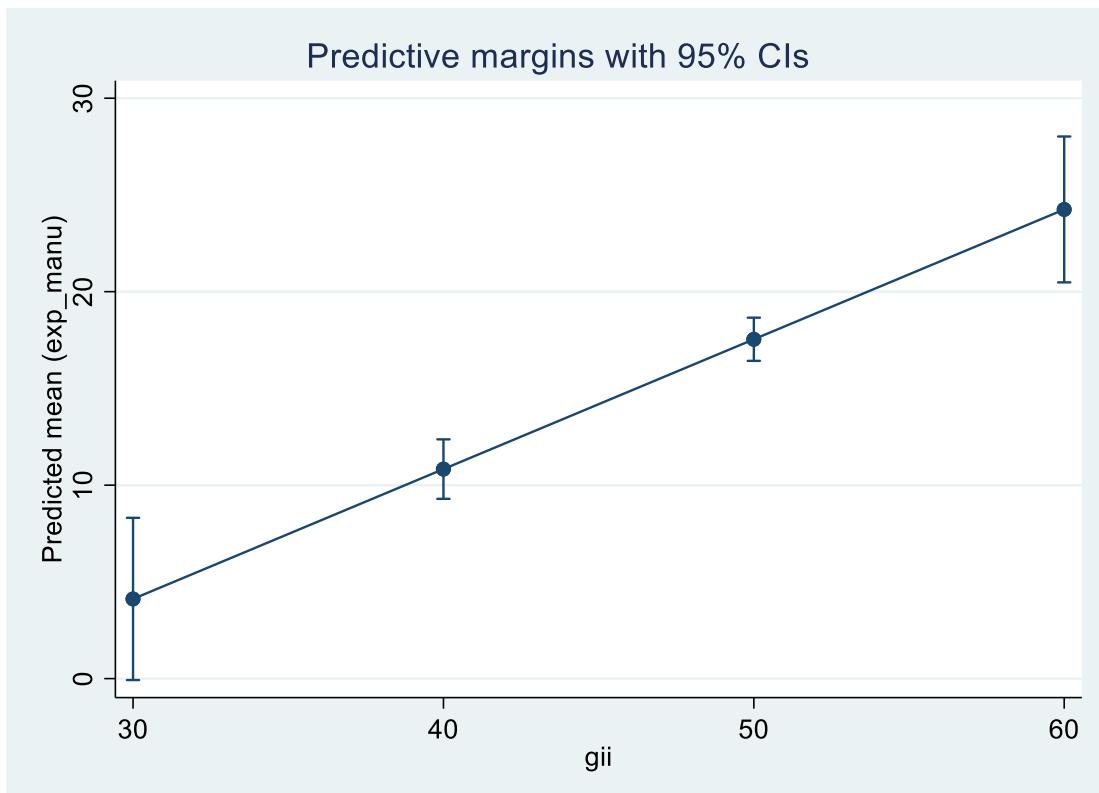


Figura 12. “Exportaciones de producto de alta tecnología” vs “Índice global de innovación”. Elaboración propia.

4.4. Incidencia regional (ORM) en el desarrollo tecno–económico

Entrando en el tema de los clubes de convergencia o convergencia regional, que sugieren incidencia de la región o vecindad del país en su crecimiento económico. De acuerdo con la tabla 14 (Subreg2 = 1 Asia, 4 Europa, 10 México, 11 Estados Unidos, 12 Corea), los resultados del modelo y la estadística descriptiva, se observa que Estados Unidos tiene indicadores más altos que Europa. También que los indicadores de México están estancados y que los de Corea son crecientes. Asimismo, respecto la percepción en IC, EUA es mejor que la de Europa, la de Corea del Sur es desfavorable, lo que contraviene a sus buenos resultados en materia económica. Para finalizar, no se observan tendencias en México ni Corea.

Tabla 14
Percepción IC por subregiones (2000-2022)

yr	(subreg 2 => IC)				
	APMP sin Corea	EURAMET	México	EUA	Corea del Sur
2000	0.67	1.05	0.22	1.7	-0.32
2012	0.84	1.17	0.42	1.26	-0.33
2022	0.98	1.14	-0.15	1.42	-0.42

Elaboración propia.

Respecto a las CMCs, EUA tiene ventaja frente a Europa del año 2000 a 2022. Ahora, Corea tiene gran ventaja frente a México (ver tabla 15), pero, es necesario tener presente que el modelo advierte que no es recomendable un número excesivamente elevado de CMCs dado su efecto decreciente. Respecto al GII, otra vez, EUA aventaja a Europa, asimismo, Corea tiene un GII más alto que México (ver tabla 16).

Tabla 15
CMCs por subregiones (2000-2022)

yr	(subreg 2 => CMCs)				
	APMP sin Corea	EURAMET	México	EUA	Corea del Sur
2000	-0.75	12	7	9	19
2012	470.25	183.04	404	283	1593
2022	689	329.16	766	1407	1876

Elaboración propia.

Tabla 16
Índice Global de Innovación por subregiones (2000-2022)

yr	(subreg 2 => GII)				
	APMP sin Corea	EURAMET	México	EUA	Corea del Sur
2000	47.60	47.38	30.45	56.57	46.43
2012	48.20	50.57	38.00	60.10	47.50
2022	49.50	48.51	31.00	63.50	55.30

Elaboración propia.

4.4.1. Convergencia desde los factores contextuales de la IC y regionales

Con respecto a la convergencia, se estimó un modelo de datos de panel para dos intervalos de tiempo (2002–2012, 2012–2022) donde la variable dependiente es la tasa de crecimiento anual del PIB per cápita. La especificación incluye el logaritmo del PIB per cápita inicial de cada periodo como variable explicativa principal, así como sus interacciones con *dummies* regionales, además de controles adicionales. En forma funcional, el modelo estimado es el siguiente:

$$\text{crecimiento}_i = \alpha + \beta \ln(\text{PIBpc}_{i,0}) + \sum_{r=2}^R \theta_r [d_{ir} \cdot \ln(\text{PIBpc}_{i,0})] + \sum_k \gamma_k \cdot Z_{k,i} + \varepsilon_i$$

donde:

- $crecimiento_i$: Tasa de crecimiento del PIB per cápita para el país (i)
- $\ln(PIBpc_{i,0})$: Logaritmo del PIB per cápita inicial del país (i)
- d_{ir} : Variable *dummy* que toma el valor 1 si el país (i) pertenece a la subregión (r) y 0 en caso contrario.
- θ_r : Coeficiente que captura el efecto diferencial de la subregión (r) en la relación entre el PIB inicial y el crecimiento.
- $Z_{k,i}$: Conjunto de otros regresores adicionales (por ejemplo, CMCs, certificaciones ISO9001, percepción de la regulación, GII, valor agregado manufacturero, exportaciones de alta tecnología, etc.) para el país (i) y γ_k sus respectivos coeficientes.
- α : Intercepto del modelo.
- ε_i : Término de error para el país (i)

Esta especificación permite evaluar la convergencia beta, es decir, si los países con menores niveles iniciales de ingreso (medido como $\ln(PIBpc_{i,0})$) crecen más rápido, y además captura la heterogeneidad regional mediante las interacciones entre el PIB inicial y las subregiones.

La tabla 17 de regresiones que se presenta a continuación, muestra los resultados obtenidos mediante la estimación del modelo econométrico con el comando de regresión `-reg-` en el software Stata, utilizando la técnica de Mínimos Cuadrados Ordinarios (OLS). Este enfoque permite evaluar la relación causal entre el logaritmo del PIB per cápita inicial

y la tasa de crecimiento económico, incorporando regresores adicionales y términos de interacción para capturar adecuadamente la heterogeneidad entre subregiones.

La principal ventaja de incluir la interacción del PIB inicial con cada región es que proporciona estimaciones más precisas, al ajustar el efecto del PIB inicial a las características específicas de cada región, reduciendo el sesgo que surge al utilizar un solo coeficiente promedio para todas. Esto, facilita el diseño de políticas públicas diferenciadas, que respondan a las condiciones particulares de cada subregión, mejorando así la eficiencia en la asignación de recursos. Finalmente, esta estrategia metodológica contribuye a una interpretación más robusta del proceso de convergencia económica, al permitir analizar con mayor claridad cómo factores contextuales —como la infraestructura de la calidad, certificaciones y capacidades de medición— interactúan con el nivel inicial del PIB per cápita, en concomitancia con la teoría de la convergencia condicional o de clubes ampliamente respaldada en la literatura (Barro y Sala-i-Martin, 1992; Phillips & Sul, 2007).

Para lograr esto, previamente, fue necesario construir la variable “*crecimiento_i*”, que modela la tasa de crecimiento de cada uno de los países, utilizando el concepto de tasa de crecimiento anual compuesta –CAGR por sus siglas en inglés– en términos prácticos, se tomaron los valores (PIB PC PPA), inicial y final de cada periodo, y se calculó la diferencia dividiéndola entre el número de años transcurridos (*n*), que se representa matemáticamente de la siguiente manera:

$$\textbf{Tasa de crecimiento}_i = \left(\frac{Vf}{Vi} \right)^{\frac{1}{n}} - 1 \times 100$$

Asimismo, para obtener la variable “*ln_pibpc_initial*”, se aplicó el logaritmo natural al “PIB PC PPA” del valor inicial de cada periodo, 2002 y 2012, respectivamente. Los valores resultantes por país, para los periodos 2002-2012 y 2012-2022, pueden ser consultados en el apendice B, tabla B3.

De esta manera y aplicando la regresión a los datos panel, con el código:

“*reg crecimiento c.ln_pibpc_initial##i.subregiones c.cmcs c.iso9001 c.percep_regic c.gii c.manu_pib c.exp_tec*” se obtiene la tabla 17.

Tabla 17

Relación causal entre el logaritmo del PIB per cápita inicial y otros regresores con la tasa de crecimiento económico

Crecimiento	Coef.	Std. Err.	t	P> t	[95% Conf. Interval]	
ln_pibpc_initial	-2.288789	.7483602	-3.06	0.004	-3.790484	-.7870945
Subregiones						
(2) CAMET	-2.536999	36.70406	-0.07	0.945	-76.18909	71.11509
(3) COOMET	32.63094	13.64456	2.39	0.020	5.25113	60.01074
(4) EURAMET	12.12158	7.178203	1.69	0.097	-2.282534	26.5257
(5) GULFMET	116.1445	54.40958	2.13	0.038	6.963681	225.3253
(7) SADCMET	52.28893	58.85622	0.89	0.378	-65.81471	170.3926
(8) SURAMET	131.5319	96.39839	1.36	0.178	-61.90564	324.9694
(10) México	-526.3591	1122.541	-0.47	0.641	-2778.901	1726.183
(11) EUA	-176.3534	275.4182	-0.64	0.525	-729.0205	376.3137
(12) Corea del Sur	7.562519	57.81528	0.13	0.896	-108.4523	123.5774
subregiones#c.ln_pibpc_initial						
(2) CAMET	.4108094	3.747729	0.11	0.913	-7.109559	7.931178
(3) COOMET	-3.190247	1.521483	-2.10	0.041	-6.243325	-.1371691
(4) EURAMET	-1.071379	.7014268	-1.53	0.133	-2.478895	.3361368
(5) GULFMET	-10.37108	4.854769	-2.14	0.037	-20.11289	-.6292723
(7) SADCMET	-5.372829	6.068539	-0.89	0.380	-17.55024	6.804586
(8) SURAMET	-12.69206	9.497104	-1.34	0.187	-31.74939	6.365273
(10) México	52.73335	112.7328	0.47	0.642	-173.4815	278.9482
(11) EUA	16.19642	25.10281	0.65	0.522	-34.17604	66.56889
(12) Corea del Sur	-.5551549	5.583038	-0.10	0.921	-11.75834	10.64803
Cmcs	-.0008749	.0009699	-0.90	0.371	-.0028212	.0010714
iso9001	.2876754	.0969727	2.97	0.005	.0930856	.4822653
percep_reg IC	2.334652	.7352761	3.18	0.003	.8592129	3.810092
Gii	-.0520204	.0515989	-1.01	0.318	-.1555613	.0515204
manu_pib	.0490959	.0481507	1.02	0.313	-.0475255	.1457173
exp_tec	.0579027	.0329093	1.76	0.084	-.0081345	.12394
_cons	23.99175	7.138012	3.36	0.001	9.668285	38.31522

Elaboración propia.

La incorporación de interacciones entre el logaritmo del PIB per cápita inicial y las subregiones permite identificar diferencias relevantes en los patrones de convergencia económica regional. El coeficiente global negativo (-2.288789), estadísticamente significativo (*p*-value = 0.004), indica con un alto nivel de confianza (99.6%) que los

países con ingresos iniciales más bajos tienden, en promedio, a crecer más rápido. Esto respalda claramente la hipótesis de convergencia beta planteada por Barro y Sala-i-Martin (1992).

No obstante, al analizar por subregiones, se observan variaciones significativas. Por ejemplo, la subregión 3.- COOMET (Azerbaiyán y Uzbekistán) presenta una interacción negativa de -3.190247, con un error estándar de 1.521483 y un p-value de 0.041. Este valor p (menor a 0.05) indica que la interacción es estadísticamente significativa al 95.9%, y el error estándar relativamente bajo sugiere precisión en esta estimación. De manera similar, la subregión 5.- GULFMET (Emiratos Árabes Unidos) tiene una interacción negativa más pronunciada (-10.37108), con un error estándar de 4.854769 y un p-value de 0.037, indicando significancia estadística al 96.3%. El error estándar mayor refleja una variabilidad más amplia en la estimación, aunque sigue siendo significativa. Estos resultados revelan que en Azerbaiyán, Uzbekistán y especialmente Emiratos Árabes Unidos, la relación negativa entre el PIB inicial y el crecimiento es considerablemente más fuerte que el promedio general, destacando una convergencia más acelerada y específica según el contexto regional.

Por su parte, los resultados de los regresores adicionales indican que un mayor número de certificaciones ISO 9001 se asocia positivamente con la tasa de crecimiento, lo que sugiere que la calidad y estandarización pueden impulsar la competitividad. Una mejor percepción de la regulación en la IC tiene un efecto positivo, lo que implica que una regulación efectiva y una metrología legal robusta, son factores que impulsan el desarrollo tecno-económico, al igual que las exportaciones de productos tecnológicos, aunque esta

última marginalmente no significativa ($p = 0.084$). Las demás variables ($cmcs$, $manu_pib$, gii) no alcanzan significancia estadística en este modelo, lo cual podría indicar, en el contexto de este análisis, que su impacto es menos determinante, o que, sus efectos son más complejos y no lineales.

4.4.2. Convergencia desde los factores contextuales de la IC y regionales

(Efectos marginales)

Por tanto, es conveniente extraer e interpretar los efectos marginales de las variables independientes sobre la variable dependiente, especialmente en modelos con interacciones o términos no lineales. Mientras que la regresión nos proporciona los coeficientes promedio y globales, un análisis de efectos marginales puede ayudar a comprender cómo varía el efecto de una variable, por ejemplo, el “Ln PIB PC inicial” en función de diferentes condiciones o grupos (como las subregiones) manteniendo constantes otros factores.

En esencia, el cálculo de efectos marginales ofrece una visión más detallada y contextualizada de los resultados, lo que es crucial para validar las hipótesis de convergencia y para diseñar recomendaciones de política pública ad-hoc basadas en la heterogeneidad observada. A continuación, la tabla 18 de efectos marginales que se presenta, ha sido generada utilizando el comando “margins” en Stata, con el código:

- “*margins subregiones, dydx(ln_pibpc_initial) atmeans*”

el cual se basa en el método delta para calcular la derivada parcial de la variable dependiente con respecto a los regresores. Este enfoque puntualmente permite desglosar la influencia de la variable “Ln PIB per cápita inicial” sobre la “tasa de crecimiento”, en

función de las distintas subregiones, proporcionando una interpretación más fina y específica de los efectos de las interacciones.

Tabla 18

Efectos marginales de la variable “ \ln del PIB PC inicial” sobre la tasa de “crecimiento” para cada subregión, evaluados en los promedios de las demás variables

Variables del modelo	Valor promedio (puntos de evaluación)
Logaritmo natural del PIB per cápita inicial	10.32701
Subregión 1 APMP (sin Corea del Sur)	.1025641
Subregión 2 CAMET	.0512821
Subregión 3 COOMET	.0512821
Subregión 4 EURAMET	.6410256
Subregión 5 GULFMET	.025641
Subregión 7 SADCMET	.025641
Subregión 8 SURAMET	.025641
Subregión 10 México	.025641
Subregión 11 EUA	.025641
Subregión 12 Corea del Sur	.025641
Capacidades de Medición y Calibración CMCs	315.5769
Certificaciones ISO 9001 (Proporción al PIB)	.8103017
Percepción en de la regulación en IC	.8795792
Índice Global de Innovación (GII)	46.3359
Valor agregado en la manufactura (% del PIB)	14.33173
Exportaciones de productos Hi-Tech (% de Productos manufacturados)	14.44655

Efectos marginales condicionales, resultados:

ln_pibpc_initial Subregión	dy/dx	Std. Err.	t	P> t	[95% Conf. Interval]	
(1) APMP sin Corea del Sur	-2.288789	.7483602	-3.06	0.004	-3.790484	-.7870945
(2) CAMET	-1.87798	3.593712	-0.52	0.603	-9.08929	5.33333
(3) COOMET	-5.479036	1.434175	-3.82	0.000	-8.356918	-2.601154
(4) EURAMET	-3.360168	.6204686	-5.42	0.000	-4.605229	-2.115107
(5) GULFMET	-12.65987	4.766133	-2.66	0.010	-22.22381	-3.095923
(7) SADCMET	-7.661618	6.031804	-1.27	0.210	-19.76532	4.442082
(8) SURAMET	-14.98085	9.470549	-1.58	0.120	-33.9849	4.023199
(10) México	50.44456	112.6839	0.45	0.656	-175.6723	276.5614
(11) EUA	13.90764	25.17732	0.55	0.583	-36.61436	64.42963
(12) Corea del Sur	-2.843944	5.559029	-0.51	0.611	-13.99895	8.311063

Elaboración propia.

Los resultados de la tabla 18 permiten observar los efectos marginales de la variable del “ln del PIB PC inicial” sobre la tasa de “crecimiento” para cada subregión, evaluados en los promedios de las demás variables (at means). Es decir, se estima cuánto cambia “crecimiento” en promedio por cada aumento unitario en “ln del PIB PC inicial”, diferenciando el efecto para cada categoría de la variable “subregiones”. Por ejemplo, en la subregión 3 por cada incremento unitario en el logaritmo del PIB per cápita inicial (*ln_pibpc_initial*), la tasa de crecimiento económico (“*growth*”) disminuye en promedio 5.479036 puntos, esta estimación es estadísticamente significativa ($t = -3.82$, $p < 0.001$), con un error estándar de 1.434175 y un intervalo de confianza 95 % , por su parte para la subregión 4 un aumento unitario en “*ln_pibpc_initial*” se asocia con una reducción promedio de 3.360168 puntos en la tasa de crecimiento, tambien con un resultado estadisticamente significativo ($t = -5.42$, $p < 0.001$) y un intervalo de confianza 95 %.

Estos valores se interpretan como la variación de la pendiente en la relación “ln PIB PC incial” y “crecimiento”, en cada subregión, una vez considerados los efectos globales e interactivos. Recordemos que en la regresión global, ver tabla 18, el coeficiente de “ln pibpc inicial” fue de -2.288789, esto significa que, en promedio, un aumento unitario en *ln_pibpc_initial* se asocia con una disminución en *growth* de 2.288789 unidades en el grupo de referencia, sin embargo, al incorporar las interacciones por subregión, el efecto se modifica en cada subregión, lo que se refleja en los efectos marginales calculados.

La gráfica que se muestra a continuación, figura 13, ilustra los efectos marginales derivados del análisis realizado, en ella se pueden ver los resultados para cada subregión,

no obstante, los resultados para la Subregión 10 (Méjico), que arrojaron un valor muy grande ($dy/dx = 50.44456$) no solo carecen de sentido económico, sino que reflejan un modelo mal ajustado para Méjico, el elevado error estándar y el valor $p = 0.656$, sugieren que este efecto es altamente impreciso y estadísticamente no significativo. Esto puede deberse a la heterogeneidad interna de la muestra, o a un tamaño de muestra que no permite detectar con precisión el efecto diferencial del PIB inicial sobre el crecimiento, en este caso de Méjico.

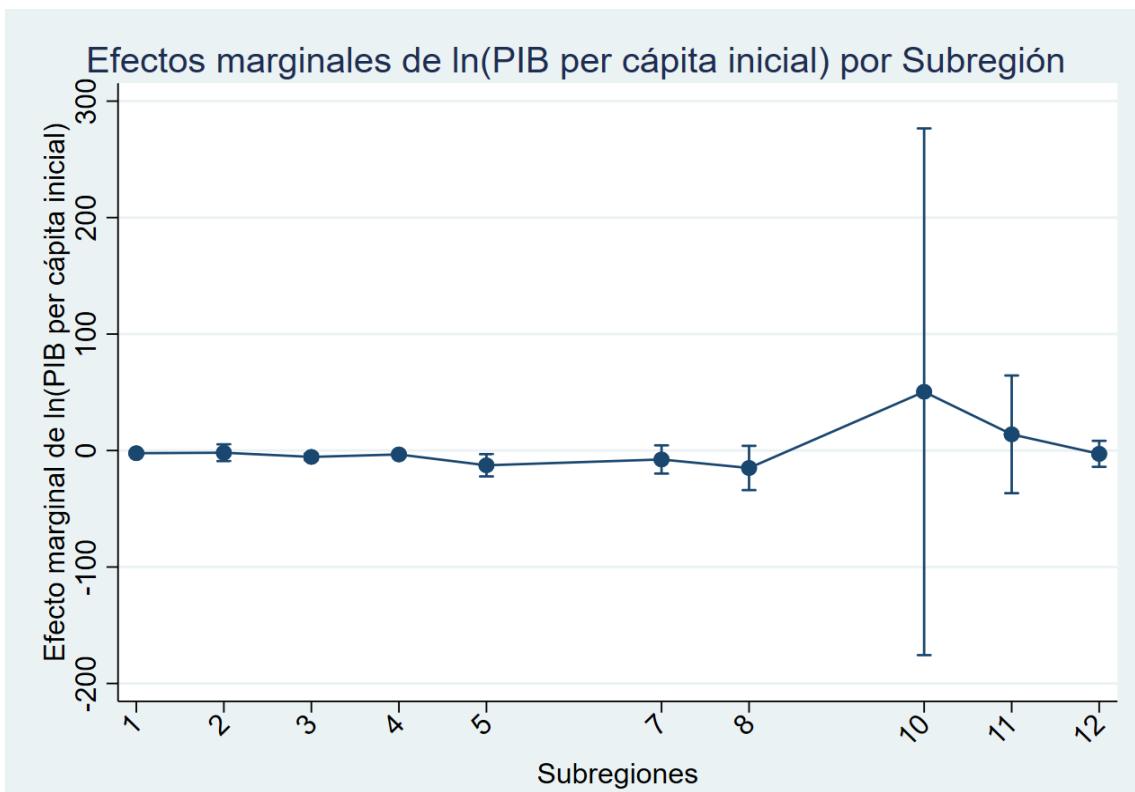


Figura 13. Efectos marginales y su respectivo error estándar, por cada subregión o país.
Elaboración propia.

4.5. Caso: México y Corea del Sur

Continuando con la comparación económica entre México y Corea del Sur, mediante el modelo GSEM y el análisis de efectos marginales (explicados previamente), se logró identificar importantes diferencias en la dinámica de crecimiento vinculada a las exportaciones tecnológicas, por un lado, en la tabla 19, se pueden apreciar las diferencias en el nivel económico entre ambos países en términos per cápita, en 2002, México registró un PIB de 20,896.77 USD, mientras que Corea alcanzó 25,189.86 USD. Para 2012, México evidenció un leve incremento a 21,365.73 USD, en contraste con Corea, que experimentó un sustancial aumento hasta 39,544.00 USD. En 2022, México se situó en 21,809.59 USD, lo que representa un crecimiento marginal del 4.3% en dos décadas, frente al dramático ascenso de Corea a 49,976.97 USD, lo que implica un crecimiento acumulado cercano al 98%. Estos resultados reflejan que, a lo largo del periodo analizado, Corea ha logrado una dinámica de crecimiento mucho más acelerada, sugiriendo la efectividad de sus políticas y canales de transmisión.

Tabla 19

Ingresos PIB per cápita por su paridad de poder adquisitivo, de México y Corea del Sur (años: 2002, 2012 y 2022)

Año de observación	PIB PC PPA (promedio)	
	México	Corea del Sur
2002	20 896.77	25 189.86
2012	21 365.73	39 544.00
2022	21 809.59	49 976.97

Fuente: Elaboración propia con datos del Banco Mundial.

No obstante, al analizar los niveles de las exportaciones de alta tecnología expresados en la tabla 20, y a pesar los buenos resultados de Corea en este apartado.

Tabla 20

Exportaciones de alta tecnología, como porcentaje del total de productos manufacturados, de México y Corea del Sur (años: 2002, 2012 y 2022)

Subregiones	Exportaciones de alta tecnología (promedio)		
	Año de observación		
	2002	2012	2022
México	20.57 %	19.57 %	19.35 %
Corea del Sur	32.22 %	31.21 %	16.94 %

Fuente: Elaboración propia con datos del Banco Mundial

Los hallazgos revelan que, su crecimiento económico robusto y estable, es prácticamente independiente del nivel porcentual de exportaciones tecnológicas (efecto marginal no significativo, líneas casi horizontales en la figura 14). En México, por su parte, el crecimiento económico muestra una marcada sensibilidad a este factor, siendo positivo y creciente conforme aumentan las exportaciones tecnológicas. La figura generada a través del comando marginsplot, despues de ejecutar el modelo:

- “*reg crecimiento c.manu_pib c.ln_pibpc_initial c.exp_tec##i.subregiones, vce(cluster subregiones)*”

y la respectiva estimación de efectos marginales por niveles específicos de exportaciones tecnológicas:

- “*margins subregiones if inlist(subregiones,10,12), at(exp_tec=(20(5)30))*”,

refleja visualmente estas diferencias significativas, en la figura 14.

Con el comando margins y agregando el código “`at(exp_tec=(20(5)30))`”, se calcularon los efectos marginales de los “regresores” sobre “crecimiento” en tres niveles representativos de “`exp_tec`” (20 %, 25 % y 30 %). Esto permite evaluar cómo varía el impacto de Ln PIB PC inicial en la tasa de crecimiento, al modificar el porcentaje de exportaciones de alta tecnología, manteniendo constantes las demás covariables en sus valores promedio.

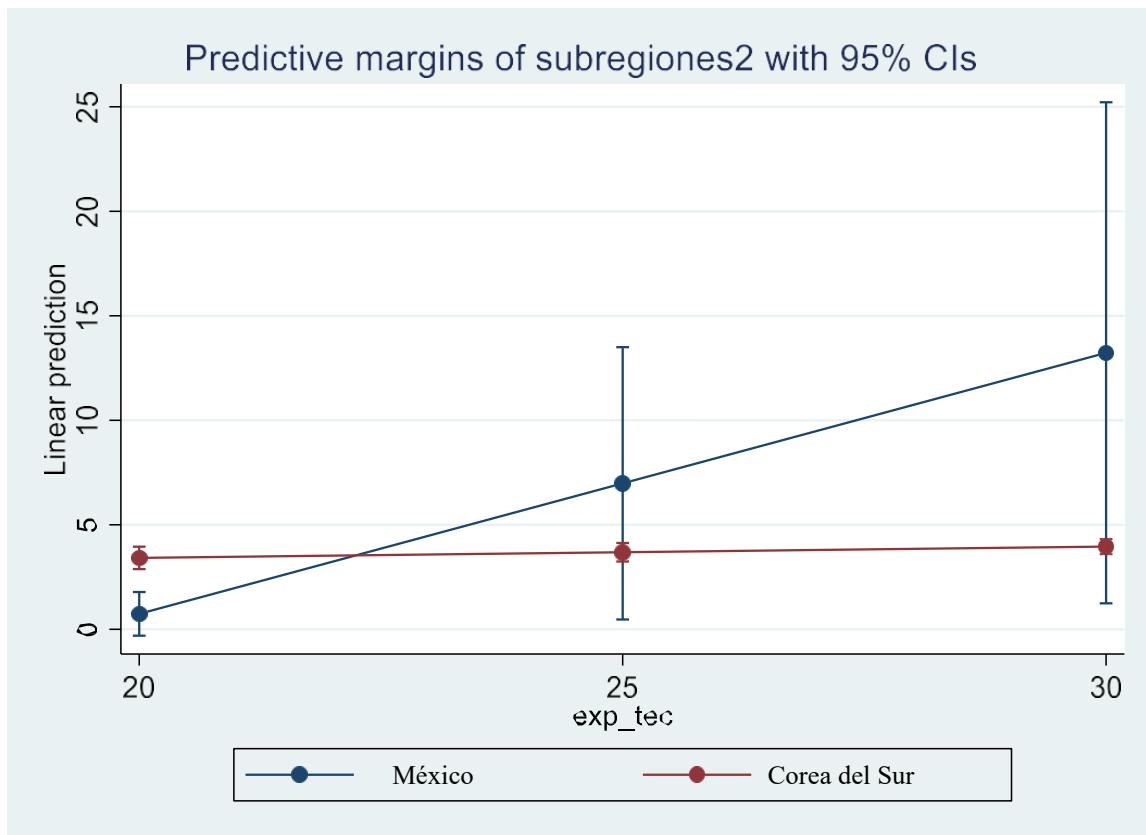


Figura 14. Efectos Marginales: De las “Exportaciones de alta tecnología en el “crecimiento” de México y Corea del Sur respectivamente. Elaboración propia.

Los resultados indican que el crecimiento económico en Corea del Sur permanece relativamente estable, independiente de variaciones sustanciales en su porcentaje de

exportaciones tecnológicas (entre 20% y 30%), con tasas de crecimiento de 4.87% y 4.91%, respectivamente. Esto refleja una economía tecnológicamente madura y menos sensible a incrementos marginales en este rubro. En contraste, México presenta un aumento notable en su tasa de crecimiento económico al elevar sus exportaciones tecnológicas del 20% al 30%, pasando de 1.18% a 1.76%. Esto evidencia una sensibilidad significativa y potencial no explotado en sectores tecnológicos avanzados.

Este contraste entre México y Corea del Sur subraya la necesidad de profundizar en el análisis, mediante un método que considere explícitamente la interdependencia entre “crecimiento” económico, “exportaciones tecnológicas” “valor agregado en manufactura” y “capacidades de medición”. Por ello, se implementó un modelo de ecuaciones GSEM, que estima simultáneamente estas relaciones, corrigiendo posibles efectos endógenos y aprovechando la correlación entre los términos de error, y posteriormente, un análisis de efectos marginales:

- *gsem (growth <- c.manu_pib c.ln_pibpc_initial i.subregiones2##c.exp_tec) ///*
(c.exp_tec <- c.manu_pib c.manu_pib##i.subregiones2) ///
(manu_pib <- c.cmcs cmcs c.cmcs##i.subregiones2), vce(cluster subregiones2)
- *margins subregiones2 if inlist(subregiones2,10,12), at(exp_tec=(20(5)30)) predict(outcome(growth))*

Esta estrategia metodológica proporciona estimaciones más precisas, reflejadas en intervalos de confianza reducidos, ver figura 15, fortaleciendo así la robustez analítica de los hallazgos y permitiendo conclusiones más sólidas y contundentes.

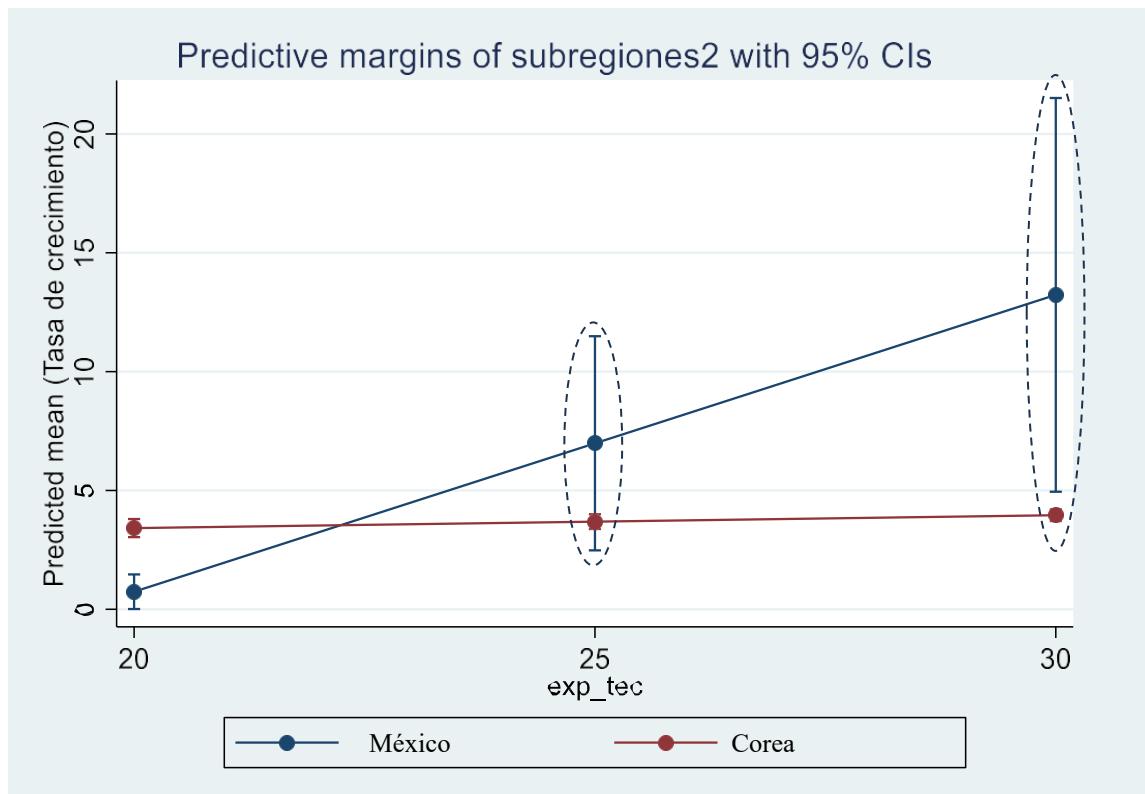


Figura 15. Efectos marginales: De las “Exportaciones de alta tecnología” en el “crecimiento” México y Corea del Sur respectivamente, con intervalos de confianza estrechos. Elaboración propia.

La siguiente tabla, no. 21, expone el promedio del “valor agregado manufacturero como porcentaje del PIB” para México y Corea del Sur en los años 2002, 2012 y 2022, sirviendo como referencia para analizar posteriormente, cómo cambios en esta variable impactan las “exportaciones de alta tecnología” y, en consecuencia, a la tasa de “crecimiento económico” en ambos países.

Tabla 21

Valor agregado en la manufactura, como porcentaje del PIB, de México y Corea del Sur (años: 2002, 2012 y 2022)

Subregiones	Valor agregado en la manufactura (promedio)		
	2002	2012	2022
México	21.04 %	18.8 %	21.47 %
Corea del Sur	26.45 %	27.83 %	25.63 %

Fuente: Elaboración propia con datos del Banco Mundial.

Ahora, aplicando el análisis de efectos marginales, aprovechando el mismo sistema de ecuaciones GSEM, se obtienen los resultados ilustrados en la figura 16, que muestran como en ambos países, incrementando el valor agregado manufacturero (del 18% al 28%), se desarrolla un comportamiento similar, con líneas casi paralelas, que se traducen en aumentos equivalentes en las exportaciones tecnológicas. No obstante, Corea del Sur mantiene tasas de crecimiento económico mayores en ambos escenarios, indicando la existencia de condiciones institucionales y tecnológicas más sólidas en comparación con México.

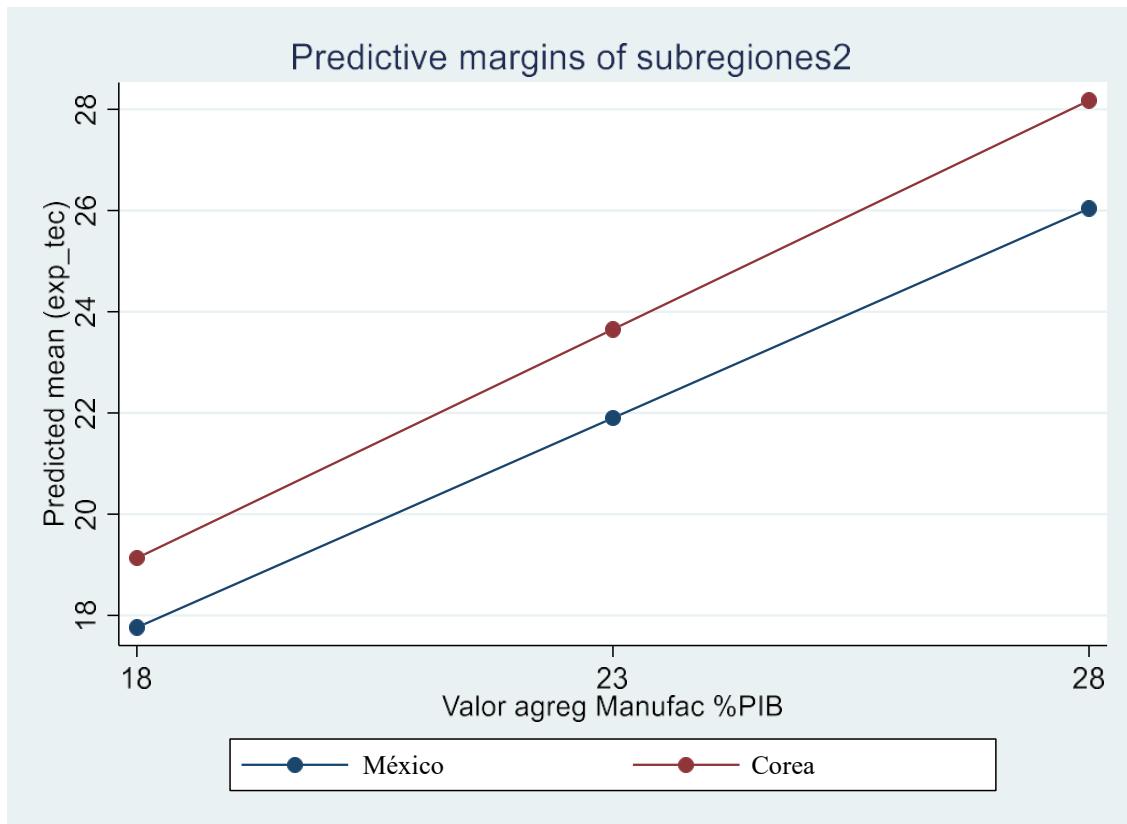


Figura 16. Efectos marginales: En las “Exportaciones de alta tecnología”, cuando varía el “Valor agregado en manufactura en un 18, 23 y 28 porciento, de México y Corea del Sur. Elaboración propia.

Finalmente, al evaluar la relación entre Capacidades de Medición y Calibración (CMCs) y el valor agregado manufacturero, se obtuvieron resultados relevantes para la política pública, de la IC y de los INMs. La tabla 22 presenta el número de Capacidades de Medición y Calibración (CMCs) que poseen México y Corea del Sur para los años 2002, 2012 y 2022. Estos datos son la premisa que permiten evaluar cuantitativamente cómo las variaciones en las CMCs impactan directamente en el valor agregado manufacturero (manu_pib), y de esta manera, indirectamente, en las exportaciones de alta

tecnología (*exp_tec*) para finalmente incidir en la tasa de crecimiento económico (*growth*). Esta evaluación se presenta en la figura 17 del análisis marginal, utilizando el mismo modelo GSEM previamente discutido, para ilustrar cómo incrementos sucesivos en las CMCs afectan diferencialmente la estructura económica de ambos países.

Tabla 22

Capacidades de Medición y Calibración de México y Corea del Sur (años: 2002, 2012 y 2022)

Subregiones	CMCs		
	2002	2012	2022
México	7	404	766
Corea del Sur	0	862	1158

Fuente: Elaboración propia con datos del KCDB del BIPM

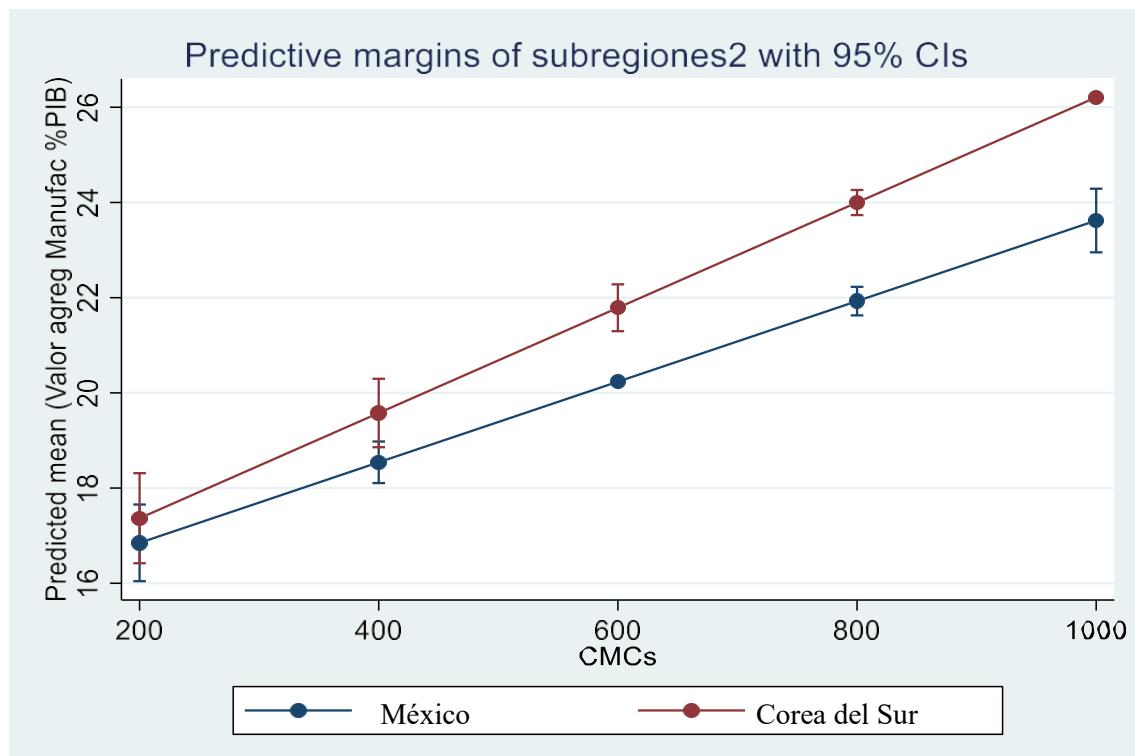


Figura 17. Efectos marginales: En el “Valor agregado de manufactura” cuando varían las “CMCs” de 200 hasta 1000, para México y Corea. Elaboración propia.

De la figura 17, se observa claramente que al aumentar las CMCs de 200 a 1000 unidades, el valor agregado manufacturero incrementa consistentemente en ambos países.

De este patrón conviene hacer dos precisiones que afinan la lectura. Primero, el efecto no solo depende solo del número de CMCs, sino de su composición y calidad metrológica: los rendimientos sobre innovación y *upgrading* manufacturero se vuelven contundentes cuando el portafolio se orienta a dominios de frontera (tiempo-frecuencia, fotónica/radiometría, electromagnetismo de alta frecuencia, nanometrología, química analítica avanzada) y cuando las incertidumbres asociadas a las magnitudes clave son bajas, en consonancia con la agenda de manufactura avanzada de EURAMET (Przyklenk et al., 2021) y con la evidencia sobre metrología integrada en procesos productivos (Archenti, 2024). Segundo, los resultados sugieren umbrales y no linealidades: por debajo de cierta masa crítica —y sin acoplamiento con I+D y capacidad de absorción— el aumento de CMCs rinde efectos modestos; una vez superado ese umbral, e interactuando con I+D, el impacto marginal sobre el desempeño manufacturero se vuelve significativamente mayor. Este hallazgo confirma el gran potencial que tiene México en la utilización estratégica de las CMCs como palanca para fortalecer su manufactura avanzada, reforzando la idea de que no es cuántas CMCs, sino cuáles y cómo se integran al sistema de innovación lo que determina el upgrading (Przyklenk et al., 2021; Archenti, 2024).

Como corolario, con los análisis econométricos aplicados, que combinan la estimación mediante OLS y el modelo de ecuaciones estructurales generalizado (GSEM) con efectos marginales calculados, se evidencian diferencias sustanciales en la

sensibilidad de las “exportaciones tecnológicas” frente a la “tasa de crecimiento” construida con el PIB per cápita, entre México y Corea del Sur. En concreto, los resultados muestran que mientras en Corea del Sur la tasa de crecimiento económico es relativamente invariante ante cambios en el porcentaje de exportaciones de alta tecnología, para México se observa un incremento significativo, en la tasa, al aumentar dicho porcentaje, lo que se traduce en una pendiente considerablemente más pronunciada en el análisis marginal (ver figura 15). Estos hallazgos indican que, en el contexto mexicano, pequeños incrementos en las exportaciones tecnológicas podrían tener un impacto significativamente mayor en el crecimiento económico, destacando así la relevancia de fortalecer selectivamente aquellas CMCs de alto impacto, de acuerdo con la teoría de convergencia condicional (Barro y Sala-i-Martin, 1992; Phillips & Sul, 2007).

4.6. CMCs en el crecimiento económico –Efecto causal compuesto–

Derivado de lo anterior, y con la finalidad de complementar el análisis sobre el impacto integral de las CMCs en el crecimiento económico, mediante una cadena causal explícita, se empleó adicionalmente el comando “*nlcom*” en Stata. Este comando permite estimar efectos compuestos, derivados de interacciones entre variables, fundamentándose matemáticamente en el método Delta, el cual ofrece aproximaciones lineales de primer orden, para funciones no lineales de parámetros estimados.

Formalmente, dado un vector de parámetros estimados:

$$\theta = \beta_1, \beta_2, \dots, \beta_k \text{ y una función no lineal de estos parámetros } f(\theta)$$

la varianza de dicha función se aproxima mediante la siguiente expresión matemática:

$$\text{Var}[f(\theta)] \approx [\nabla f(\theta)]^\top \cdot V(\theta) \cdot [\nabla f(\theta)]$$

donde $\nabla f(\theta)$ representa el vector de derivadas parciales, de la función, respecto a cada parámetro estimado, y $V(\theta)$ corresponde a la matriz de varianzas-covarianzas de los parámetros obtenidos a partir del modelo econométrico estimado.

En este contexto, se utilizó el comando “**nlcom**” para cuantificar numéricamente el efecto compuesto total de la cadena causal propuesta: “Capacidades de Medición y Calibración” sobre el “Valor Agregado Manufacturero”, este último sobre las “Exportaciones Tecnológicas”, y finalmente estas exportaciones sobre la “Tasa de Crecimiento Económico”. Específicamente, la combinación no lineal de parámetros evaluada fue definida de la siguiente forma:

$$\text{Efecto total} = (\beta_{manu_pib: cmcs}) \times (\beta_{exp_tec: manu_pib}) \times (\beta_{growth: exp_tec})$$

Al realizar esta estimación, se obtuvo un coeficiente del efecto total igual a 0.0012975, con un error estándar de 0.0002292, un estadístico z igual a 5.66, un valor p < 0.001 y un intervalo de confianza al 95% que oscila entre 0.0008483 y 0.0017468. Este resultado implica que, bajo las condiciones promedio observadas en la muestra de estudio, cada incremento adicional de 100 CMCs está asociado con un aumento aproximado del 0.12975% anual en la tasa de crecimiento económico. En términos concretos, considerando que México incrementó sus CMCs en 362 unidades durante el periodo comprendido entre 2012 (404 CMCs) y 2022 (766 CMCs), este incremento habría contribuido con un impacto adicional estimado del 0.47% en la tasa anual de crecimiento

económico nacional en dicho intervalo. Estos hallazgos confirman empíricamente el argumento central desarrollado en esta investigación acerca de la importancia estratégica y multifactorial de las CMCs, subrayando su potencial como palanca clave para acelerar la convergencia tecnológica y económica.

5. CONCLUSIONES

Este estudio examina rigurosamente cómo la Infraestructura de la Calidad (IC) incide en el desarrollo tecno-económico de México y en su convergencia con economías líderes. La evidencia obtenida confirma que una IC robusta es condición necesaria pero no suficiente: su impacto depende de enfoques estratégicos de orientación (qué capacidades priorizar), de canales de transmisión (I&D, absorción, calidad regulatoria) y de la heterogeneidad institucional y tecnológica entre países. A continuación, se presentan las conclusiones principales.:

La comparación entre México y Corea del Sur revela diferencias sustanciales en cómo el PIB per cápita inicial incide en el crecimiento económico. En el caso mexicano, el crecimiento muestra una sensibilidad mucho mayor ante incrementos en las exportaciones tecnológicas, lo que subraya la pertinencia de focalizar esfuerzos en CMCs estratégicas de alto valor agregado. El modelo GSEM robusteció estos hallazgos al reducir los intervalos de confianza e incorporar explícitamente la heterogeneidad institucional y tecnológica. En consecuencia, la política pública mexicana debiera orientar selectivamente aquellas CMCs de frontera que generen mayores retornos sobre la manufactura avanzada y aceleren la convergencia tecno-económica hacia niveles observados en economías como Corea del Sur.

El análisis evidencia un estancamiento significativo del PIB per cápita en México, lo que contrasta con el éxito de países como Corea del Sur, EUA y las naciones agrupadas en EURAMET. Este hallazgo sugiere que, aunque la IC ha contribuido a ciertos avances, los canales de transmisión hacia el desarrollo tecno-económico no han sido lo suficientemente efectivos para cerrar la brecha con las economías desarrolladas. Este fenómeno es consistente con teorías económicas que advierten sobre las dificultades que enfrentan las economías emergentes para alcanzar niveles de desarrollo comparables a los de las naciones más avanzadas, cuando no optimizan sus infraestructuras institucionales y tecnológicas.

La convergencia económica de Corea del Sur sirve como un ejemplo paradigmático de cómo una combinación de políticas de desarrollo tecnológico agresivas, fuerte inversión en I&D, y una IC bien desarrollada pueden lograr una convergencia económica significativa con los países desarrollados. Este país ha mostrado cómo, mediante un enfoque integral y coordinado, una economía emergente puede superar barreras estructurales y alcanzar niveles de prosperidad comparables a los de las economías más avanzadas en un periodo relativamente corto –20 años–.

Impacto de la IC en las “Exportaciones de Alta Tecnología”, la investigación demuestra que existe una correlación positiva significativa con las exportaciones de productos de alta tecnología, lo cual a su vez se relaciona con el crecimiento del PIB per cápita. En particular, las capacidades de medición y calibración y la calidad regulatoria destacan como factores clave para mejorar la competitividad de México en sectores de alta tecnología. No obstante, la relación no lineal observada sugiere que existen puntos

óptimos de estas capacidades, después de los cuales los retornos marginales disminuyen, lo que implica la necesidad de invertir esfuerzos con estrategia en lo relacionado a las CMCs, con miras en la teoría de los rendimientos decrecientes y la curva resultado de este estudio (ver figura 10). Asimismo, ante la incipiente Ley de la IC de México, se abre una ventana de oportunidad debido a que los preceptos de metrología legal, no considerados en la derogada Ley Federal de Metrología y Normalización, pueden coadyuvar a la regulación, en conjunto con la normalización y la evaluación de la conformidad, este tridente es un pilar para la calidad de productos y certeza en transacciones comerciales, que puede incidir en la “percepción de la calidad de regulación” que promueve el desarrollo del sector privado y, de acuerdo con los resultados, eleva las exportaciones de productos de alta tecnología por su correlación positiva lineal (ver fig. 11).

Efecto de las “patentes” y “año de creación del Instituto Nacional de Metroología” a diferencia de otros factores, no mostraron una relación significativa con el crecimiento del PIB per cápita. Esto sugiere que la mera existencia de estas instituciones o el simple registro de patentes no es suficiente para impulsar el crecimiento económico. Es crucial, por tanto, asegurar que estas instituciones operen de manera eficiente y que las patentes se traduzcan en innovaciones comercializables y aplicadas a la economía.

El análisis del “Valor Agregado en Manufactura”, revela una relación compleja con el PIB per cápita, donde los efectos son negativos en niveles bajos, pero se tornan positivos una vez que se sobrepasan ciertos umbrales, que rondan el 20–30 %. Esto destaca la necesidad de políticas que no solo aumenten la producción manufacturera, sino que también optimicen su integración en las cadenas de valor globales, aportando un valor

agregado en los productos, que esté por encima del umbral negativo (ver figura 7) y maximizando así su impacto en el crecimiento económico.

Metodología y Herramientas Estadísticas. Para el análisis cuantitativo se empleó un enfoque basado en ecuaciones estructurales, utilizando una muestra de 39 países con datos anuales recolectados en 3 puntos del tiempo, inicial año 2000, intermedio 2012 y final o actual 2022. Este enfoque permitió modelar las relaciones complejas entre las variables de la IC y el desarrollo tecno-económico, identificando efectos tanto lineales como no lineales. Los cálculos y análisis estadísticos se realizaron mediante el software STATA, cuyos códigos están disponibles en los resultados de la tesis para su consulta. Estos códigos permiten replicar los análisis, así como ajustar los modelos para explorar otras variables potencialmente relevantes.

Sobre estrategias para la Convergencia Económica, la investigación resalta la importancia de implementar estrategias más focalizadas en mejorar la calidad regulatoria y las capacidades tecnológicas, particularmente en relación con las exportaciones de alta tecnología. Además, se identifican umbrales críticos en las relaciones no lineales que deben ser superados para maximizar los beneficios de la IC. Este enfoque estratégico, junto con un uso óptimo de los recursos públicos, es esencial para impulsar a México hacia una convergencia económica con las naciones más desarrolladas.

Finalmente, el estudio confirma que una IC bien desarrollada es crucial para el crecimiento tecno-económico y la convergencia con economías más avanzadas. Sin embargo, también subraya que la efectividad de la IC depende de un enfoque estratégico que considere las interacciones no lineales y los umbrales específicos de cada variable, así

como la necesidad de integrar estas estrategias en un marco más amplio de políticas de desarrollo económico. México tiene el potencial de mejorar su posición relativa, pero esto requerirá un fortalecimiento significativo de su IC, un enfoque más efectivo en la innovación tecnológica, y una integración más profunda en las cadenas globales de valor.

Los resultados econométricos obtenidos se alinean estrechamente con los objetivos y la pregunta central de la tesis, que indaga cómo la Infraestructura de la Calidad (IC) contribuye al desarrollo tecno-económico de México y a su convergencia con economías desarrolladas. En la tesis se postuló (Hipótesis de trabajo) que las instituciones de la IC favorecen el crecimiento económico, pero requieren canales de transmisión sólidos y ciertas condiciones habilitadoras para lograr convergencia con países desarrollados. Los hallazgos confirman esta premisa: variables vinculadas a la IC resultaron significativas y con signos esperados, lo que sugiere que una IC fuerte impulsa el desempeño tecnológico (exportaciones de alta tecnología, valor agregado manufacturero) y, a través de estos canales, al PIB per cápita.

En particular, los resultados respaldan las hipótesis específicas planteadas. La Hipótesis Secundaria (1) proponía que instituciones y canales de la IC (calidad regulatoria, certificaciones, capacidades metrológicas), junto con factores de innovación (patentes, índice de innovación, gasto en I&D), tienen un impacto positivo en la convergencia tecno-económica. Efectivamente, en el modelo econométrico dichas variables de IC (p. ej. calidad regulatoria, certificaciones ISO, CMCs) mostraron efectos positivos significativos sobre las exportaciones de productos de alta tecnología (un canal clave identificado) A su vez, el Índice Global de Innovación (GII) y el gasto en I&D (representando la capacidad

innovadora, otro canal de transmisión clave). También se asociaron positivamente con mejores resultados tecnológicos (exportaciones de alta tecnología), coherente con lo esperado, Estos hallazgos indican que el fortalecimiento de los *canales de transmisión* de la IC –como el entorno regulatorio, la difusión de estándares de calidad y la capacidad tecnológica– se traduce en mejoras en indicadores tecno-económicos, tal como planteaba la hipótesis. Por otro lado, variables cuya relación no se anticipaba débil o indirecta (e.g. número de patentes, antigüedad del instituto nacional de metrología) resultaron no significativas. Consistente con la idea de que por sí solas no impulsan convergencia si no van acompañadas de mejoras institucionales más amplias.

La Hipótesis Secundaria (2) afirmaba que existe una relación significativa entre las exportaciones de alta tecnología, el valor agregado manufacturero y el nivel de PIB per cápita de México. Los resultados apoyan esta hipótesis: la proporción de exportaciones de alta tecnología mostró un efecto positivo robusto sobre el crecimiento del PIB per cápita (medido como logaritmo del PIBpc), mientras que la contribución del valor agregado manufacturero presentó una relación no lineal con el PIB per cápita (es decir, su impacto varía según su nivel). Esto implica que mayores exportaciones tecnológicas y un sector manufacturero más sofisticado están asociados con un PIB per cápita más alto, cumpliendo la expectativa de hipótesis.

En el caso de México, la evidencia econométrica sugiere que el rezago en dichos canales –participación relativamente baja de exportaciones de alta tecnología y estancamiento manufacturero– ha contribuido a su falta de convergencia con economías líderes, mientras que países como Corea del Sur sí lograron potenciar estos factores y

converger. De hecho, la tesis documenta que México permanece estancado en PIB per cápita, a diferencia de Corea del Sur que converge rápidamente hacia los niveles de EUA y Alemania, respaldando la idea de que el éxito en las variables clave de IC y canales de transferencia, marcan la diferencia para lograr convergencia.

Los resultados econométricos y los coeficientes estimados muestran que una mejor IC está asociada con un aumento del PIB per cápita vía mayor innovación y competitividad, respondiendo a la pregunta de investigación. Así, la evidencia empírica respalda las hipótesis de la tesis: una IC fortalecida impulsa el desarrollo tecno-económico y puede ser catalizador de convergencia, mientras que su ausencia o debilidad contribuye al atraso relativo de México frente a economías desarrolladas.

La dispersión de los efectos marginales, para la subregión 10 (México), puede explicarse por varios factores, relacionados con la heterogeneidad interna de la economía mexicana y la forma en que se capturan los efectos en el modelo. En primer lugar, al tratarse de un único país, el promedio utilizado para calcular los efectos marginales (mediante *atmeans*) puede enmascarar diferencias significativas entre subsectores o períodos dentro de México, lo que genera una mayor variabilidad en el coeficiente estimado de “Ln(PIB per cápita inicial)”. Además, la amplia dispersión en los valores sugiere que la relación entre el ingreso inicial y el crecimiento económico en México, es menos estable y más sensible a factores no observados, o a la presencia de *outliers*, lo cual es coherente con estudios de convergencia que destacan la heterogeneidad estructural y los desequilibrios institucionales en economías en vías de desarrollo (ver Barro & Sala-i-Martin, 1992; Gutiérrez et al., 2019).

En resumen y para responder a la pregunta de investigación acerca de qué le falta a México para iniciar un proceso convergente con países desarrollados: el país requiere fortalecer factores internos clave como reducir la heterogeneidad económica interna, gestionar la variabilidad sectorial y mitigar desequilibrios institucionales que actualmente limitan el aprovechamiento pleno de su infraestructura de calidad.

Por último, pero no menos importante, se encontró que un incremento unitario en las CMCs se asocia cuantitativamente con un aumento promedio del 0.13% en la tasa de crecimiento económico, al medir su incidencia indirecta en la relación:

- “CMCs” => aumenta “Valor agregado en la manufactura => aumenta “Exportaciones de alta tecnología” => “Tasa de crecimiento económico”

destacando su función multiplicadora en la mejora de la infraestructura de calidad, la competitividad tecnológica y el crecimiento económico de un país.

Con estos resultados se cumple el objetivo específico, de contrastar los canales de transmisión, identificando mejores prácticas y arreglos institucionales asociados a impactos más efectivos; Al mismo tiempo, se confirma que las brechas entre México y las economías tecnológicamente avanzadas no son solo cuantitativas, sino cualitativas y estructurales. En consecuencia, el cierre de la brecha exige focalización sectorial y una reorientación selectiva hacia CMCs de frontera con mayores efectos multiplicadores, articuladas con I&D y capacidades de absorción. Con base en la evidencia econométrica (incrementos medibles de la tasa de crecimiento tras ajustes recientes en CMCs), en la experiencia comparada (p. ej., Corea del Sur) y en la literatura de convergencia

condicional, se estima un horizonte de 5 a 15 años para observar resultados tangibles de transformación tecno-económica.

6. REFERENCIAS

Akerlof, G. (1970). The market for "lemons": Quality uncertainty and the market mechanism. *The Quarterly Journal of Economics*, 84(3), 488-500. <https://doi.org/10.2307/1879431>

Archenti, A., Gao, W., Donmez, M. A., Savio, E., & Irino, N. (2024). Integrated metrology for advanced manufacturing. *CIRP Annals*, 73(2), 639–665. <https://doi.org/10.1016/j.cirp.2024.05.003>

Arellano, M. (2003). *Panel data econometrics*. Advanced Texts in Econometrics. Oxford University Press.

Banco Mundial. (s.f.). Exportaciones de productos de alta tecnología (% de las exportaciones de productos manufacturados) <https://datos.bancomundial.org/indicador/TX.VAL.TECH.MF.ZS?view=chart>

Banco Mundial. (s.f.). Gasto en investigación y desarrollo (% del PIB). <https://datos.bancomundial.org/indicador/GB.XPD.RSDV.GD.ZS>

Banco Mundial. (s.f.). Gasto público en educación, total (% del PIB). <https://data.worldbank.org/indicator/SE.XPD.TOTL.GD.ZS>

Banco Mundial. (s.f.). PIB per cápita, PPA (\$) a precios internacionales constantes de 2017) <https://datos.bancomundial.org/indicator/NY.GDP.PCAP.PP.KD>

Banco Mundial. (s.f.). Población entre 15 y 64 años (% del total).

<https://data.worldbank.org/indicator/SP.POP.1564.TO.ZS>

Banco Mundial. (s.f.). Regulatory Quality: Estimate. <https://bit.ly/4dujmaL>

Banco Mundial. (s.f.). Solicitudes de patentes, residentes.

<https://data.worldbank.org/indicator/IP.PAT.RESD>

Banco Mundial. (s.f.). Valor agregado en manufactura (%PIB)

<https://databank.worldbank.org/source/world-development-indicators/Series/NV.IND.MANF.ZS>

Baraldi, C., Corsi, G., & Esposito, E. (2021). *Unlocking Luhmann: A keyword introduction to systems theory*. Bielefeld University Press.

Barro, R., & Sala-i-Martin, X. (1992). Convergence. *Journal of Political Economy*, 100(2), 223-251. <https://www.jstor.org/stable/2138606>

Bartkowska, M., & Riedl, A. (2012). Regional convergence clubs in Europe: Identification and conditioning factors. *Economic Modelling*, 29(1), 22-31. <https://doi.org/10.1016/j.econmod.2011.01.013>

Baumol, W. J. (1986). Productivity growth, convergence, and welfare: What the long-run data show. *The American Economic Review*, 76(5), 1072-1085. <https://www.jstor.org/stable/1816469>

Beltrán, J. (2012). *Cálculo del p-valor en pruebas de bondad de ajuste*. Universidad Autónoma Metropolitana.

Bernard, A., & Durlauf, S. (1995). Convergence in international output. *Journal of Applied Econometrics*, 10(2), 97-108. <https://doi.org/10.1002/jae.3950100202>

Bernard, A., & Jones, C. I. (1996). Productivity across industries and countries: Time series theory and evidence. *Review of Economics and Statistics*, 78(1), 135-146. <https://doi.org/10.2307/2109853>

Blind, K. (2013). The impact of standardization and standards on innovation. Nesta Working Paper.

Bond, S. (2002). Dynamic panel data: A guide to micro data methods and practice. *Portuguese Economic Journal*, 78, 141-162. <https://doi.org/10.1007/s10258-002-0009-9>

Bureau International des Poids et Mesures. (s.f.). Key Comparison Database (KCDB): Calibration and Measurement Capabilities (CMCs) – Public Statistics. <https://www.bipm.org/kcdb/comparison/statistics/key>

Calvert, J., & Senker, J. (2004). Biotechnology innovation systems in two small countries: Comparison of Portugal and Ireland. *Science & Public Policy*, 31(5), 359-370.

Campos-Vazquez, R., Lustig, N., & Scott, J. (2021). Mexico: Labour markets and fiscal redistribution 1989-2014. In C. Gradín, M. Leibbrandt, & F. Tarp

- (Eds.), *Inequality in the developing world* (pp. 145-170). Oxford University Press. <https://doi.org/10.1093/oso/9780198863960.003.0008>
- Carayannis, E., et al. (2008). *Innovation systems in small catching-up economies: New perspectives on practice and policy* (pp. 3-58). Springer.
- Carbonell, J., & Del Campo, M. (2012). La metrología, motor de innovación tecnológica y desarrollo industrial. *E-medida, Revista española de metrología*, 1. <https://www.e-medida.es/numero-1/la-metrologia-motor-de-innovacion-tecnologica-y-desarrollo-industrial/>
- Castro, E. (2023). *Infraestructura de metrología y acreditación como indicador de los sistemas regionales de innovación en México* [Tesis doctoral, Universidad Autónoma de Querétaro].
- Chang, H.-J. (2006). Industrial policy in East Asia: Lessons for Europe. *EIB Papers*, 11(2), 106-132. <https://ap1.sib.uc.pt/bitstream/10316.2/112459/1/507-06.pdf>
- Cole, D. A., & Preacher, K. J. (2014). Manifest variable path analysis: Potentially serious and misleading consequences due to uncorrected measurement error. *Psychological Methods*, 19(2), 300-315.
- Czubala, W., Shepherd, B., & Wilson, J. S. (2007). *Help or hindrance? The impact of harmonized standards on African exports* (Policy Research Working Paper No. 4400). The World Bank.

De Carlo, M. (1997). On the behavior of heavy tailed distributions under reinsurance. *North American Actuarial Journal*, 1(3), 1-14.

DiMaggio, P., & Powell, W. (2001). *El nuevo institucionalismo organizacional*. Fondo de Cultura Económica.

Durlauf, S., & Johnson, P. (1995). Multiple regimes and cross-country growth behaviour. *Journal of Applied Econometrics*, 10(4), 365-384. <https://doi.org/10.1002/jae.3950100404>

Dzionek-Kozlowska, J., & Matera, R. (2021). Institutions without culture: On Daron Acemoglu and James Robinson's theory of economic development. *Journal of Economic Issues*, 55(3), 656-676. <https://doi.org/10.1080/00213624.2021.1945885>

Evans, P., & Karras, G. (1996). Convergence revised. *Journal of Monetary Economics*, 37(2), 249-265. [https://doi.org/10.1016/S0304-3932\(96\)90036-7](https://doi.org/10.1016/S0304-3932(96)90036-7)

Félix, J. (2023). Convergencia económica en los principales municipios manufactureros de México: 1960-2018. *Economía, Sociedad y Territorio*, 13(73), 779-807. <http://dx.doi.org/10.22136/est20231912>

Fisher, W., Jr., & Massengill, P. (2022). *Explanatory models, unit standards, and personalized learning in educational measurement*. Springer.

Friedland, R., & Alford, R. (2001). Introduciendo de nuevo a la sociedad símbolos, prácticas y contradicciones institucionales. En W. Powell & P. DiMaggio (Eds.), *El nuevo institucionalismo organizacional* (pp. 45-78). Fondo de Cultura Económica.

Friedman, M. (1994). Do old fallacies ever die? *Journal of Economic Literature*, 30(4), 2129-2132.

Galor, O. (1996). Convergence? Inference from theoretical models. *Economic Journal*, 106(437), 1056-1069. <https://doi.org/10.2307/2235378>

Garcia, J., Gómez, G., & Mouronte, M. (2023). Convergence speed and growth patterns: A dynamical systems approach. *Computational Economics*, 65, 615-636. <https://doi.org/10.1007/s10614-023-10434-y>

German-Soto, V., & Gluschenko, K. (2023). Long-term regional convergence in Mexico: A new look. *Review of Development Economics*, 27(2), 963-991. <https://doi.org/10.1111/rode.12959>

Guasch, J. L. (2007). *Quality systems and standards for a competitive edge*. The World Bank.

Gutiérrez, J., et al. (2019). Convergencia económica mundial: una visión desde el coeficiente de GINI 1990-2017. *Revista Facultad de Ciencias Contables, Económicas y Administrativas*, 9(12), 127-138.

Hair, J., et al. (2022). *A primer on partial least squares structural equation modeling (PLS-SEM)* (3rd ed.). SAGE.

Hatch, M. J. (1997). *Organization theory: Modern, symbolic, and postmodern perspectives*. Oxford University Press.

Henson, S., & Humphrey, J. (2010). Understanding the complexities of private standards in global agri-food chains as they impact developing countries. *Journal of Development Studies*, 46(9), 1628–1646.
<https://doi.org/10.1080/00220381003706494>

Hewitt-Dundas, N. (2006). Resource and capability constraints to innovation in small and large plants. *Small Business Economics*, 26(3), 257-277. <https://doi.org/10.1007/s11187-005-2140-3>

International Organization for Standardization. (s.f.). Survey of certifications to management system standards - Full results. <https://bit.ly/4jeHdMQ>

Islam, N. (2003). What we learnt from the convergence debate. *Journal of Economic Surveys*, 17(3), 309-362. <https://doi.org/10.1111/1467-6419.00197>

Kaarls, R. (2003). *Evolving needs for metrology in trade, industry and society, and the role of the BIPM*. Bureau International des Poids et Mesures (BIPM).

- Kose, V. (2000). Competition and cooperation among national metrology institutes for achieving an efficient and sustainable global metrology. *Metrologia*, 37(1), 75-80. <https://doi.org/10.1088/0026-1394/37/1/11>
- Krugman, P. (1991). *Desarrollo, geografía y teoría económica*. Antoni Bosch.
- Krugman, P. (1994). Competitiveness: A dangerous obsession. *Foreign Affairs*, 73(2), 9-17.
- Leyva, O., & Olague, J. (2014). *Métodos y técnicas cualitativas y cuantitativas aplicables a la investigación en ciencias sociales*. Universidad Autónoma de Nuevo León.
- Li, Q., & Papell, D. (1999). Convergence of international output: Time series evidence for 16 OECD countries. *International Review of Economics & Finance*, 8(3), 267-280. [https://doi.org/10.1016/S1059-0560\(99\)00020-9](https://doi.org/10.1016/S1059-0560(99)00020-9)
- Link, A. N. (1996). *Evaluation public sector research and development*. Praeger.
- Link, A. N., & Scott, J. T. (1997). Evaluation technology-based public institutions: Lessons from the National Institute of Standards and Technology. In *Policy evaluation in innovation and technology towards best practices* (pp. 45-68). OECD.
- Morin, A., & Langle, M. (2024). Neoliberalismo y gobernanza, reflexiones para América Latina. *Análisis Económico*, 39(101), 197-215. <https://doi.org/10.24275/uam/azc/dcsh/ae/2024v39n101/Morin>

Navarro, A., Arrazola, M., & De Hevia, J. (2023). Determinants of high-tech exports: New evidence from OECD countries. *Journal of the Knowledge Economy*, 15, 1103-

1117. <https://doi.org/10.1007/s13132-023-01116-z>

North, D. C. (1989). Institutions and economic growth: An historical introduction. *World Development*, 17(9), 1319-1332. [https://doi.org/10.1016/0305-750X\(89\)90075-2](https://doi.org/10.1016/0305-750X(89)90075-2)

North, D. C. (1990). *Institutions, institutional change, and economic performance*. Cambridge University Press.

Ollivier-Fierro, J. O., & Thompson-Gutiérrez, P. I. (2017). *Guía para elaborar trabajos de investigación en ciencias económico-administrativas*. Universidad Autónoma de Chihuahua.

Olu-lawal, K., et al. (2024). The role of precision metrology in enhancing manufacturing quality: A comprehensive review. *Engineering Science & Technology Journal*, 5(3), 728-739. <https://doi.org/10.51594/estj/v5i3.868>

Osorio, M. I. (2019). ¿Es procíclica la convergencia del crecimiento económico de América Latina? *Investigación económica*, 78(307), 33-53. <http://dx.doi.org/10.22201/fe.01851667p.2019.307.68446>

Parsons, T., & Shils, E. (1951). *Hacia una teoría general de la acción*. Kapelusz.

Phillips, P., & Sul, D. (2007). Transition modeling and econometric convergence tests. *Econometrica*, 75(6), 1771-1855. <https://doi.org/10.1111/j.1468-0262.2007.00811.x>

Phillips, P., & Sul, D. (2009). Economic transition and growth. *Journal of Applied Economics*, 24(7), 1153-1185. <https://doi.org/10.1002/jae.1080>

Przyklenk, A., Balsamo, A., O'Connor, D., Evans, A., Yandayan, T., Akgöz, S., Flys, O., Zelený, V., Czułek, D., Phillips, D., Meli, F., Ragusa, C., & Bosse, H. (2021). New European Metrology Network for Advanced Manufacturing. *Measurement Science and Technology*, 32(11), 111001. <https://doi.org/10.1088/1361-6501/ac0d25>

Putnam, R. D. (1993). *Making democracy work: Civic traditions in modern Italy*. Princeton University Press.

Quah, D. (1993). Galton's fallacy and tests of the convergence hypothesis. *Scandinavian Journal of Economics*, 95(4), 427-443. <https://doi.org/10.2307/3440905>

Rabalino, G. (2021). Modelo Neoclásico de crecimiento económico de Solow-Swan: Teoría y evidencia. *Repique: Revista de Ciencias Sociales*, 3(2), 98-115.

Rodrik, D. (2016). Premature deindustrialization. *Journal of Economic Growth*, 21(1), 1–33. <https://doi.org/10.1007/s10887-015-9122-3>

- Romero, J. (2001). Estudio introductorio. En W. Powell & P. DiMaggio (Eds.), *El nuevo institucionalismo organizacional* (pp. 15-44). Fondo de Cultura Económica.
- Rosas, B. (2021). *El efecto del género del director general en las decisiones financieras empresariales* [Tesis doctoral, Universidad Autónoma de Querétaro].
- Salmerón, M. H., & Romero-Ávila, D. (2015). *Convergence in output and its sources among industrialised countries*. Springer.
- Sanetra, C., & Marbán, R. (2007). *La respuesta a los retos globales de calidad: Una infraestructura nacional de calidad*. Physikalisch Technische Bundesanstalt.
- Sanetra, C., et al. (2004). *Study on metrology, standards, testing and quality assurance (MSTQ) in Thailand*. Physikalisch Technische Bundesanstalt.
- Scott, W. R. (2001). Retomando los argumentos institucionales. En W. Powell & P. DiMaggio (Eds.), *El nuevo institucionalismo organizacional* (pp. 79-110). Fondo de Cultura Económica.
- Stiglitz, J. (2000). *La economía del sector público*. Antoni Bosch.
- Stiglitz, J. (2006). *Making globalization work*. Norton.
- Stock, J., & Watson, M. (2011). *Introduction to econometrics* (3rd ed.). Pearson.
- Swann, P. (2010). The Economics of Standardization: An Update. UK Department for Business, Innovation and Skills (BIS).

<https://assets.publishing.service.gov.uk/media/5a790abd40f0b679c0a0812d/10-1135-economics-of-standardization-update.pdf>

Temple, P., Blind, K., Jungmittag, A., Spencer, C., & Swann, G. (2005). *The empirical economics of standards*. DTI Economics Paper.

Trajković, A., & Milošević, I. (2016). Model to determine the economic and other effects of standardization: A case study in Serbia. *Total Quality Management & Business Excellence*, 29(5-6), 673-685. <https://doi.org/10.1080/14783363.2016.1225496>

Tunzelmann, N. V. (2003). Network alignment and innovation in transition economies. *Economic Thought Journal*, 3, 39-67.

Vilas, C. (1999). Seis ideas falsas sobre la globalización. En J. Saxe-Fernández (Coord.), *Globalización: Crítica a un paradigma* (pp. 45-68). Plaza y Janés.

Wooldridge, J. (2010). *Econometric analysis of cross section and panel data* (2nd ed.). MIT Press.

World Intellectual Property Organization. (s.f.). Global Innovation Index.
https://www.wipo.int/global_innovation_index/en/

Zerka, P. (2010). *Turning gaps into niches: For a new innovation paradigm in Central Europe*. demosEUROPA.

7. LEYES, MANUALES, PERIODICOS E INFORMES:

CEPAL (2025). Superar las trampas del desarrollo de América Latina y el Caribe en la era digital: el potencial transformador de las tecnologías digitales y la inteligencia artificial. <https://www.cepal.org/es/publicaciones/80841-superar-trampas-desarrollo-america-latina-caribe-la-era-digital-potencial>

Community Innovation Survey (2006). *CIS 2006 synthesis quality reports*. https://ec.europa.eu/eurostat/cache/metadata/Annexes/inn_cis2_esms_an_2.pdf

Hatzichronouglo, T. (1997). *Classification* (OECD Science, Technology and Industry Working Papers No. 1997/02). OECD. <https://doi.org/10.1787/134337307632>

Ley de Infraestructura de la Calidad (2020, 1 de julio). *Diario Oficial de la Federación Mexicana*.

Organisation for Economic Co-operation and Development (2003). *OECD science, technology and industry scoreboard 2003*. https://doi.org/10.1787/sti_scoreboard-2003-en

Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial (2017). *Infraestructura de la calidad: Confianza para el comercio*. https://www.unido.org/sites/default/files/2017-02/QI_Spanish_final_0.pdf

8. Apéndice A: Siglas y abreviaturas

APMP, Programa de Metrología de Asia Pacífico

BIPM, Oficina Internacional de Pesas y Medidas

CENAM, Centro Nacional de Metrología

CGPM, Conferencia General de Pesas y Medidas

CIPM, Comité Internacional de Pesas y Medidas

CMCs, Capacidades de Medición y de Calibración

COOMET, Cooperación Euroasiática de Institutos Nacionales de Metrología

CPI, Centro Público de Investigación

CT, Canales de Transmisión

EA, Ensayo de Aptitud

EURAMET, Asociación Europea de Institutos Nacionales de Metrología

IC, Infraestructura de la Calidad

IES, Instituciones de Educación Superior

ILAC, Cooperación de Internacional para la Acreditación de Laboratorios

INM, Instituto Nacional de Metrología

IPI, Institutos Públicos de Investigación

ISO, Organización Internacional de Normalización

MRA, Arreglo de reconocimiento Mutuo

OIML, Organización Internacional de Metrología Legal

ORM, Organización Regional de Metrología

SIM, Sistema Interamericano de Metrología

9. *Apéndice B: Datos del banco mundial utilizados*

Tabla B1. Ranking del PIB per cápita PPA 1990–2021, México, Corea del Sur y Alemania.

Años	México		Corea del Sur		Alemania	
	Ranking	U.S. Dollar	Ranking	U.S. Dollar	Ranking	U.S. Dollar
1990	40	\$ 15,355.00	48	\$ 12,656.00	14	\$ 36,699.00
1991	40	\$ 15,689.00	46	\$ 13,882.00	14	\$ 38,294.00
1992	43	\$ 15,931.00	45	\$ 15,590.00	15	\$ 38,734.00
1993	42	\$ 15,930.00	45	\$ 15,436.00	15	\$ 38,105.00
1994	42	\$ 16,402.00	41	\$ 16,698.00	15	\$ 38,881.00
1995	47	\$ 15,087.00	41	\$ 18,120.00	16	\$ 39,366.00
1996	48	\$ 15,825.00	41	\$ 19,364.00	16	\$ 39,568.00
1997	50	\$ 16,618.00	43	\$ 20,367.00	17	\$ 40,218.00
1998	50	\$ 17,184.00	45	\$ 19,184.00	18	\$ 41,022.00
1999	50	\$ 17,370.00	44	\$ 21,232.00	17	\$ 41,769.00
2000	51	\$ 17,942.00	45	\$ 22,963.00	20	\$ 42,928.00
2001	50	\$ 17,596.00	45	\$ 23,893.00	19	\$ 43,576.00
2002	53	\$ 17,324.00	44	\$ 25,591.00	20	\$ 43,417.00
2003	57	\$ 17,315.00	45	\$ 26,260.00	21	\$ 43,089.00
2004	58	\$ 17,731.00	45	\$ 27,515.00	24	\$ 43,605.00
2005	62	\$ 17,883.00	45	\$ 28,640.00	24	\$ 43,949.00
2006	62	\$ 18,434.00	44	\$ 29,990.00	23	\$ 45,678.00
2007	65	\$ 18,610.00	45	\$ 31,569.00	22	\$ 47,100.00
2008	65	\$ 18,586.00	45	\$ 32,275.00	22	\$ 47,643.00
2009	69	\$ 17,387.00	43	\$ 32,363.00	21	\$ 45,044.00
2010	69	\$ 18,036.00	36	\$ 34,394.00	21	\$ 46,999.00
2011	67	\$ 18,432.00	35	\$ 35,388.00	18	\$ 49,757.00
2012	68	\$ 18,838.00	33	\$ 36,049.00	18	\$ 49,872.00
2013	68	\$ 18,844.00	32	\$ 37,021.00	19	\$ 49,954.00
2014	68	\$ 19,142.00	32	\$ 37,967.00	18	\$ 50,846.00
2015	66	\$ 19,543.00	33	\$ 38,829.00	19	\$ 51,159.00
2016	67	\$ 19,831.00	33	\$ 39,815.00	19	\$ 51,880.00
2017	68	\$ 20,032.00	33	\$ 40,957.00	18	\$ 53,071.00
2018	69	\$ 20,278.00	32	\$ 41,966.00	18	\$ 53,431.00
2019	70	\$ 20,065.00	31	\$ 42,759.00	18	\$ 53,874.00
2020	68	\$ 18,328.00	27	\$ 42,397.00	18	\$ 51,840.00
2021	70	\$ 19,086.00	28	\$ 44,232.00	18	\$ 53,180.00

Tabla B2. Base de datos de trabajo

Año de observación	Países (código)	Países	RMOs (Código)	Regional Metrology Organization	Subregiones (código)	Subregiones	Año de creación	CMCs	Certificados ISO 9001	Certificados ISO 9001 entre PIB PC PPA	Percepción de la regulación en la IC	Gasto en I&D %PIB	Gasto en Edu %PIB	Población entre 15 y 64 años %total	Patentes	Patentes entre PIB PC PPA	GII	Valor agregado de Manufactura %PIB	Exportaciones de Prod Alta Tec % productos manufac	PIB PC PPA (\$ 2017)
2002	1	Alemania	4	EURAMET	4	EURAMET	1887	1	52347	0.94716964	1.4561435	2.40982008	4.06815243	67.9599139	51736	1.03893281	54.89	20.5459701	15.4555365	49797.253
2002	2	Argentina	6	SIM	8	SURAMET	1957	0	7112	0.25611584	0.18229239	0.43884	4.58030987	62.0778819	1062	0.04746785	35.36	16.4942719	6.96171324	22373.0368
2002	3	Austria	4	EURAMET	4	EURAMET	1923	0	4330	0.06911001	1.47547555	1.88601995	5.58880997	67.5406316	1961	0.03580912	50.75	18.2149671	12.9838404	54762.5796
2002	4	Azerbaiyán	3	COOMET	3	COOMET	2017	32	243	0.01376228	-0.85986662	0.336	3.85399008	63.4873815	203	0.03643668	29.17	5.29238465	4.30953099	5571.3095
2002	5	Bélgica	4	EURAMET	4	EURAMET	1934	65	3522	0.06110175	1.15296984	1.93619001	5.53273296	65.590246	577	0.01126638	49.05	17.5359745	8.46280132	51214.3371
2002	6	China	2	APMP	1	APMP	1955	19	292514	34.1444146	-0.3249552	0.89315999	1.88803995	68.5454724	25346	6.35387484	46.43	31.97507	30.1508023	3989.0619
2002	7	Corea, República de	2	APMP	1	APMP	1975	-2	11978	0.33832287	0.56536758	2.12519002	3.36929011	71.876099	72831	2.89128271	53.68	26.4483735	32.2249312	25189.8577
2002	8	Costa Rica	6	SIM	2	CAMET	1973	-19	280	0.01530053	0.69772738	0.411135001	4.666695023	63.2719453	28	0.00199431	37.91	18.3175432	45.4447177	14039.9128
2002	9	Croacia	4	EURAMET	4	EURAMET	1991	0	2524	0.08169018	-0.11870168	1.04250002	6.11270857	67.1425484	337	0.01594925	37.98	16.6803374	9.50048668	21129.5161
2002	10	Dinamarca	4	EURAMET	4	EURAMET	1985	2	1858	0.02950978	1.71064365	2.1861999	8.0843401	66.6872603	1730	0.02976651	56.96	14.1448498	18.3153444	58119.0084
2002	11	Emiratos Árabes Unidos	5	GULFMET	5	GULFMET	2014	4	4899	0.06974064	0.68902856	0.48622	3.86020994	76.9276742	25	0.00025326	41.99	9.07200029	3.30548953	98713.8363
2002	12	Eslovenia	4	EURAMET	4	EURAMET	1995	0	1481	0.0354048	0.67272246	1.35982001	6.13048267	70.0784745	307	0.01007587	45.07	21.66002	5.68536505	30468.8336
2002	13	España	4	EURAMET	4	EURAMET	1990	-2	32526	0.7281724	1.23809195	0.88275999	4.16604996	68.5961601	2710	0.06849455	43.81	16.2325905	5.60358516	39565.1934
2002	14	Estados Unidos	6	SIM	6	NORAMET	1901	9	33051	1.9609E-09	1.69612086	2.61983991	6.08564949	66.256966	164795	2.97677001	56.57	15.115075	29.8795676	55360.3401
2002	15	Estonia	4	EURAMET	4	EURAMET	1875	0	1119	0.03246832	1.27151811	0.60000002	5.3394599	67.382299	13	0.00062895	49.18	15.4671729	12.1257231	20669.4866
2002	16	Finlandia	4	EURAMET	4	EURAMET	1991	0	2572	0.04427584	1.78254592	3.24137998	5.70930004	66.9283543	2579	0.05432721	57.5	24.1501884	21.7676028	47471.6115
2002	17	Francia	4	EURAMET	4	EURAMET	1901	-2	27598	0.53587453	0.91493678	2.09346008	5.60021925	65.1296028	13870	0.29146079	49.25	14.4775579	20.0995374	47587.8761
2002	18	Georgia	4	EURAMET	4	EURAMET	2005	0	85	0.00752539	-0.51660037	0.21529999	2.18105006	64.7615618	232	0.03907618	31.87	12.2453708	4.12019313	5937.12022
2002	19	Grecia	4	EURAMET	4	EURAMET	1994	0	6178	0.14826444	0.73664159	0.55948001	3.23019004	68.3098889	306	0.00942577	34.18	9.49262696	9.11321691	32464.1984

2002	20	Hungría	4	EURAMET	4	EURAMET	1999	111	5769	0.19414027	1.04222512	0.79096001	4.8684001	68.1774015	810	0.03626886	48.12	19.1070629	26.0009517	22333.2101
2002	21	Irlanda	4	EURAMET	4	EURAMET	1996	0	2273	0.0370669	1.78177714	1.08383	4.13225985	67.1057765	786	0.01488228	54.1	23.1191411	32.0010232	52814.5005
2002	22	Italia	4	EURAMET	4	EURAMET	1991	-6	131718	2.51707363	0.7918933	1.00364006	4.29108	67.4166538	7877	0.15601395	40.69	17.5732447	6.71895696	50489.0752
2002	23	Japón	2	APMP	1	APMP	1903	-1	46983	1.12852198	0.79735416	2.85840988	3.46011996	67.8226284	387364	9.93406312	50.32	22.4522088	20.0190284	38993.511
2002	24	Letonia	4	EURAMET	4	EURAMET	1999	0	1114	0.03872525	0.69623071	0.43483001	5.27427006	67.2280112	98	0.00653014	39.8	13.6072703	7.42695801	15007.3342
2002	25	Lituania	4	EURAMET	4	EURAMET	2010	0	1231	0.03904895	0.71443206	0.58552998	5.602386	66.2850263	66	0.00404985	38.49	16.7819625	11.4655102	16296.8896
2002	26	Luxemburgo	4	EURAMET	4	EURAMET	2008	0	249	0.00181046	1.84944642	1.58314002	4.24047232	67.104502	85	0.00073537	52.65	9.64250586	10.7099336	115588.403
2002	27	Mauricio	1	AFRIMETS	7	SADCMET	1993	0	239	0.01362578	0.37321675	0.28402001	3.76910996	68.1682876	3	0.00022519	36.47	19.745843	7.47582629	13322.0201
2002	28	México	6	SIM	6	NORAMET	1994	7	7415	0.34649486	0.2204942	0.30612999	3.99243999	60.7566819	431	0.0206252	30.45	21.0445774	20.565256	20896.7698
2002	29	Noruega	4	EURAMET	4	EURAMET	1876	126	2458	0.02914092	1.10744131	1.56019998	6.4593401	64.8325955	1311	0.01730396	52.6	8.97469539	17.9210927	75763.023
2002	30	Paises Bajos	4	EURAMET	4	EURAMET	1929	5	10250	0.16122188	2.02518129	1.78980005	4.5851202	67.8174249	2465	0.04402577	56.31	13.3531118	29.0312356	55989.9401
2002	31	Pakistán	2	APMP	1	APMP	1974	0	2487	0.57641946	-0.76692045	0.11566	1.83782005	53.6185056	46	0.01298202	26.75	9.09419786	1.92473501	3543.36259
2002	32	Panamá	6	SIM	2	CAMET	2002	0	197	0.00901377	0.60503584	0.36263999	4.75968981	62.5950889	7	0.000454	30.77	11.2714064	1.23425756	15418.506
2002	33	Polonia	4	EURAMET	4	EURAMET	1919	0	10664	0.41234129	0.70420051	0.64077997	4.98393011	68.4997929	2404	0.128331	38.02	16.052736	3.76472108	18732.8086
2002	34	Portugal	4	EURAMET	4	EURAMET	2004	0	7475	0.20066463	0.91903269	0.72156	5.16384983	67.3674283	81	0.00231218	42.4	15.0493373	8.60278157	35031.9327
2002	35	Singapur	2	APMP	1	APMP	1999	0	5777	0.06758996	2.06806278	1.81699002	3.32130003	74.6001982	516	0.00771752	59.64	25.861486	48.4824523	66860.8509
2002	36	Suecia	4	EURAMET	4	EURAMET	1960	0	4313	0.07684789	1.34945941	3.38132	6.74014997	64.3089508	4224	0.08885666	62.12	20.1587442	16.803964	47537.2354
2002	37	Suiza	4	EURAMET	4	EURAMET	1892	1	12003	0.1578597	1.79224491	2.26385999	4.6587801	67.3127999	2083	0.03063821	63.82	17.641334	23.6341837	67987.0047
2002	38	Ucrania	4	EURAMET	4	EURAMET	1991	-1	1051	0.05498877	-0.405505	0.92904001	4.02293015	68.4959625	5620	0.53809875	35.01	17.3873547	4.51377335	10444.1797
2002	39	Uzbekistán	3	COOMET	3	COOMET	1924	0	70	0.01500731	-2.24290562	0.36063001	5.81876087	58.5298474	755	0.24314023	23.9	10.181136	1.54314639	3105.20393
2012	1	Alemania	4	EURAMET	4	EURAMET	1887	740	52995	0.89299171	1.54434037	2.88165998	4.92844009	66.1768561	46620	0.80583976	57.1	20.1564486	17.821232	57852.6928
2012	2	Argentina	6	SIM	8	SURAMET	1957	238	7112	0.24604092	-0.9281348	0.63490999	5.34582996	64.0236516	735	0.02523244	34.3	15.2168009	9.22569178	29129.169
2012	3	Austria	4	EURAMET	4	EURAMET	1923	99	4470	0.07173878	1.48221374	2.91472006	5.48040009	67.5770242	2258	0.03595051	54.1	16.7061234	15.032644	62808.5709
2012	4	Azerbaiyán	3	COOMET	3	COOMET	2017	32	243	0.01174209	-0.4253405	0.21427	2.06763005	70.7681642	144	0.00736759	30.1	4.24121862	3.89857197	19545.0719
2012	5	Bélgica	4	EURAMET	4	EURAMET	1934	65	3562	0.06050511	1.28374708	2.28114009	6.25576496	65.4350668	755	0.01315595	50.9	12.6242087	12.334459	57388.4929
2012	6	China	2	APMP	1	APMP	1955	1593	292559	20.0713714	-0.33160818	1.91214001	3.94409418	72.6444674	535313	44.6640664	47.5	31.5285779	30.4219454	11985.3171

2012	7	Corea, República de	2	APMP	1	APMP	1975	862	11992	0.28154855	0.988612	3.85039997	4.45423794	73.0635468	148136	3.74610589	56.3	27.8318955	31.2107765	39543.997
2012	8	Costa Rica	6	SIM	2	CAMET	1973	46	281	0.01327242	0.74727374	0.54712999	6.58239985	68.2737816	9	0.00045245	38.6	13.8778882	16.9840036	19891.5009
2012	9	Croacia	4	EURAMET	4	EURAMET	1991	38	2529	0.08781622	0.36963299	0.73956001	5.22161388	66.8260268	217	0.00777828	41.7	13.4802064	10.7064205	27898.1965
2012	10	Dinamarca	4	EURAMET	4	EURAMET	1985	118	1865	0.02967129	1.80028737	2.98125005	7.23782015	64.8155106	1406	0.02310096	57.7	11.4340444	17.165079	60863.2797
2012	11	Emiratos Árabes Unidos	5	GULFMET	5	GULFMET	2014	16	4945	0.07381452	0.77497303	0.48622	3.86020994	85.4095332	23	0.00038987	40.1	8.08503638	5.30115833	58994.3104
2012	12	Eslovenia	4	EURAMET	4	EURAMET	1995	173	1481	0.03778861	0.62496036	2.56061006	5.6202302	68.8687629	470	0.01242853	48.5	18.7304114	7.00768254	37816.2314
2012	13	España	4	EURAMET	4	EURAMET	1990	366	32730	0.76889887	0.93268073	1.29876006	4.46931982	67.3584312	3266	0.0802118	49.1	11.124872	6.88735849	40717.1994
2012	14	Estados Unidos	6	SIM	6	NORAMET	1901	283	33103	0.51350501	1.26038861	2.67284012	6.25388622	66.7733302	268782	4.36549665	60.1	11.8575606	21.3809411	61569.627
2012	15	Estonia	4	EURAMET	4	EURAMET	1875	34	1131	0.0313183	1.43924093	2.12480998	4.71772003	66.5450955	20	0.00059281	52.8	14.0086485	22.7094935	33737.8426
2012	16	Finlandia	4	EURAMET	4	EURAMET	1991	189	2596	0.04840251	1.84167218	3.39831996	7.14803982	65.1070396	1698	0.03105322	60	14.4605222	10.184202	54680.3167
2012	17	Francia	4	EURAMET	4	EURAMET	1901	631	27844	0.53625159	1.14989483	2.22707009	5.45646715	63.9724742	14540	0.28367143	53.6	10.3615753	28.1846093	51256.4836
2012	18	Georgia	4	EURAMET	4	EURAMET	2005	65	85	0.00558718	0.72580498	0.07856	1.90610003	67.8583182	139	0.0101966	33.8	9.49157647	5.78910467	13631.9959
2012	19	Grecia	4	EURAMET	4	EURAMET	1994	101	6187	0.19646861	0.62821758	0.711004999	4.58220291	65.4086243	628	0.0198984	40.3	7.79297029	12.9089718	31560.331
2012	20	Hungría	4	EURAMET	4	EURAMET	1999	163	5789	0.18278784	0.89994639	1.25423002	4.14249992	68.4946786	692	0.02423363	43	18.4725081	17.0832317	28555.3557
2012	21	Irlanda	4	EURAMET	4	EURAMET	1996	50	2323	0.02965625	1.57406163	1.55675006	3.38676	66.3338007	79	0.00135216	59.1	19.4865644	28.3387259	58424.9984
2012	22	Italia	4	EURAMET	4	EURAMET	1991	312	132870	2.81513931	0.77893811	1.26218998	4.05601978	65.0040628	8439	0.17339653	46.4	13.8496257	8.15090139	48668.7945
2012	23	Japón	2	APMP	1	APMP	1903	744	47101	1.08595423	1.10895479	3.17371011	3.64741993	62.3470238	287013	6.90205581	54	19.6667084	18.018972	41583.6974
2012	24	Letonia	4	EURAMET	4	EURAMET	1999	6	1115	0.03624372	1.03710294	0.66307002	6.58270979	66.5531282	193	0.00696921	45.5	11.3557578	18.9245035	27693.2566
2012	25	Lituania	4	EURAMET	4	EURAMET	2010	21	1238	0.03420913	1.14700925	0.89304	4.75802994	66.8867913	109	0.00338855	42.3	18.7075951	12.7802072	32167.1684
2012	26	Luxemburgo	4	EURAMET	4	EURAMET	2008	10	252	0.00191277	1.77097726	1.20664001	3.87816	69.0202032	109	0.00083506	59	4.55660954	7.10632591	130529.235
2012	27	Mauricio	1	AFRIMETS	7	SADCMET	1993	0	239	0.01070056	0.89288491	0.17772999	3.41820002	70.9142891	4	0.00019818	39.2	13.6477453	0.11408634	20183.7001
2012	28	México	6	SIM	6	NORAMET	1994	404	7418	0.33942532	0.41815519	0.42096001	5.10309982	64.5220595	1294	0.06056427	38	18.8000354	19.5702756	21365.7329
2012	29	Noruega	4	EURAMET	4	EURAMET	1876	126	2467	0.02953116	1.6574111	1.61053002	7.32766008	66.0286715	1009	0.01226649	53.8	6.70695609	22.262629	82256.6158
2012	30	Paises Bajos	4	EURAMET	4	EURAMET	1929	344	10381	0.16597673	1.76091754	1.91627002	5.41022015	66.2554864	2375	0.03878844	61.6	10.7351684	24.0463071	61229.5764
2012	31	Pakistán	2	APMP	1	APMP	1974	0	2488	0.52001473	-0.70500499	0.29284999	2.13628006	57.4190356	96	0.02177887	23.1	13.7390762	1.60383334	4407.94188
2012	32	Panamá	6	SIM	2	CAMET	2002	8	197	0.006563	0.44759744	0.07534	2.81682801	64.4781086	9	0.00033788	36.8	6.23155749	0.0004673	26636.5829

2012	33	Polonia	4	EURAMET	4	EURAMET	1919	210	10681	0.33339372	1.05261457	0.88997	4.86159992	70.9104339	4410	0.15078141	40.2	16.7396584	10.7744171	29247.6366
2012	34	Portugal	4	EURAMET	4	EURAMET	2004	76	7498	0.20897352	0.79830134	1.37861001	4.94940996	65.8912311	621	0.01785979	46.6	11.3940908	5.0798828	34770.8505
2012	35	Singapur	2	APMP	1	APMP	1999	275	5786	0.05425973	1.9601084	1.91832995	3.07085991	78.3323913	1081	0.01091538	59.4	19.116822	52.2107116	99034.6076
2012	36	Suecia	4	EURAMET	4	EURAMET	1960	179	4316	0.07242357	1.89546669	3.23024988	7.53697014	64.2424777	2288	0.04048225	62.4	13.9204656	18.1253359	56518.5983
2012	37	Suiza	4	EURAMET	4	EURAMET	1892	267	12218	0.15814609	1.61979234	2.87456989	4.89862013	67.7542398	1480	0.01958708	68.3	17.7313708	27.0506498	75560.0236
2012	38	Ucrania	4	EURAMET	4	EURAMET	1991	193	1052	0.06732486	-0.58561242	0.72363001	6.44269991	70.2993432	2491	0.13769912	36.5	12.2296271	8.0388536	18090.166
2012	39	Uzbekistán	3	COOMET	3	COOMET	1924	0	70	0.010451	-1.60398281	0.15512	6.02691507	67.0529719	257	0.0448783	25.9	10.5353691	1.54314639	57265.9832
2022	1	Alemania	4	EURAMET	4	EURAMET	1887	1392	48228	0.77034798	1.522295	3.14246011	4.5309639	63.6285983	39822	0.63607857	58.8	18.4384068	15.9912089	62605.473
2022	2	Argentina	6	SIM	8	SURAMET	1957	343	7971	0.29383533	-0.69756573	0.51763999	4.64760017	65.0283404	406	0.0149664	28	16.053332	4.75157524	27127.4391
2022	3	Austria	4	EURAMET	4	EURAMET	1923	354	3802	0.05774878	1.28319979	3.25632	4.98649979	65.8148778	1872	0.02843391	53.2	15.9085049	16.4974507	65836.8894
2022	4	Azerbaiyán	3	COOMET	3	COOMET	2017	32	287	0.01364619	-0.1033442	0.20836	3.70208001	69.4120886	119	0.00565818	23.3	5.00583594	3.90300407	21031.5112
2022	5	Bélgica	4	EURAMET	4	EURAMET	1934	65	3242	0.05111062	1.2529552	3.42979002	6.23423338	63.7372908	799	0.01259636	49.9	12.6471295	21.8780511	63431.0472
2022	6	China	2	APMP	1	APMP	1955	1876	548662	26.102577	-0.41841763	2.43260002	3.29784346	69.0310257	1426644	67.8725423	55.3	27.6989748	23.1186745	21019.4572
2022	7	Corea, República de	2	APMP	1	APMP	1975	1158	11655	0.23320742	1.14522254	4.93011999	4.80172014	70.9372224	186245	3.72661651	58.6	25.6319636	16.9382632	49976.9696
2022	8	Costa Rica	6	SIM	2	CAMET	1973	75	375	0.01521268	0.56706172	0.27531001	6.28171015	68.9846258	15	0.00060851	27.9	14.0800612	20.4289979	24650.489
2022	9	Croacia	4	EURAMET	4	EURAMET	1991	93	3007	0.07605247	0.50254989	1.24485004	5.20366955	63.5605774	77	0.00194747	37.1	11.7472891	11.9755833	39538.4901
2022	10	Dinamarca	4	EURAMET	4	EURAMET	1985	209	2277	0.03196941	1.84312749	2.81261992	6.03974867	63.4533249	1090	0.01530376	58.7	11.6586909	15.8053907	71224.3426
2022	11	Emiratos Árabes Unidos	5	GULFMET	5	GULFMET	2014	16	4906	0.06654522	1.03478074	1.49524999	3.89549994	82.9388934	69	0.00093592	43.2	9.72595323	9.28560107	73724.3072
2022	12	Eslovenia	4	EURAMET	4	EURAMET	1995	263	2185	0.04594364	0.69494402	2.13088012	5.66958189	63.9242793	222	0.00466796	42.2	19.8703601	8.47456708	47558.2718
2022	13	España	4	EURAMET	4	EURAMET	1990	576	36565	0.79857694	0.79707444	1.42929006	4.58532047	65.9370882	1308	0.02856663	45.9	11.4048294	12.4147558	45787.698
2022	14	Estados Unidos	6	SIM	6	NORAMET	1901	1407	29241	0.41006091	1.42443991	3.45705009	5.43544006	64.9124413	262244	3.67757645	63.5	10.7103708	17.8504537	71308.9188
2022	15	Estonia	4	EURAMET	4	EURAMET	1875	34	995	0.02267703	1.55896449	1.75215006	5.91065264	63.0146253	25	0.00056977	53.4	12.7614058	17.679261	43876.9956
2022	16	Finlandia	4	EURAMET	4	EURAMET	1991	397	3088	0.05266536	1.77915287	2.98934007	5.69380856	61.552412	1557	0.02655439	61.2	15.7515899	8.13242104	58634.3699
2022	17	Francia	4	EURAMET	4	EURAMET	1901	886	21802	0.39648409	1.18895233	2.21918011	5.24502707	61.1425781	13386	0.24343345	56	9.5438128	20.7563596	54988.3346
2022	18	Georgia	4	EURAMET	4	EURAMET	2005	65	122	0.00591883	1.0323087	0.25174001	3.63758993	64.127278	90	0.00436635	29.9	9.79471561	3.11219103	20612.1943
2022	19	Grecia	4	EURAMET	4	EURAMET	1994	208	6184	0.17504139	0.46437898	1.45641994	4.05622721	63.3087228	394	0.01115238	37.5	9.10887674	14.2600866	35328.7876

2022	20	Hungría	4	EURAMET	4	EURAMET	1999	415	7623	0.1873715	0.40653768	1.64230001	5.00158405	65.5478122	433	0.01064304	41.3	17.2068805	17.7171071	40683.883
2022	21	Irlanda	4	EURAMET	4	EURAMET	1996	102	2967	0.02420148	1.63956082	1.13092995	2.98458052	65.2795873	75	0.00061177	50.4	37.994841	40.6897427	122595.8
2022	22	Italia	4	EURAMET	4	EURAMET	1991	439	18521	0.35657647	0.51093149	1.45392001	4.13088608	63.5161719	10281	0.19793546	46.6	14.9291919	8.76975457	51941.1727
2022	23	Japón	2	APMP	1	APMP	1903	1189	46400	0.13309083	1.43877256	3.29580998	3.31738377	58.4527112	222452	4.95286901	54.6	19.2274179	13.3699555	44913.7661
2022	24	Letonia	4	EURAMET	4	EURAMET	1999	13	865	0.02269366	1.17088675	0.74092001	5.70073891	62.583707	104	0.00272849	39.7	12.9833326	16.3914094	38116.3648
2022	25	Lituania	4	EURAMET	4	EURAMET	2010	57	1213	0.02579455	1.29888129	1.11074996	4.84267044	63.8801224	81	0.00172247	42	16.2917861	12.8208601	47025.4299
2022	26	Luxemburgo	4	EURAMET	4	EURAMET	2008	10	140	0.00102146	1.83396697	1.04215002	4.63915253	69.1715861	112	0.00081717	50.6	3.82769802	5.86625623	137059.186
2022	27	Mauricio	1	AFRIMETS	7	SADCMET	1993	0	192	0.0077321	1.1661061	0.36809	4.67440987	70.8996136	6	0.00024163	32.1	11.9524008	2.04628938	24831.5323
2022	28	México	6	SIM	6	NORAMET	1994	766	8982	0.41183712	-0.1483095	0.29638001	4.62572002	67.169767	1117	0.051216	31	21.4687829	19.3515236	21809.5928
2022	29	Noruega	4	EURAMET	4	EURAMET	1876	126	1914	0.02157544	1.51613951	1.93798006	5.04169226	64.8572434	946	0.01066372	50.7	4.875787	23.6088462	88711.988
2022	30	Paises Bajos	4	EURAMET	4	EURAMET	1929	734	9979	0.14265155	1.71227205	2.30886006	5.13583136	64.2603507	2080	0.02973396	60.4	11.4116232	20.5543342	69953.673
2022	31	Pakistán	2	APMP	1	APMP	1974	0	2718	0.47626568	-0.88641262	0.16443001	1.68746126	59.1607588	426	0.0746465	23.3	13.7770279	1.43131734	5706.89868
2022	32	Panamá	6	SIM	2	CAMET	2002	38	413	0.01222241	0.12713215	0.15601	3.26910949	65.0969399	35	0.0010358	25.3	4.96836893	0.23362455	33790.3957
2022	33	Polonia	4	EURAMET	4	EURAMET	1919	460	11926	0.27314656	0.71730566	1.43585002	4.94140053	66.2949232	3377	0.07734496	37.7	17.4833863	10.7656426	43661.5412
2022	34	Portugal	4	EURAMET	4	EURAMET	2004	191	4781	0.11593004	0.76267332	1.68071997	4.71190643	63.9204196	711	0.01724038	44.9	12.2469913	6.15477405	41240.39
2022	35	Singapur	2	APMP	1	APMP	1999	409	4876	0.03777401	2.21437836	2.16304994	2.83360004	73.0431564	2024	0.01567978	61.5	20.5008874	25.0082214	129083.474
2022	36	Suecia	4	EURAMET	4	EURAMET	1960	405	2644	0.04081632	1.68157697	3.41742992	6.6799612	62.1512118	1771	0.02733952	64.2	13.4257766	16.8303209	64778.0098
2022	37	Suiza	4	EURAMET	4	EURAMET	1892	424	8493	0.10230085	1.62011302	3.35917997	5.04434299	65.6442524	1288	0.01551436	67.6	18.4049659	28.8408411	83019.84
2022	38	Ucrania	4	EURAMET	4	EURAMET	1991	311	1367	0.09143508	-0.33159733	0.29475001	5.74071836	65.7656898	1302	0.08708739	32.8	7.57676514	5.73612896	14950.499
2022	39	Uzbekistán	3	COOMET	3	COOMET	1924	0	487	0.05764985	-0.55031544	0.13160001	5.36828899	64.6521404	413	0.04888992	26.2	19.1448809	1.41210242	8447.54975

Tabla B3. Base de datos de trabajo para análisis de convergencia beta, complemento

Países	Periodo	Tasa de crecimiento	ln_pibpc_initial	Periodo	Tasa de crecimiento	ln_pibpc_initial
Alemania	2002-2012	1.5106992	10.81571	2012-2022	0.79265201	10.96566
Argentina	2002-2012	2.6739608	10.01561	2012-2022	-0.70941484	10.2795
Austria	2002-2012	1.38028352	10.91076	2012-2022	0.47199808	11.04785
Azerbaiyán	2002-2012	13.3725718	8.625385	2012-2022	0.73567964	9.880479
Bélgica	2002-2012	1.1447456	10.84377	2012-2022	1.00612407	10.9576
China	2002-2012	11.6292162	8.291311	2012-2022	5.77844948	9.391438
Corea, República de	2002-2012	4.61295868	10.1342	2012-2022	2.36911186	10.58517
Costa Rica	2002-2012	3.54528179	9.54966	2012-2022	2.1682133	9.898047
Croacia	2002-2012	2.81788304	9.958426	2012-2022	3.54863904	10.23632
Dinamarca	2002-2012	0.46243852	10.97025	2012-2022	1.58446783	11.01639
Emiratos Árabes Unidos	2002-2012	-5.01758452	11.49998	2012-2022	2.25394143	10.9852
Eslovenia	2002-2012	2.18384533	10.32446	2012-2022	2.31864539	10.54049
España	2002-2012	0.28742043	10.5857	2012-2022	1.18056287	10.61441
Estados Unidos	2002-2012	1.06872273	10.92162	2012-2022	1.47936311	11.02792
Estonia	2002-2012	5.02163179	9.936414	2012-2022	2.66252875	10.42638
Finlandia	2002-2012	1.42375951	10.76789	2012-2022	0.70061529	10.90926
Francia	2002-2012	0.74540536	10.77033	2012-2022	0.70526482	10.8446
Georgia	2002-2012	8.66717086	8.688979	2012-2022	4.22129811	9.520175
Grecia	2002-2012	-0.28197081	10.38789	2012-2022	1.13435718	10.35966
Hungría	2002-2012	2.48814726	10.01383	2012-2022	3.60327456	10.2596
Irlanda	2002-2012	1.01469416	10.87454	2012-2022	7.69305283	10.9755
Italia	2002-2012	-0.36651595	10.82951	2012-2022	0.65285919	10.79279
Japón	2002-2012	0.64520203	10.57115	2012-2022	0.77333634	10.63546
Letonia	2002-2012	6.31806107	9.616294	2012-2022	3.2461211	10.22894
Lituania	2002-2012	7.0362317	9.69873	2012-2022	3.87044547	10.3787
Luxemburgo	2002-2012	1.22303462	11.65779	2012-2022	0.48934963	11.77935
Mauricio	2002-2012	4.24208031	9.497173	2012-2022	2.09401268	9.912631
México	2002-2012	0.22218428	9.94735	2012-2022	0.20582692	9.969543
Noruega	2002-2012	0.82572517	11.23537	2012-2022	0.75837331	11.3176
Países Bajos	2002-2012	0.8985965	10.93293	2012-2022	1.34093963	11.02239
Pakistán	2002-2012	2.20732605	8.172832	2012-2022	2.61631864	8.391163
Panamá	2002-2012	5.61938186	9.643324	2012-2022	2.40743223	10.19004
Polonia	2002-2012	4.55595861	9.838032	2012-2022	4.08803944	10.28355
Portugal	2002-2012	-0.07477807	10.46402	2012-2022	1.72102904	10.45653
Singapur	2002-2012	4.00674589	11.11037	2012-2022	2.68532118	11.50322
Suecia	2002-2012	1.74562553	10.76927	2012-2022	1.37330877	10.94232
Suiza	2002-2012	1.06170426	11.12707	2012-2022	0.94596888	11.23268
Ucrania	2002-2012	5.64691549	9.2538	2012-2022	-1.88818416	9.803123
Uzbekistán	2002-2012	8.040834	8.040834	2012-2022	3.96410129	8.652877

10. Apéndice C: Métodos en ecuaciones estructurales

Como lo indica Hair J. (2022), para la estimación de un SEM existen diferentes métodos matemáticos, Mínimos Cuadrados Parciales (PLS) por sus siglas en inglés *Partial Least Squares*, Mínimos Cuadrados Ordinarios (OLS) por sus siglas en inglés *Ordinary Least Squares*, Coeficientes Estructurales (CB) por sus siglas en inglés *Covariance-Based*, Máxima Verosimilitud (MLE) por sus siglas en inglés *Maximum Likelihood Estimation* y el Modelado de Ecuaciones Estructurales Generalizadas (GSEM) por *Generalized Structural Equation Modeling*. La elección del método de estimación adecuado depende de la naturaleza de los datos, los objetivos de investigación y los supuestos subyacentes. MLE es generalmente preferido cuando se necesitan modelos flexibles y robustos, mientras que CB puede ser más adecuado para el análisis de regresión tradicional, PLS es útil cuando se necesitan modelar variables latentes en presencia de multicolinealidad, OLS es apropiado para situaciones donde los datos cumplen con sus supuestos clásicos y GSEM por su parte, es más flexible que todos los anteriores ya que no requiere que las variables sigan una distribución normal. Para analizar estas diferencias con detalle, ver la tabla C1.

Tabla C1. Métodos OLS, PLS, MLE y CB: Diferencias.

Método	Objetivo principal	Modelos adecuados	Uso en análisis de componentes	Tratamiento de variables latentes	Robustez ante multicolinealidad
OLS	Minimizar la suma de los cuadrados de las diferencias entre los valores observados y los valores predichos por el modelo.	Modelos donde se cumplen los supuestos clásicos de la regresión lineal, como la normalidad de los residuos, la homocedasticidad y la linealidad de la relación entre las variables	Se utiliza principalmente en el análisis de regresión lineal simple y múltiple, donde se busca estimar la relación entre una variable dependiente y una o más variables independientes.	No puede manejar directamente variables latentes en el modelo y requiere que todas las variables sean observadas.	Es sensible a la multicolinealidad, lo que puede afectar la precisión de las estimaciones de los coeficientes del modelo.
PLS	Maximizar la covarianza explicada entre las variables latentes y observadas en el modelo.	Modelos complejos con relaciones no lineales y muestras pequeñas. No requiere tantos supuestos sobre la distribución de los datos y es robusto frente a violaciones de los supuestos clásicos de regresión.	Se utiliza en análisis de componentes principales y análisis de ecuaciones estructurales, donde se modelan relaciones entre variables latentes y observadas.	Es capaz de modelar relaciones entre variables latentes y observadas, lo que lo hace más flexible para analizar modelos complejos con variables no observadas.	Es más robusto frente a la multicolinealidad, lo que lo hace adecuado para modelos con variables altamente correlacionadas
MLE	Estimar los parámetros del modelo estructural maximizando la función de verosimilitud, lo que implica encontrar los valores de los parámetros que hacen que los datos observados sean más probables bajo el modelo especificado.	Amplia gama de modelos estructurales, tanto lineales como no lineales, que pueden incluir tanto variables observadas como latentes. Es especialmente útil cuando se requiere modelar constructos latentes y cuando los datos pueden no cumplir con los supuestos de normalidad y homocedasticidad.	El análisis de componentes puede realizarse para descomponer la varianza total de las variables observadas en componentes comunes y únicos, lo que ayuda a comprender la estructura de covarianza subyacente en los datos.	Es capaz de modelar y estimar variables latentes directamente en el marco del modelo estructural, lo que permite incorporar constructos no observados en el análisis y proporcionar una representación más completa de la realidad subyacente.	Puede ser robusto ante la presencia de multicolinealidad, especialmente en comparación con OLS, debido a su capacidad para modelar relaciones complejas entre variables latentes y observadas.
CB	Estimar los coeficientes estructurales directamente a partir de las relaciones entre las variables observadas, sin considerar variables latentes. Se centra en la covarianza y la correlación entre variables observadas para determinar la estructura del modelo.	Modelos que se centran en relaciones entre variables observadas y no implican la modelización de variables latentes. Es especialmente útil en situaciones donde se busca entender las relaciones directas entre variables observadas, como en análisis de regresión tradicional.	Puede emplearse para realizar análisis de componentes, aunque se centra en la covarianza entre las variables observadas y no considera variables latentes en este proceso.	Las variables latentes no son directamente modeladas ni estimadas. En cambio, el enfoque se centra en las relaciones entre las variables observadas y cómo estas contribuyen a la estructura del modelo.	puede verse afectado por problemas de multicolinealidad entre variables observadas, ya que se basa en la matriz de covarianza de las variables sin considerar las relaciones entre variables latentes que podrían mitigar estos efectos.

Fuente: Elaboración propia con información de Leyva (2014) y Hair (2022)