

**Inclusión financiera en México. Impacto del acceso al financiamiento a través de FIRA en los ingresos por ventas de las empresas**

Jorge Lara Álvarez

**Detección de factores de éxito en la manufactura en México mediante un modelo de datos panel de los Censos Económicos**

Edgar Manuel Matus Carballo, Rocco Petrarca y Carlos Alberto Jiménez-Bandala

**Procedimiento para evaluar la degradación biológica del suelo en zonas áridas del noreste de México**

Emmanuel F. Campuzano, Oscar Briones, John Larsen, Gabriela Guillén-Cruz, Fabián Fernández Luqueño y Dulce Flores-Rentería

**Una propuesta para el análisis regional de la pobreza en México**

Marco Antonio Pérez Méndez

**Desarrollo de ponderadores óptimos para indicadores cíclicos basado en el análisis multivariado espectral de series de tiempo**

Víctor Alfredo Bustos y de la Tijera y Noemí López Delgado

**Una aproximación sistémica y geoespacial a las políticas territoriales de género**

María Margarita Parás Fernández y Claudia Tello de la Torre

**Costos de remediación para metales pesados en pasivos mineros. Tabla dinámica, una herramienta de apoyo**

Dora Elena Ledesma-Carrión

**Modelación espacial bayesiana de la pobreza y el gasto social en municipios de Chiapas a través de INLA**

Gerardo Núñez Medina

## Contenido

<b>Inclusión financiera en México. Impacto del acceso al financiamiento a través de FIRA en los ingresos por ventas de las empresas</b>	5
<i>Financial Inclusion in Mexico. Impact of Access to Financing through FIRA on Firm's Sales Revenue</i> Jorge Lara Álvarez	
<b>Detección de factores de éxito en la manufactura en México mediante un modelo de datos panel de los Censos Económicos</b>	18
<i>Detection of Success Factors in Manufacturing in Mexico Using a Panel Data Model from the Economic Censuses</i> Edgar Manuel Matus Carballo, Rocco Petrarca y Carlos Alberto Jiménez-Bandala	
<b>Procedimiento para evaluar la degradación biológica del suelo en zonas áridas del noreste de México</b>	38
<i>Procedure for Assessing Biological Soil Degradation in Arid Zones of Northeastern Mexico</i> Emmanuel F. Campuzano, Oscar Briones, John Larsen, Gabriela Guillén-Cruz, Fabián Fernández Luqueño y Dulce Flores-Rentería	
<b>Una propuesta para el análisis regional de la pobreza en México</b>	58
<i>A Proposal for a Regional Analysis of Poverty in Mexico</i> Marco Antonio Pérez Méndez	
<b>Desarrollo de ponderadores óptimos para indicadores cíclicos basado en el análisis multivariado espectral de series de tiempo</b>	76
<i>Development of Optimal Weights for Cyclical Indicators Based on Multivariate Spectral Time-Series Analysis</i> Victor Alfredo Bustos y de la Tijera y Noemí López Delgado	
<b>Una aproximación sistémica y geoespacial a las políticas territoriales de género</b>	100
<i>A Systemic and Geospatial Approach to Territorial Gender Policies</i> María Margarita Parás Fernández y Claudia Tello de la Torre	
<b>Costos de remediación para metales pesados en pasivos mineros. Tabla dinámica, una herramienta de apoyo</b>	124
<i>Remediation Costs for Heavy Metals in Mining Liabilities. Pivot Table, a Support Tool</i> Dora Elena Ledesma-Carrión	
<b>Modelación espacial bayesiana de la pobreza y el gasto social en municipios de Chiapas a través de INLA</b>	138
<i>Bayesian Spatial Modeling of Poverty and Social Spending in Municipalities of Chiapas through INLA</i> Gerardo Núñez Medina	
<b>Colaboran en este número</b>	149

# INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA Y GEOGRAFÍA

## Presidente del Instituto

Graciela Márquez Colín

## Vicepresidentes

Enrique de Alba Guerra

Paloma Merodio Gómez

Adrián Franco Barrios

Eduardo de la Torre Bárcena, encargado del despacho

## Dirección General de Estadísticas Sociodemográficas

Edgar Vielma Orozco

## Dirección General de Estadísticas de Gobierno, Seguridad Pública y Justicia

Óscar Jaimes Bello

## Dirección General de Estadísticas Económicas

José Arturo Blancas Espejo

## Dirección General de Geografía y Medio Ambiente

María del Carmen Reyes Guerrero

## Dirección General de Integración, Análisis e Investigación

Sergio Carrera Riva Palacio

## Dirección General de Coordinación del Sistema Nacional de Información Estadística y Geográfica

María Isabel Monterrubio Gómez

## Dirección General de Comunicación, Servicio Público de Información y Relaciones Institucionales

Julietta Alejandra Brambila Ramírez

## Dirección General de Administración

Ricardo Miranda Burgos

## Contraloría Interna

Manuel Rodríguez Murillo

## REALIDAD, DATOS Y ESPACIO REVISTA INTERNACIONAL DE ESTADÍSTICA Y GEOGRAFÍA

### Editor responsable

Sergio Carrera Riva Palacio

### Editor técnico

Gerardo Leyva Parra

### Coordinación editorial

Virginia Abrin Batule y Mercedes Pedrosa Islas

### Corrección de estilo

José Pablo Covarrubias Ordiales y Laura Elena López Ortiz

### Corrección de textos en inglés

Gerardo Hazael Piña Méndez

### Edición para internet

Ana Victoria Flores Flores y José Andrés Ortiz Domínguez

Indizada en: Sistema Regional de Información en Línea para Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal *Latindex Catálogo*; Citas Latinoamericanas en Ciencias Sociales y Humanidades (CLASE) y en la Red Iberoamericana de Innovación y Conocimiento (REDIB).

REALIDAD, DATOS Y ESPACIO REVISTA INTERNACIONAL DE ESTADÍSTICA Y GEOGRAFÍA, Vol. 13, Núm. 1, enero-abril, 2022, es una publicación cuatrimestral editada por el Instituto Nacional de Estadística y Geografía, Avenida Héroe de Nacozari Sur 2301, Fraccionamiento Jardines del Parque, 20276, Aguascalientes, Aguascalientes, Aguascalientes, entre la calle INEGI, Avenida del Lago y Avenida Paseo de las Garzas, México. Teléfono 55 52781069. Toda correspondencia deberá dirigirse al correo: rde@inegi.org.mx

Editor responsable: Sergio Carrera Riva Palacio. Reserva de Derechos al Uso Exclusivo del Título Núm. 04-2012-121909394300-102, ISSN Núm. 2007-2961, ambos otorgados por el Instituto Nacional del Derecho de Autor. Certificado de Licitud de Título y Contenido Núm. 15099, otorgado por la Comisión Calificadora de Publicaciones y Revistas Ilustradas de la Secretaría de Gobernación. Domicilio de la publicación y distribución: Avenida Héroe de Nacozari Sur 2301, Fraccionamiento Jardines del Parque, 20276, Aguascalientes, Aguascalientes, Aguascalientes, entre la calle INEGI, Avenida del Lago y Avenida Paseo de las Garzas, México.

El contenido de los artículos, así como sus títulos y, en su caso, fotografías y gráficos utilizados son responsabilidad del autor, lo cual no refleja necesariamente el criterio editorial institucional. Asimismo, la Revista se reserva el derecho de modificar los títulos de los artículos, previo acuerdo con los autores. La mención de empresas o productos específicos en las páginas de la Revista no implica el respaldo por el Instituto Nacional de Estadística y Geografía.

Se permite la reproducción total o parcial del material incluido en la Revista, sujeto a citar la fuente.

Versión electrónica: <http://rde.inegi.org.mx>

ISSN 2395-8537



### Offline Work

This work is licensed under the Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License. To view a copy of this license, visit <http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/> or send a letter to Creative Commons, PO Box 1866, Mountain View, CA 94042, USA.

# CONSEJO EDITORIAL

Dr. Enrique de Alba Guerra

Presidente del Consejo

Mtra. Claudia Aburto Rancaño

Instituto Tecnológico Autónomo de México  
México

Dr. Clemente Ruiz Durán

Universidad Nacional Autónoma de México  
México

Dr. Emilio Cunjamá López

Instituto Nacional de Ciencias Penales  
México

Dr. Fernando Cortés Cáceres

Profesor emérito de FLACSO PUEDE de la UNAM  
México

Dra. Graciela Teruel Belismelis

Universidad Iberoamericana  
Ciudad de México  
México

Dra. Landy Sánchez Peña

El Colegio de México  
México

Dra. María Martha Téllez Rojo Solís

Instituto Nacional de Salud Pública  
México

Dr. Víctor Manuel Guerrero Guzmán

Instituto Tecnológico Autónomo de México  
México

## Editorial

A continuación, se describe el contenido de cada uno de los artículos que conforman este primer número de 2022 de REALIDAD, DATOS Y ESPACIO REVISTA INTERNACIONAL DE ESTADÍSTICA Y GEOGRAFÍA.

*Inclusión financiera en México. Impacto del acceso al financiamiento a través de FIRA en los ingresos por ventas de las empresas (Financial Inclusion in Mexico. Impact of Access to Financing through FIRA on Firm's Sales Revenue).* En los países en desarrollo, la inclusión financiera es una herramienta clave para promover el crecimiento económico. En este documento se combinan datos de un banco de desarrollo de segundo piso —Fideicomisos Instituidos en Relación con la Agricultura (FIRA)— con los de los Censos Económicos 2009 y 2014 para medir los efectos de ampliar el acceso al crédito en micro, pequeños y medianos negocios a través de este organismo bancario. En esta investigación se encontró que ampliar el acceso al financiamiento condujo a un aumento en las ventas de estas unidades económicas.

*Detección de factores de éxito en la manufactura en México mediante un modelo de datos panel de los Censos Económicos (Detection of Success Factors in Manufacturing in Mexico Using a Panel Data Model from the Economic Censuses).* Para el desarrollo de este trabajo, se consideró como unidad de análisis la industria desagregada a tres dígitos del Sistema de Clasificación Industrial de América del Norte. Los datos se tomaron de los Censos Económicos del 2004, 2009 y 2014 del INEGI. Para medir el éxito, se utilizaron como variables *proxy* los indicadores financieros, margen neto y rendimiento sobre activos. Los resultados muestran diferencias entre indicadores, pero coinciden en la significancia de variables, como el trabajo no remunerado, la maquila y la publicidad.

*Procedimiento para evaluar la degradación biológica del suelo en zonas áridas del noreste de México (Procedure for Assessing Biological Soil Degradation in Arid Zones of Northeastern Mexico).* Los suelos de ecosistemas áridos y semiáridos pueden presentar degradación biológica asociada al cambio de uso de suelo, la cual tiene como consecuencia la pérdida o disminución de la capacidad de estos para proporcionar servicios ambientales. Sin embargo, para poder evaluar el grado del daño, es necesario crear herramientas basadas en diferentes indicadores de calidad del suelo (ICS). En este estudio se identificaron los mejores ICS y sus valores umbrales, que ayudarán a evaluar esta problemática en el noreste árido de México.

*Una propuesta para el análisis regional de la pobreza en México (A Proposal for a Regional Analysis of Poverty in Mexico).* En este artículo se realiza una propuesta de regionalización homogénea para la Tasa de Pobreza por entidad federativa, que permita potenciar el análisis regional de la pobreza y cómo esta se explica, en términos regionales, por el crecimiento y la desigualdad. Se estudian los diferentes escenarios sugeridos con anterioridad y se emplea el algoritmo *Max-P* para identificar el óptimo entre pobreza y desigualdad. Además, se analiza la pobreza acompañada del crecimiento y la desigualdad del ingreso desde la perspectiva regional para identificar las sendas diferenciadas de la relación triangular descrita.

*Desarrollo de ponderadores óptimos para indicadores cíclicos basado en el análisis multivariado espectral de series de tiempo (Development of Optimal Weights for Cyclical Indicators Based on Multivariate Spectral Time-Series Analysis).* En este trabajo se revisó un método propuesto por Bustos (1993) para desarrollar, de manera óptima, conjuntos de ponderadores para la generación de indicadores cíclicos. Para llevar a cabo comparaciones, se utilizaron los conjuntos de indicadores coincidentes y adelantados, en uso por el Sistema de Indicadores Cíclicos del INEGI, para el periodo enero del 2004 a marzo del 2020. Con base en criterios tales como la correlación cruzada a distintos rezagos o por la capacidad de hacer pronósticos del indicador coincidente a partir del adelantado, se evaluó la ganancia a la que conduce la propuesta. Los resultados obtenidos de esta manera superan el comportamiento de indicadores desarrollados mediante métodos tradicionales.

*Una aproximación sistémica y geoespacial a las políticas territoriales de género (A Systemic and Geospatial Approach to Territorial Gender Policies).* En este artículo se destacan los aportes conceptuales, teóricos y temáticos de una propuesta metodológica para el análisis geoespacial de las políticas territoriales con perspectiva de género partiendo de ejes de conocimiento sistémico e información interdisciplinaria y transversal desarrollados desde tres puntos de partida: un enfoque sistémico territorial y de género, que implica la elaboración de metodologías trans e interdisciplinarias; un modelo de gestión de conocimiento e información y herramientas geoespaciales, orientado al diseño de políticas territoriales de género; y la experiencia de la integración de modelos, recursos de análisis, datos y comunicación para hacer visible hacia las personas interesadas y usuarios la dimensión de género en el territorio.

*Costos de remediación para metales pesados en pasivos mineros. Tabla dinámica, una herramienta de apoyo (Remediation Costs for Heavy Metals in Mining Liabilities. Pivot Table, a Support Tool).* El objetivo de este trabajo es calcular los costos anuales por tonelada de material a remediar e introducirlos en una herramienta de cálculo dinámica bajo escenarios con el fin de aportar los valores iniciales y simulaciones que sirvan de insumo en la planeación de anteproyectos de apertura y cierre del ciclo de vida de una mina. La metodología empleada es semejante a la utilizada para calcular los costos totales de agotamiento y degradación ambiental para que, en su caso, puedan ser vinculados a los registros de emisiones y transferencia de contaminantes y sirvan como insumo a la optimización de procesos, modelos de insumo-producto, equilibrio general computable, estocásticos, entre otros.

*Modelación espacial bayesiana de la pobreza y el gasto social en municipios de Chiapas a través de INLA (Bayesian Spatial Modeling of Poverty and Social Spending in Municipalities of Chiapas through INLA).* El trabajo tiene por objetivo modelar la distribución espacial de la pobreza municipal en Chiapas a partir del efecto que ejerce el gasto social; para ello, se ajusta un modelo de regresión gaussiano que utiliza como variable dependiente la pobreza y como independiente, el gasto social. La finalidad es identificar patrones espaciales no aleatorios de pobreza que resultan de la confirmación de conglomerados espaciales de concentración de pobreza en el que los efectos generados por el gasto social resultan ser estadísticamente significativos; sin embargo, su peso relativo fue marginal.

<http://rde.inegi.org.mx>

# Inclusión financiera en México

*Impacto del acceso al financiamiento  
a través de FIRA en los ingresos por  
ventas de las empresas*

**Financial Inclusion in Mexico.** *Impact of  
Access to Financing through FIRA on Firm's  
Sales Revenue*

**Jorge Lara Álvarez\***

Esta investigación calcula el impacto del acceso al financiamiento en las ventas de las empresas. En los países en desarrollo, la inclusión financiera es una herramienta clave para promover el crecimiento económico. En este documento se combinan datos de un banco de desarrollo de segundo piso —Fideicomisos Instituidos en Relación con la Agricultura (FIRA)— con los de los Censos Económicos 2009 y 2014 para medir los efectos de ampliar el acceso al crédito en micro, pequeños y medianos negocios a través de este organismo bancario. Se encontró que ampliar el acceso al financiamiento condujo a un aumento en las ventas de estas unidades económicas. El resultado principal indica que las empresas que obtuvieron un crédito mediante FIRA elevaron sus ingresos por ventas en 37 y 46 % nominal del 2011 al 2013 y del 2012 al 2013, respectivamente, en comparación con otras similares que no tuvieron acceso a financiamiento. Este efecto es robusto a diferentes especificaciones.

**Palabras clave:** inclusión financiera; impacto; MIPYME; diferencias-en-diferencias; Censos Económicos.

Recibido: 1 de abril de 2020.  
Aceptado: 28 de abril de 2021.

\* FIRA, [jlara@fira.gob.mx](mailto:jlara@fira.gob.mx)

**Nota:** el autor tiene una gran deuda con el Laboratorio de Microdatos del INEGI por todas las facilidades brindadas en la elaboración del presente estudio; también, con la Dirección General de FIRA por permitirle el acceso y uso de sus datos; cualquier error u omisión es solo responsabilidad del autor.



<https://www.freeplik.es/fotos/arbol/>>Foto de Árbol creado por jcomp - [www.freeplik.es](https://www.freeplik.es/)</a> /jcomp / Freepik

This paper estimates the impact of the access to finance on firm sales. In developing countries, financial inclusion is a key tool to promote economic growth. In this paper, we combine data from a second-floor development bank (FIRA in Spanish) with economic census data (two waves, 2009 and 2014) to measure the effects of broadening access to credit in micro, small and medium-sized businesses through this banking organization. We found that broadened access to financing led to an increase in the sales of these economic units. Our main result indicates that the firms that obtained credit with FIRA increased their sales income by a nominal 37% and 46% from 2011 to 2013; and from 2012 and 2013, respectively, compared to similar companies that did not have access to finance. This effect is robust to different specifications.

**Key words:** financial inclusion; impact; SME; difference-in-differences; Economic Census.

## Introducción

Esta investigación estudia el impacto del acceso al financiamiento en el ingreso de micro, pequeñas y medianas empresas (MIPYME). La inclusión financiera en los países en vías de desarrollo es un mecanismo eficaz para la reducción de la pobreza (Levine, 2004); además, existe evidencia empírica de que esta acción en los estratos de ingresos más bajos tiene un efecto positivo en el nivel de empleo, el ingreso promedio, la creación y la supervivencia de pequeñas empresas informales (Bruhn & Love, 2014). Por lo tanto, la hipótesis inicial es que si, debido a fallas de mercado, las MIPYME están excluidas del mercado de crédito, el acceso al financiamiento tendrá un impacto positivo en sus ingresos por ventas, así como beneficios al resto de la economía.

En su estudio seminal, Banerjee y Duflo (2014) muestran que brindar crédito a empresas subatendidas financieramente aumenta su producción, lo que implica un incremento en la tasa de crecimiento de sus ventas y sus utilidades. Asdrubali & Signore (2015) realizaron un análisis empírico para medir el impacto de las garantías de crédito en las PYME de la Unión Europea. Sus resultados indican un efecto positivo importante sobre el tamaño y las ventas de las empresas beneficiadas. Bellone, Musso, Nesta & Schiavo (2008) afirman que, en un contexto de racionamiento de crédito, la intervención pública (mediante esquemas de garantía y fondeo de segundo piso) para promover el acceso a este puede impulsar la actividad económica de los negocios más eficientes.

En el modelo seleccionado para esta investigación, las empresas escogen un nivel de capital y de trabajo que maximiza su utilidad esperada. Si las firmas no pueden endeudarse, deberán escoger niveles subóptimos de estos elementos; con el acceso al financiamiento, podrían elegir una combinación de ambos con la que puedan aumentar sus ingresos. El objetivo es medir el impacto del acceso al financiamiento mediante un crédito de una banca de desarrollo de segundo piso, en este caso los Fideicomisos Instituidos en Relación con

la Agricultura (FIRA),<sup>1</sup> en los ingresos de las empresas por ventas. Se usa como línea base el año 2008 —Censos Económicos (CE) 2009— y se comparan negocios similares a los que tuvieron acceso al financiamiento (tratados) durante el periodo 2011 al 2013 a través de FIRA.

Para identificar el efecto causal del acceso al financiamiento se explota: la variación en el tiempo en que las empresas adquirieron un crédito de FIRA y la disponibilidad de datos de ingresos por ventas en los CE 2009 y 2014,<sup>2</sup> realizados por el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). Se utiliza el año (2011 al 2013) en el que la unidad económica adquirió un crédito con recursos de FIRA como un choque exógeno que, potencialmente, tiene un efecto positivo en sus ingresos, en un marco de diferencias-en-diferencias (Dif-Dif).

Para asegurar de la mejor manera posible que los cambios en los ingresos de las empresas por ventas son atribuibles al acceso al financiamiento y no a otros factores ocurridos del 2008 al 2013, se realizaron dos estrategias: 1) selección de negocios que en el 2008 eran muy similares a los que iban a recibir crédito de FIRA en años posteriores; 2) se controló por diversos conjuntos de efectos fijos para asegurar la robustez de los resultados.

En el periodo del 2008 al 2013, los resultados sugieren que, en promedio, las empresas que accedieron al financiamiento gracias a un crédito con recursos (fondeo y/o garantía) de FIRA aumentaron sus ingresos por ventas, en comparación con unidades económicas similares (controles) que no lo recibieron:

- Una empresa que, gracias a FIRA, obtuvo acceso a financiamiento en el 2011, aumentó sus ventas 37 % nominal del 2011 al 2013. Esto representa una tasa media de crecimiento anual real (TMCAR) de 3.8 por ciento.
- Una que lo tuvo en el 2012, las aumentó 46 % nominal del 2012 al 2013. Esto es una TMCAR de 9.1 por ciento.

<sup>1</sup> Ver *Anexo* para una breve historia de FIRA.

<sup>2</sup> En la fecha de elaboración de este trabajo, los microdatos de los CE 2019 todavía no estaban disponibles. Se procederá a actualizarlo cuando puedan ser consultados.

## Descripción de la inclusión financiera de las MIPYME en México

En nuestro país, la inclusión financiera se define como el acceso y uso de servicios financieros formales bajo una regulación apropiada que garantice esquemas de protección al consumidor y promueva la educación financiera para mejorar las capacidades de todos los segmentos de la población. Dicha inclusión propicia, a través del uso de productos y servicios financieros, un mejor manejo de los recursos, así como una mayor resiliencia ante fluctuaciones de la economía (en especial para las MIPYME) (CONAIF, 2016). En esta investigación, el enfoque estará en la inclusión financiera de estas unidades económicas mediante el instrumento de financiamiento.

Sin embargo, no existe una definición universal para este tipo de empresas; se han utilizado diferentes variables para establecer un parámetro máximo de lo que puede ser una MIPYME: el número de trabajadores, el total de ventas anuales, los ingresos o los activos fijos, incluso, el sector al que pertenecen. En México, la Secretaría de Economía utiliza la cantidad de empleados combinada con las ventas anuales; el INEGI clasifica a los negocios por personal ocupado; el Banco Nacional de Comercio Exterior (BANCOMEXT) toma en cuenta las ventas de exportación; y, finalmente, FIRA estratifica a sus acreditados finales (incluyendo a las personas morales) con base en sus saldos de crédito vigente.

Las MIPYME son la columna vertebral de la mayoría de las economías de todo el mundo y desempeñan un papel clave, en especial, en los países emergentes, donde contribuyen de manera importante a la generación de empleo e ingresos y son uno de los principales motores para el alivio de la pobreza y el desarrollo (Rojas Suárez, 2007). En México, comenzaron a adquirir mayor importancia en las décadas de los 50 y 60 (IILSEN, 2002). Actualmente, representan 99.8 % del total de unidades económicas en nuestro país (95 % micro, 4 % pequeñas y 0.8 % medianas), abarcan 68.4 % del personal ocupado total y generan 52.2 % de los ingresos (INEGI, 2020). Esto indica su relevancia social y su potencial para el crecimiento nacional.

Para que las MIPYME se desarrollen y perduren en el mercado, es fundamental que cuenten con un mayor acceso al financiamiento, ya que, de acuerdo con la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL) (2016), las empresas que tienen un crédito presentan un mayor crecimiento en ventas, márgenes más elevados de producción y una inversión más alta en maquinaria y equipo. Este argumento se basa en el modelo de racionamiento de crédito por información asimétrica de Stiglitz y Weiss (1981) y Besley (1994), donde la cantidad de crédito ofrecida no es eficiente en el sentido de Pareto. Por lo tanto, una expansión del crédito hacia las firmas que no tienen suficiente colateral (usualmente las MIPYME) tiene ganancias en eficiencia, bienestar e igualdad. La razón es que los retornos al capital son altos en el caso de las firmas racionadas (Banerjee & Duflo, 2014). Sin embargo, en la mayoría de las situaciones, los bancos comerciales han tenido dificultades para proporcionar un acceso al financiamiento a las MIPYME de manera constante y en una mayor proporción. Estas unidades económicas no solo son un motor importante para la creación de empleos, sino que, con un financiamiento adecuado, pueden actuar como incubadoras de proyectos de gran escala (Rojas Suárez, 2007).

Para describir estadísticamente el acceso al financiamiento de las MIPYME en México, existen varias fuentes de información. Sin embargo, no hay registros administrativos públicos ni un censo que cubra el total de las regiones y de las unidades económicas bajo cualquiera de sus definiciones. Por ello, se utilizarán tres fuentes estadísticas del INEGI: a) los Censos Económicos, b) la Encuesta Nacional de Financiamiento de las Empresas (ENAFIN) 2018 y c) la Encuesta Nacional sobre Productividad y Competitividad de las Micro, Pequeñas y Medianas Empresas (ENAPROCE) 2018.<sup>3</sup> Los CE 2014 establecen que 84 % del total de los negocios no tuvieron financiamiento durante el 2013: 84, 74 y 65 % para

3 Los CE no consideran a las actividades agropecuarias en su universo, y en las localidades menores a 2 500 habitantes se entrevista solo a una muestra de las unidades económicas. La ENAFIN y la ENAPROCE comparten que su muestra parte de las empresas identificadas en los CE, y su unidad de observación es la empresa establecida; además, la ENAFIN solo considera a municipios con más de 50 mil habitantes; por su parte, la ENAPROCE únicamente toma en cuenta a empresas con actividades de manufacturas, comercio y grupo de sectores específicos de los servicios privados no financieros.



los estratos de unidad económica micro, pequeña y mediana, respectivamente. Las microempresas que accedieron a un financiamiento lo hicieron, en su mayoría, de fuentes no bancarias (cajas de ahorro, socios, familiares y prestamistas). La ENAFIN 2018 muestra que la falta de financiamiento y el costo de este son factores principales que afectaron el crecimiento de las empresas. Del total de las unidades económicas, 76 % no solicitaron un crédito el año anterior: 82, 73 y 58 % para los estratos de empresa micro, pequeña y mediana, en ese orden. La ENAPROCE 2018 establece que la razón fundamental por la que no les otorgan financiamiento cuando lo solicitan es por no tener garantías o aval.

### Limitantes para la inclusión financiera de las MIPYME en México

Como se mencionó en la sección anterior, existe un acceso limitado de estas empresas a los servicios financieros ofrecidos por los bancos, en especial en Latinoamérica. Hay cuatro tipos de obstáculos principales para la inclusión financiera de las MIPYME (Rojas Suárez, 2007): 1) impedimentos de naturaleza social y económica, 2) el método de operación del sector bancario tradicional que previene una mayor penetración financiera, 3) deficiencias institucionales (marco legal y gobernanza) y 4) re-

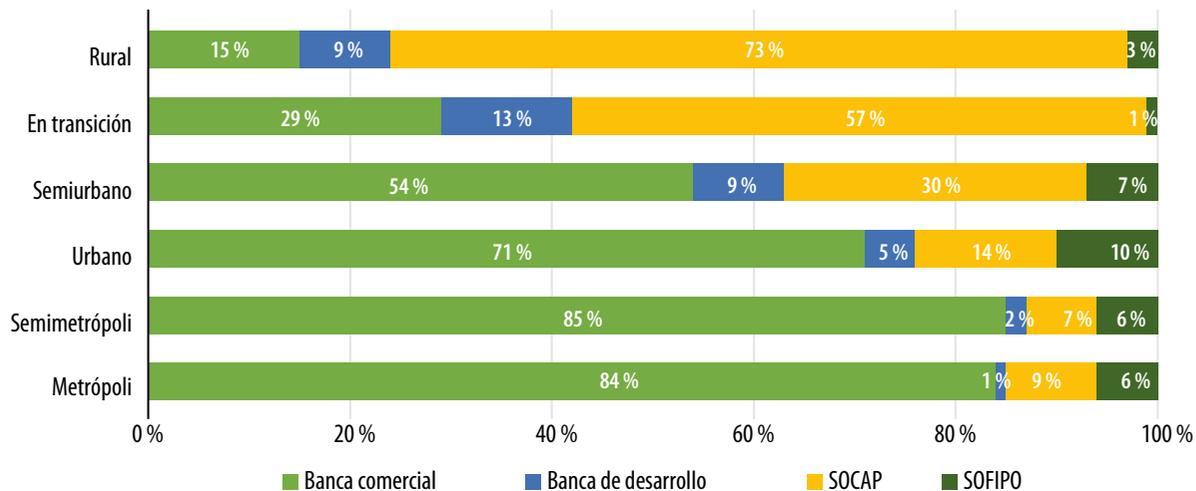
gulaciones que tienden a distorsionar la provisión de servicios financieros.

Las barreras por el lado de la demanda están representadas, sobre todo, por los obstáculos de naturaleza social y económica. Existe una relación positiva entre un mayor desarrollo social (acceso a servicios de salud y educación, por ejemplo) y la penetración financiera. En términos generales, los países con mayor acceso a los servicios sociales y que gozan de una mejor calidad de vida son los que, también, han desarrollado una *cultura financiera* más fuerte, en la que el uso de los servicios financieros a través de los mercados formales se vuelve indispensable; asimismo, cabe señalar un bajo nivel de confianza y credibilidad en el sistema bancario. Las crisis económicas y financieras en América Latina en las últimas tres décadas del siglo XX generaron importantes pérdidas para los ahorradores; esto se traduce en un temor (fundamentado en experiencias previas) con el sistema bancario tradicional (Rojas Suárez, 2007).

Los obstáculos por la parte de la oferta se derivan del método de operación del sector bancario tradicional, el cual se traduce en altos costos de transacción, asociados a la intermediación financiera de pequeñas operaciones y a la falta de información de los solicitantes de crédito (Roa & Carvallo, 2018).

Gráfica

#### Presencia de sucursales financieras por condición de municipio



Fuente: elaboración propia con la base de datos de inclusión financiera (CNBV), diciembre del 2020.

También, un factor importante es el número insuficiente de sucursales, en especial, en el ámbito rural, que puede deberse a que los bancos privados no encuentran rentable establecer oficinas donde la densidad de población es muy baja, ya que el nivel de actividad puede ser insuficiente para cubrir sus costos fijos (Rojas Suárez, 2007). La base de datos de inclusión financiera de la Comisión Nacional Bancaria y de Valores (CNBV, 2020) permite estudiar la infraestructura financiera; muestra que en 1 229 municipios (49.9 % de los del país) no hay sucursales bancarias ni cajas populares. Además, hay un alto grado de exclusión en los ayuntamientos rurales pues casi 93 % no tiene ninguna institución financiera; 7 % de los que sí cuenta con una están atendidos en su mayoría por intermediarios financieros no bancarios; y solo 15 % tiene una sucursal de la banca comercial. Para los 623 municipios del país que se encuentran en transición, 66 % no tiene ninguna institución y del resto, solo 29 % corresponde a la banca comercial (ver gráfica). En cambio, en los urbanos, únicamente en 2.2 % no hay alguna sucursal bancaria.

Por el lado de la normatividad, las barreras que se originan en el marco legal de los bancos y su gobernanza suelen ser prácticas tradicionales que se han convertido en su método de operación. Un ejemplo son los requisitos de documentación para abrir cuentas bancarias o para solicitar financiamiento, que incluyen ineficiencias en la recopilación y procesamiento de información, así como problemas institucionales y socioeconómicos que dificultan la evaluación financiera de un potencial cliente bancario. Por otra parte, los altos costos de mantener una cuenta bancaria (incluidos los requisitos de saldo mínimo) o un crédito (con los esquemas de pago que no reflejan los flujos de efectivo) están directamente relacionados con el método de operación del sistema bancario (Rojas Suárez, 2007).

Por último, existen regulaciones que tienden a distorsionar la provisión de servicios financieros y frenan el proceso de uso bancario; estas distorsiones varían de un país a otro y se pueden agrupar en tres categorías: a) de evaluación de riesgos de

rivadas de la adopción de Basilea I<sup>4</sup> (y una mención muy breve con respecto a la propuesta de Basilea II), b) el impuesto sobre las transacciones financieras y c) topes de las tasas de interés (Rojas Suárez, 2007). En México, por ejemplo, la CNBV no considera en las cajas de ahorro la cartera garantizada para el cálculo de reservas, como sí lo hace con los bancos.

Los cuatro tipos de barreras mencionadas afectan, en mayor medida, a las empresas del sector primario y ámbito rural debido a la insuficiencia de infraestructura financiera en las zonas donde se ubican, a la mayor exposición a riesgos naturales, a la alta fragmentación geográfica, al alto costo de otorgar préstamos pequeños, a la poca disponibilidad de servicios técnico-financieros que acompañen a los productores, a la presencia de asimetrías de información en los mercados financieros rurales, así como a la carencia de garantías de los productores, a su orientación comercial mixta (agricultura familiar y MIPYME rural) y a la naturaleza (con frecuencia informal y de ingresos estacionales) de sus negocios. Por lo tanto, en ambos se necesitan políticas públicas especiales, con acompañamiento del sector privado, para impulsar el acceso al financiamiento, en especial, para las micro, pequeñas y medianas empresas.

Promover esta acción en el sector primario es fundamental. “La evidencia histórica indica que ningún país ha logrado superar la pobreza sin haber alcanzado grandes incrementos en la productividad de las actividades primarias, que facilitan la producción de los excedentes de alimentos, trabajo e incluso recursos financieros necesarios para apuntalar la industrialización y urbanización de un país...” (CEPAL, 2017). Una de las soluciones que Levy (2018) propone para aumentar la inclusión financiera de las empresas es impulsar créditos adecuados a las necesidades de las MIPYME a través de la banca de desarrollo.

4 Acuerdo que recomienda que los bancos asignen una ponderación de riesgo igual a cero a la deuda pública de los países de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE) y una ponderación de 100 % a las naciones que no pertenecen a ella (a menos que la deuda se emita y suscriba en moneda local).

## La banca de desarrollo como herramienta para impulsar la inclusión financiera

Los retos para la banca de desarrollo en materia de acceso al financiamiento son la identificación de las personas excluidas o racionadas de financiamiento y realizar una segmentación adecuada para impulsar productos de acuerdo con sus necesidades (Lecuona, 2016). Para aumentar esta inclusión, la participación de los bancos de desarrollo busca generar adicionalidad financiera, que se divide en (Molina *et al.*, 2018):

- Intensiva. Se refiere a mejorar las condiciones del crédito (tasa de interés más baja, así como plazo más largo y/o adecuado a los ciclos productivos de la actividad) a través de las acciones de la banca de desarrollo.
- Extensiva. Hace referencia a la cantidad de crédito adicional que se otorga gracias a las acciones de la banca de desarrollo; es decir, se refiere a cuando el monto de crédito disponible por acreditado sin la banca de desarrollo ( $Y_i$ ) logra pasar de  $Y_i$  a  $Y_i + \varepsilon_i$ , donde  $Y_i \geq 0$ . Por lo tanto, se puede dividir en dos:
  1. Acceso. Cuando  $Y_i = 0$ , el sujeto  $i$  está restringido crediticiamente; entonces, al aumento del monto de crédito ( $\varepsilon_i$ ) también se le conoce como *acceso al financiamiento*.
  2. Monto adicional. Cuando  $Y_i > 0$ , gracias a la acción de la banca de desarrollo, el sujeto  $i$  adquiere una cantidad adicional ( $\varepsilon_i$ ) a la que ya tenía acceso.

En México, el objetivo fundamental de la banca de desarrollo es la adicionalidad financiera extensiva, es decir, canalizar crédito para quien está restringido, ya sea por falta de acceso al financiamiento o debido a que el monto que le ofrece es insuficiente para la realización de su proyecto. Se considera que, además, debe promover que el crédito sea adecuado a las necesidades de sus clientes, es decir, tiene que brindar adicionalidad financiera intensiva.

Para el propósito de este análisis, se utilizará a FIRA como banca de desarrollo clave, debido a sus objetivos de promover la financiación privada a sectores estratégicos de la población:

- A los posibles prestatarios de sectores con alto riesgo (agrícola y rural) por la disminución de la pérdida esperada.
- A los posibles prestatarios con un proyecto rentable, pero que no tienen suficientes garantías.
- Para proyectos relativamente pequeños.

## Impacto de la inclusión financiera que otorga FIRA en el nivel de ventas en México

Como señalan Molina *et al.* (2018), el Banco Mundial (BM) (2018), la OCDE (2017), así como Gozzi y Schmukler (2016), la medición de la adicionalidad es un gran desafío; en otras palabras, es difícil identificar los efectos causales de la inclusión financiera. Los primeros trabajos de Meyer y Nagarajan (1996) discutieron algunas de las principales dificultades para evaluar el impacto de los esquemas públicos de garantías, todas ellas todavía relevantes en la actualidad:

1. Fungibilidad. El crédito se puede utilizar para muchos propósitos y es difícil comparar tal heterogeneidad. Incluso, si está etiquetado para un propósito específico, el prestatario puede usar el dinero para otra inversión.
2. Contrafactual. Es difícil establecer un grupo de control dado que el de tratamiento de las MIPYME puede ser bastante heterogéneo. Además, la incidencia de los programas especiales de la banca de desarrollo (como los esquemas de garantía) no es aleatoria; por lo tanto, también existen problemas con la autoselección.
3. El *tratamiento* es, a menudo, multifacético. Los programas de la banca de desarrollo con frecuencia involucran un esquema de garantía, una capacitación y/o una asistencia técnica. Además, las características del crédito son bastante heterogéneas (monto del préstamo,

plazo, tasa de interés, propósito, calendario de amortización). Por lo tanto, aislar el efecto del crédito es bastante difícil.

Por estas razones, en la investigación no se analizará el impacto del crédito, sino que se limitó a medir el de la inclusión financiera (vía acceso al financiamiento) en las ventas de las MIPYME.

### Efecto de causalidad entre el acceso al crédito y el nivel de ingreso

Acceder al financiamiento es un factor fundamental para lograr que la empresa logre las inversiones que maximizarán su ingreso. Además, en los casos donde el crédito proviene de la banca de desarrollo, el impacto al ingreso también podría deberse a la capacitación, la asesoría y el seguimiento que dicha figura brinda a sus acreditados. Un aumento del nivel de ventas puede ser ocasionado por múltiples factores; en esta investigación se intentará aislar el efecto del acceso al crédito.

El modelo teórico que se considera es el clásico de una empresa que maximiza su utilidad. La función de producción depende del nivel de capital y de trabajo:  $y_1=f(k_1, n_1)$  y  $y_2=f(k_2, n_2)$ . Para adquirir el primero en el segundo periodo que maximice su utilidad, el negocio podría optar por un financiamiento considerando que, al final, vende todo el capital depreciado; así, podrá maximizar los beneficios de acuerdo con la siguiente función:

$$\begin{aligned} & \underbrace{\frac{P_1 f(k_1, n_1)}{\text{Ingresos primer periodo}} - \frac{P_2 (k_2 - k_1) - P_1 w_1 n_1}{\text{Costos totales del primer periodo}}}_{\text{Ingresos primer periodo}} \\ & + \underbrace{\frac{P_2 f(k_2, n_2)}{1+i} + \frac{P_3 (\delta(k_2 - k_1) + \delta^2 k_1)}{1+i}}_{\text{Ingresos segundo periodo}} \\ & - \underbrace{\frac{P_2 w_2 n_2}{1+i}}_{\text{Costos totales del segundo periodo}} \end{aligned}$$

donde la función de utilidad tiene la siguiente notación:

$P_1$  = precio de los productos finales durante el periodo 1.

$P_2$  = precio de los productos finales durante el periodo 2.

$w_1$  = salario real durante el periodo 1.

$w_2$  = salario real durante el periodo 2.

$i$  = tipo de interés nominal entre los periodos 1 y 2.

$k_1$  = capital acumulado de la empresa en el comienzo del periodo 1.

$k_2$  = capital acumulado de la empresa en el inicio del periodo 2.

$\delta$  = factor de depreciación del capital.

La empresa es tomadora de los precios, los salarios y la tasa de interés.

### Modelo empírico

Los CE son el acervo estadístico más rico y completo del país de la actividad económica. Este programa del INEGI tiene una frecuencia lustral. Entre los temas que abarca está el de la inclusión financiera. Su elemento de observación son las unidades económicas fijas o semifijas; la edición 2009 obtuvo información de 3 724 019 empresas; por su parte, la del 2014, de 4 230 745 unidades económicas.

En las localidades rurales, el acceso al crédito suele ser bajo por las limitaciones existentes. En el 2008 y 2013, 3.3 y 15.1 %, respectivamente, de las unidades económicas rurales contaban con este beneficio. Un aumento en su nivel en los respectivos años se correlaciona con una elevación en el personal ocupado, asalariado y en los ingresos por ventas. Esto demuestra la importancia e impacto que tiene el financiamiento, sobre todo en los municipios rurales (ver cuadro 1).

### Estrategia empírica

El objetivo es medir el impacto del acceso al financiamiento mediante un crédito con recursos o ga-

Cuadro 1

## Empresas en área rural

Indicadores	2008				2013			
	Con acceso a crédito		Sin acceso a crédito		Con acceso a crédito		Sin acceso a crédito	
	Absoluto	%	Absoluto	%	Absoluto	%	Absoluto	%
Núm. de empresas	35 539	3.33	1 031 964	96.67	239 451	15.17	1 339 185	84.83
Micro	32 925	3.15	1 013 306	96.85	229 939	14.90	1 313 573	85.10
Pequeña	1 869	10.05	16 722	89.95	7 115	25.28	21 027	74.72
Mediana	574	25.32	1 693	74.68	1 897	33.00	3 852	67.00
Grande	171	41.30	243	58.70	500	40.55	733	59.45
Personal ocupado	280 942	8.91	2 872 560	91.09	1 170 317	23.41	3 829 792	76.59
Personal asalariado	167 503	14.46	991 285	85.54	576 643	27.51	1 519 103	72.49
Ingresos por ventas	\$199 000 000	14.75	\$1 150 000 000	85.25	\$1 070 000 000	30.66	\$2 420 000 000	69.34
Ingresos por ventas (promedio por empresa)	\$5 599.48	83.40	\$1 114.38	16.60	\$4 468.56	71.20	\$1 807.07	28.80

Fuente: elaboración propia con datos obtenidos de INEGI. *Censos Económicos*. Ediciones 2009 y 2014.

rantía de FIRA en los ingresos de las empresas por ventas. Para ello, existen dos retos principales:

- FIRA, al ser una banca de segundo piso, no cuenta con información acerca de los ingresos de los negocios que reciben un crédito con sus recursos.
- Para aislar el efecto del acceso al financiamiento, se debe construir un contrafactual (la situación de los ingresos de las empresas sin la intervención de FIRA).

Para hacer frente a estos retos y estimar el efecto del acceso al financiamiento a través de un crédito de FIRA, se explora: la variación en el tiempo en que las empresas adquirieron un crédito de

FIRA y la disponibilidad de datos de ingresos por ventas en los CE 2009 y 2014. Se usa el año (2011 al 2013) en el que el negocio adquirió un crédito con recursos de FIRA como un cheque exógeno que, potencialmente, tiene un efecto positivo en los ingresos de la empresa, en un marco de Dif-Dif.

Durante el periodo del 2011 al 2018, FIRA otorgó créditos para 3.2 millones de personas físicas y 7 876 morales. Para esta investigación, se considera solo a las unidades económicas que recibieron por primera vez un crédito de FIRA durante el 2011 al 2013; es decir, 2 330 (por cada año se tiene 41, 31 y 28 % de las empresas para el 2011, 2012 y 2013, respectivamente) (ver cuadro 2).

Cuadro 2

## Empresas con financiamiento de FIRA

	Año	Empresas	Porcentaje
Tratadas	2011	974	12.37
	2012	744	9.45
	2013	612	7.77
	2014	744	9.45
	2015	409	5.19
	2016	646	8.20
	2017	810	10.28
	2018	2 937	37.29
	Total	<b>7 876</b>	<b>100.00</b>

Fuente: elaboración propia.

Las 2 330 empresas consideradas (tratadas entre el 2011 y 2013) corresponden al estrato más pequeño de FIRA, E1 (microempresa); es decir, su necesidad de crédito es menor a las 10 mil unidades de inversión (UDI), mientras que su promedio de activos es de 6 473 000 pesos y el de pasivos, de 3 463 000 pesos.

De las que recibieron financiamiento durante el periodo del 2008 al 2013, se encontraron (a través del Registro Federal de Contribuyentes) a 463 en ambas ediciones de los CE, las cuales reportaron, para el 2008, que no tuvieron créditos comerciales, su ingreso promedio anual fue de 220 929 pesos y la media de personas ocupadas fue de 123. De acuerdo con la clasificación del INEGI, 25.3, 37.6, 25.7 y 11.4 % de las empresas tratadas son micro, pequeñas, medianas y grandes, respectivamente.

El marco de Dif-Dif se basa en el supuesto de que existen unidades económicas que aparecen en ambas ediciones de los Censos que no han recibido créditos de FIRA y son contrafactuales informativos para las empresas acreditadas de FIRA. El supuesto clave para la identificación del efecto de FIRA en los ingresos de los negocios es que, en ausencia del crédito y condicionado en variables de control, la variable de impacto (ingresos por ventas) hubiese evolucionado de una manera similar en el grupo de control. A este supuesto se le conoce como *tendencia paralela*.

### ***Estrategia de identificación del impacto***

La fuente de identificación es la diferencia en el año en el que las empresas accedieron a un crédito con recursos de FIRA por primera vez en el periodo 2011-2013. Para cada año, el grupo de tratamiento está integrado por estas. Se usa el año (2011 al 2013) en que la unidad económica tuvo acceso al financiamiento como un cheque exógeno que, potencialmente, tiene un efecto positivo en los ingresos de la empresa, en un marco de Dif-Dif.

El grupo de control se integra tanto por empresas que accedieron al financiamiento por primera vez en un año distinto —antes o después— como

por las parecidas en la línea base (pretratamiento). Para ello, se adoptó un enfoque de diferencias múltiples en el que se compararon los ingresos por ventas antes y después de acceder al financiamiento.

Sin embargo, las especificaciones usadas para estimar el impacto no distinguen el monto, la duración del crédito, el número de créditos, ni su tipo (p. ej. crédito de avío vs. refaccionario). La especificación base supone un efecto choque del acceso al financiamiento; es decir, existe un impacto una vez que una empresa es expuesta al tratamiento, pero no después. Lo anterior, ya que se está estudiando el impacto del acceso al financiamiento, no del crédito *per se*.

Para asegurar de la mejor manera posible que los cambios en los ingresos de las empresas por ventas son atribuibles al acceso al financiamiento y no a otros factores ocurridos del 2008 al 2013, se realizaron dos estrategias: 1) seleccionar a unidades económicas que, en el 2008, eran muy similares a las que iban a recibir crédito de FIRA en años posteriores y 2) controlar por diversos conjuntos de efectos fijos para asegurar la robustez de los resultados.

Para seleccionar empresas control parecidas, se realizó un *propensity-score match*. Del total de empresas registradas en los CE 2009 y 2014, 2.1 millones aparecen en ambas ediciones; este es el universo potencial de controles (ya que se necesitan, al menos, dos observaciones de ingresos por ventas) (ver cuadro 3). Estas empresas muestran características que reflejan un *survivor bias*,<sup>5</sup> en comparación con todo el universo de unidades del 2009; las que aparecen en los dos levantamientos de los Censos mostraron un nivel de crédito más alto (14.6 vs. 15 %), un promedio de ingresos 25 % más elevado y casi una persona ocupada, en promedio, más por empresa. Del total de posibles controles, 94.1 % son micro; 4.5 %, pequeñas; y 1.1 %, medianas empresas.

5 Es la tendencia de las empresas fallidas a ser excluidas de los estudios de desempeño porque ya no existen, por lo tanto, solo quedan las que lograron sobrevivir.

Cuadro 3

## Empresas que aparecen en los dos levantamientos de los Censos

Descriptivo	Datos de las empresas		
	2009	2014	En ambos (valores del 2009)
Total	3 724 019	4 230 745	2 159 804
Empresas con crédito durante el año previo	545 186	628 263	324 310
Promedio de ingresos anuales (miles de pesos)	4 478.53	4 490.37	5 590.49
Promedio de ocupados	5.4	5.1	6.3

Fuente: elaboración propia con datos de INEGI. *Censos Económicos*. Ediciones 2009 y 2014.

Entonces, la especificación del *propensity-score match* consiste en:

$$y_i^* = \alpha_i + \beta_1 \text{valor agregado}_i + \beta_2 \text{inversión total}_i + \beta_3 \text{formación bruta de capital}_i + \Sigma_i$$

donde:

$y_i = 0$  para los posibles controles.

$y_i = 1$  para los tratamientos del valor de la producción que se añade durante el proceso de trabajo, en la inversión total y en la formación bruta de capital fijo.

Con la estrategia se estima una *propensidad* de recibir acceso al financiamiento con un crédito con recursos de FIRA (ser tratado). Esta (entre 0 y 1) se usa para determinar cuáles empresas son parecidas a las de tratamiento; es decir, para cada unidad económica del tratamiento se elige un número arbitrario de empresas de controles. No existe un método para calcular una cantidad óptima, por lo que se procede a realizar las estimaciones en el marco Dif-Dif con 10, 20, 30, 40, 50, 60 y 70 controles (sin reemplazo) para cada empresa tratada. Esto permitirá comprobar la robustez de los resultados. Una vez formados los grupos de control, para cada uno se realiza una especialización básica de Dif-Dif.

Cuadro 4

Regresión:  $\ln y_{it} = \alpha_i + \alpha_t + \beta^{DDT} T_{ij} + \varepsilon_{it}$ 

Año	Número de controles por cada empresa tratamiento						
	10	20	30	40	50	60	70
Tratamiento 2011	0.382** (0.168)	0.378** (0.166)	0.369** (0.166)	0.365** (0.165)	0.365** (0.165)	0.368** (0.165)	0.367** (0.165)
Tratamiento 2012	0.475** (0.198)	0.471** (0.197)	0.463** (0.196)	0.458** (0.196)	0.458** (0.195)	0.461** (0.195)	0.461** (0.195)
Tratamiento 2013	0.248 (0.204)	0.244 (0.202)	0.235 (0.201)	0.231 (0.201)	0.231 (0.201)	0.234 (0.201)	0.233 (0.201)
Dummy 14	-0.156*** (0.029)	-0.152*** (0.021)	-0.143*** (0.018)	-0.139*** (0.016)	-0.139*** (0.014)	-0.142*** (0.013)	-0.141*** (0.012)
N (observaciones)	11 048	19 445	27 067	34 143	40 791	47 000	53 022

Nota: se muestran los errores estándar entre paréntesis.

\* $p < 0.10$ .

\*\* $p < 0.05$ .

\*\*\* $p < 0.01$

$t = 2008, 2013$ .

$i = 1, \dots, n$  empresas.

$y_{it}$  = ingreso por ventas para la empresa  $i$  para el año  $t$ .

$\alpha_i$  = efecto fijo por empresa.

$\alpha_t$  = *dummy* para los años.

$T_{ij}$  toma el valor de 0 si la empresa no tuvo acceso a crédito a través de FIRA en el año  $j = 2011, 2012$  o 2013.

Fuente: elaboración propia.

### Resultados del modelo empírico

Se encontró que, en promedio, en el periodo del 2008 al 2013, los negocios que accedieron al financiamiento gracias a un crédito con recursos (fondo y/o garantía) de FIRA aumentaron sus ingresos por ventas, en comparación con otros similares (controles) que no lo recibieron:

- Una empresa que, gracias a FIRA, obtuvo acceso a financiamiento en el 2011, aumentó sus ventas 37 % nominal del 2011 al 2013. Esto representa una TMCAR de 3.8 por ciento.
- Una que lo tuvo en el 2012, las aumentó 46 % nominal del 2012 al 2013. Esto es una TMCAR de 9.1 por ciento.

## Conclusiones

México presenta niveles de inclusión financiera bajos en comparación con naciones de economías similares; esto es, en parte, debido a que es un país heterogéneo en las características de las empresas (que, en su mayoría, son micro), además de que buena parte de ellas se encuentra en municipios rurales que no cuentan con cobertura financiera tradicional. Por ello, FIRA desempeña un papel importante al diseñar créditos accesibles para la población subatendida y desatendida por la banca comercial.

Los encargados de formular políticas públicas tienen varias alternativas para intentar aumentar el ingreso de las MIPYME. Esta investigación muestra que el acceso al financiamiento mediante un crédito con recursos de FIRA eleva el ingreso de las unidades económicas beneficiadas. Los resultados se basan en la información de los CE y en una población de empresas acreditadas de FIRA. Se utilizó una base de datos panel con diversas especificaciones para asegurar la robustez de estos. Aun con estas variaciones, los hallazgos no cambian de manera sustancial: el acceso al financiamiento es una importante herramienta para aumentar el ingreso de las empresas.

Este hallazgo corrobora la hipótesis inicial y va de acuerdo con la literatura empírica y teórica.

Además, marca una pauta a los hacedores de políticas públicas para promover programas para que las empresas accedan a financiamientos de la banca de desarrollo. No obstante, como sucede por lo normal en los trabajos empíricos, los resultados se deben tomar con cautela, la muestra es pequeña para asegurar una validez externa. En este mismo sentido, los hallazgos no implican que se deba proveer de financiamientos a todos los negocios de México. FIRA, tradicionalmente, ha impulsado su acceso de una manera responsable, por lo que no se podría esperar el mismo efecto positivo de acceso al financiamiento si esto llegara a cambiar.

Mirando hacia el futuro, este análisis sugiere que el diseño de políticas públicas sustentables (de la mano de los intermediarios financieros privados) para impulsar el acceso al crédito de la población subatendida y desatendida por la banca tradicional puede brindar mejores condiciones de bienestar. Dichas políticas deberán contar con un seguimiento puntual para estudiar los posibles efectos adversos, tanto para la banca comercial (cartera vencida y altos costos administrativos) como para los beneficiarios del acceso al financiamiento (proyectos de inversión no rentables o dificultad para pagar los créditos). La investigación futura en esta área sería valiosa.

## Fuentes

- Asdrubali, P. & S. Signore. "The Economic Impact of EU Guarantees on Credit to SMEs Evidence from CESEE Countries", en: *European Economy*. Núm. 2, 2015.
- Banerjee, A. & E. Duflo. "Do Firms Want to Borrow More: Testing Credit Constraints Using a Targeted Lending Program", en: *The Review of Economic Studies*. Vol. 81. Oxford University Press on behalf of The Review of Economic Studies Limited. 2014, pp. 572-607 (DE) <https://economics.mit.edu/files/2707>
- Bellone, F., P. Musso, L. Nesta & S. Schiavo. *Financial constraints as a barrier to export participation*. Document de travail, OFCE. No. 2008-09. 2008 (DE) <https://hal-sciencespo.archives-ouvertes.fr/hal-00973112/document>
- Besley, T. "How do Market Failures Justify Interventions in Rural Credit Markets?", en: *The World Bank Research Observer*. Vol. 9, núm. 1, 1994, pp. 27-47.



- Bruhn, M. & I. Love. "The Real Impact of Improved Access to Finance: Evidence from Mexico", en: *The Journal of Finance*. Vol. 69, núm 3, 2014, pp. 1347-1376.
- CEPAL. "Inclusión financiera de la pequeña y mediana empresa en Colombia", en: *Serie Financiamiento para el Desarrollo*. Núm. 262, 2016, p. 31.
- \_\_\_\_\_. *Inclusión financiera de pequeños productores rurales*. Santiago, 2017.
- CNBV. *Bases de datos de inclusión financiera*. 2020 (DE) <https://www.gob.mx/cnbv/acciones-y-programas/bases-de-datos-de-inclusion-financiera>
- CONAIF. *Política nacional de inclusión financiera*. Ciudad de México, 2016.
- Del Ángel, M. G. *Transformaciones del crédito agropecuario. El caso de FIRA en perspectiva histórica*. CIDE. Documento de trabajo núm. 320. División de Economía. 2004 (DE) <http://cide-osu.cide.edu/Sample%20Website/pagina%20web/3.Documentos/DT%20FIRA%20delangel.pdf>
- Gozzi, J. C. & S. Schmukler. *Public Credit Guarantees and Access to Finance*. Warwick Economics Research Paper Series. Núm. 1122, 2016.
- IILSEN. *Micro, pequeñas y medianas empresas en México. Evolución, funcionamiento y problemática*. Instituto de Investigación Legislativa del Senado. Legislatura LVIII. 2002, pp. 7-8 (DE): <http://bibliodigitalibd.senado.gob.mx/handle/123456789/1718>
- INEGI. "Estadísticas a propósito del Día de las Micro, Pequeñas y Medianas Empresas", en: *CrisolHoy*. 2020 (DE) <https://crisolhoy.com/2020/06/26/estadisticas-a-proposito-del-dia-de-las-micro-pequenas-y-medianas-empresas/>
- Instituto Tecnológico Autónomo de México (ITAM). *Estudio de evaluación de los Fideicomisos Instituidos en Relación con la Agricultura (FIRA) del ejercicio fiscal 2017, en cumplimiento del artículo 55 BIS 2 de la Ley de Instituciones de Crédito*. 2018 (DE) <https://www.gob.mx/shcp/documentos/estudio-de-evaluacion-de-los-fideicomisos-instituidos-en-relacion-con-la-agricultura-fira-2017>
- Lecuona, R. "Promoción de finanzas incluyentes mediante prácticas innovadoras de la banca de desarrollo; el caso de las PYMES en México", en: *Serie Financiamiento para el Desarrollo*. Núm. 261. CEPAL, 2016, p. 5.
- Levine, R. "Finance and Growth: Theory and Evidence", en: Aghion, P., Steven N. Durlauf (eds.). *Handbook of Economic Growth*. Elsevier, 2004.
- Levy, S. *Esfuerzos mal recompensados: la elusiva búsqueda de la prosperidad en México*. México, Banco Interamericano de Desarrollo, 2018.
- Meyer, R. L. & G. Nagarajan. *Evaluating credit guarantee programs in developing countries*. Columbus, Ohio, Rural Finance Program, Department of Agricultural Economics and Rural Sociology, The Ohio State University, 1996.
- Molina Sánchez, H., P. Pombo González, J. N. Ramírez Sobrino & J. F. Figueiredo. *Conceptual framework for information on the outreach, additionality and financial sustainability of public credit guarantee schemes (CGSs)*. ALIDE, 2018 (DE) <https://www.alide.org.pe/wp-content/uploads/2018/10/Libro-CSG-%c3%baltima-versi%c3%b3n-2018.pdf>
- OCDE. *Evaluating Publicly Supported Credit Guarantee Programmes for SMEs*. 2017 (DE) <https://www.oecd.org/finance/Evaluating-Publicly-Supported-Credit-Guarantee-Programmes-for-SMEs.pdf>
- Roa, M. J. & O. A. Carvallo. *Inclusión financiera y el costo del uso de instrumentos financieros formales: las experiencias de América Latina y el Caribe*. Washington, D. C., 2018.
- Rojas Suárez, L. *The Provision of Banking Services In Latin America: Obstacles and Recommendations*. Working Paper Number 124. Center for Global Development, 2007 (DE) [https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract\\_id=1003243](https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=1003243)
- Stiglitz, J. E. & A. Weiss. "Credit Rationing in Markets with Imperfect Information", en: *The American Economic Review*. Vol. 71, núm. 3, 1981, pp. 393-410.
- World, B. G. *Toolkit for Impact Evaluation of Public Credit Guarantee Schemes for SMEs*. Washington, D. C., 2017 (DE) <https://openknowledge.worldbank.org/bitstream/handle/10986/30514/130358-WP-PUBLIC-Toolkit-Toolkit-for-Impact-Evaluation-of-Public-Credit-Guarantee-Schemes-for-SMEs.pdf?sequence=5&isAllowed=y>

## Anexo

### Breve historia de FIRA

En 1954, el gobierno federal publicó en el *Diario Oficial de la Federación* un decreto presidencial mediante el cual dio origen a los Fideicomisos Instituidos en Relación con la Agricultura. En él se establece que el Banco de México (BANXICO) desempeñará un papel de fiduciario, es decir, una

relación financiera en la cual fondeará los recursos al fideicomisario (FIRA) para operar sus productos y programas; además, la Secretaría de Hacienda y Crédito Público (SHCP) será la fideicomitente. FIRA fue creado con el objetivo de incentivar una mayor participación de los intermediarios financieros privados en el otorgamiento de crédito para la agricultura, la ganadería, la avicultura y la pesca, así

como promover un mercado de servicios técnicos para el sector agroalimentario y rural de México, con la finalidad de aumentar la productividad de las actividades agrícolas y rurales.

En sus inicios, FIRA contó con los recursos para impulsar financiamientos a tasas preferenciales y para otorgar asistencia técnica. Esto fue fundamental para desarrollar un mercado de servicios financieros accesibles para los productores rurales y del sector primario. En este mismo sentido, los servicios de asistencia técnica desempeñaron un papel fundamental para consolidar los proyectos de inversión y que estos se presentaran como los intermediarios financieros requerían y fueran viables financieramente. Ambos servicios fueron proporcionados por expertos del sector primario, como agrónomos, veterinarios y biólogos, además de profesionales con perfiles vinculados con la economía, la legislación, la gestión empresarial y las finanzas. De esta manera, FIRA empezó a crear equipos especializados en desarrollar y consolidar proyectos de inversión del sector agropecuario y rural de México.

Durante la segunda mitad del siglo XX, FIRA se consolidó como la principal institución para promover créditos al sector agropecuario y rural y, además, mediante sus acciones, logró que los bancos comerciales formaran sus propias áreas encargadas de otorgar créditos agropecuarios (Del Ángel, 2004). No obstante, en la última década de ese siglo ocurrieron dos acontecimientos que derivaron en cambios importantes en el accionar de FIRA: en 1994, BANXICO estableció que la financiación a FIRA terminaría en el 2013, y en 1997 dejó de recibir recursos del gobierno federal para financiar sus operaciones (ITAM, 2018). En consecuencia, FIRA sufrió dos importantes cambios: en primer lugar, modificó su estrategia para convertirse en un intermediario financiero que cumpliera con los requisitos de capitalización, transparencia y canalización eficiente de sus recursos; además, dado que ya no contaba con recursos para impulsar créditos a ta-

sas preferenciales, su operación fue transitando de, principalmente, créditos impulsados con fondeo, a los respaldados con garantía.

Para cambiar su estrategia, FIRA rediseñó sus servicios de garantía. El proceso de otorgar una se sistematizó para mejorar las prácticas desde el origen, concesión, pago y recuperación del servicio, lo que ayuda a aumentar la eficiencia financiera. El objetivo principal de este rediseño fue tener un mayor enfoque al acreditado final. Con este fin, se amplió la cobertura y se proporcionó el servicio de garantía con mayor certeza a los intermediarios financieros privados. Esto aumentó la probabilidad de que los proyectos pudieran ser elegibles y viables de financiamiento.

En las primeras décadas de su creación, el fondeo a bajo costo para los intermediarios financieros privados era uno de los principales instrumentos de FIRA para impulsar el financiamiento a su población objetivo. En el 2013, cuando la línea de crédito del banco central terminó, FIRA tuvo que ajustar su operación para ser atractivo para los intermediarios financieros y focalizar de una mejor manera sus esfuerzos. Por un lado, para ofrecer recursos a tasas atractivas, tuvo que diferenciar el costo del fondeo para cada intermediario financiero de acuerdo con su nivel de riesgo. Además, desarrolló productos acordes con las necesidades de cada tipo de acreditado para focalizar sus esfuerzos. Por este motivo, fue necesario cambiar la estratificación de sus acreditados: pasó de hacerlo con base en sus ingresos a clasificarlos de acuerdo con sus necesidades de crédito. Esta modificación permitió formar sujetos de crédito y analizar su evolución. Un aspecto importante del cambio en la estrategia de FIRA es el financiamiento a través de redes de valor, lo cual desarrolla la economía rural no solo en la producción, sino también en la comercialización y las actividades complementarias que promueven la creación de valor agregado.

# DetECCIÓN DE FACTORES DE ÉXITO en la manufactura en México mediante un modelo de datos panel de los **Censos Económicos**

## ***Detection of Success Factors in Manufacturing in Mexico Using a Panel Data Model from the Economic Censuses***

**Edgar Manuel Matus Carballo,\* Rocco Petrarca\*\* y Carlos Alberto Jiménez-Bandala\***

Este trabajo tiene por objetivo identificar factores de éxito en la manufactura de México a través de modelos de regresión con datos panel. Se considera como unidad de análisis la industria desagregada a tres dígitos del Sistema de Clasificación Industrial de América del Norte. Los datos se tomaron de los Censos Económicos del 2004, 2009 y 2014 del Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Para medir el éxito, se utilizaron como variables *proxy* los indicadores financieros: margen neto y rendimiento sobre activos. Los resultados muestran diferencias entre indicadores, pero coinciden en la significancia de variables como el trabajo no remunerado, la maquila y la publicidad. El desarrollo de las empresas impacta fa-

This paper aims to identify success factors in Mexican manufacturing industry, through panel data regression models. The analysis unit is the industry disaggregated to three digits of the North American Industrial Classification System. Data was taken from INEGI's 2004, 2009 and 2014 Economic Censuses. To measure success, financial indicators were used as proxy variables: net margin and return on assets (ROA). The results show differences between indicators but coincide in the significance of variables such as unpaid work, maquila and advertising. The development of companies has a favorable impact on the economy and the welfare of a country, which is why it is so important to

\* Universidad La Salle México, macaed00@gmail.com y carlos\_jimenez@lasalle.mx, respectivamente.

\*\* ICN Business School, roccopetrarca@gmail.com

**Nota:** esta investigación se realizó en el marco del proyecto *Patrones de éxito y fracaso en la evolución económica de los negocios identificados a partir de la minería de datos y las redes neuronales artificiales A3-S-129311* del Fondo Sectorial CONACYT-INEGI.

vorablemente la economía y el bienestar de un país, por eso es tan importante indagar sobre los factores de éxito empresarial y, de esa forma, contribuir a una mejor toma de decisiones por parte de los agentes económicos.

**Palabras clave:** panel de datos; Censos Económicos; factores endógenos.

Recibido: 13 de enero de 2021.

Aceptado: 6 de mayo de 2021.

investigate the factors of business success and thus contribute to better decision making by economic agents.

**Key words:** Data Panel Model; Economic Censuses; endogenous factors.



<a href="https://www.freepik.es/fotos/negocios">Foto de Negocios creado por pch.vector - www.freepik.es</a> / pch.vector / Freepik

## Introducción

El objetivo de este trabajo es identificar los factores de éxito en los subsectores de la manufactura de México a través de un análisis longitudinal de los Censos Económicos del 2004, 2009 y 2014, realizados por el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), con el fin de generar evidencia empírica que permita a los agentes económicos tomar decisiones en materia de gestión de los negocios.

Explicar el éxito o fracaso de las organizaciones puede tener una connotación ambigua. Lo segundo podría estar asociado con la desaparición, la quiebra o el punto de cierre de una empresa, incluso, al incumplimiento total o parcial de sus objetivos. Lo primero, en cambio, reflejaría el cumplimiento de eso pero, también, la supervivencia, el crecimiento, la sustentabilidad, el mejoramiento de la posición de mercado, la expansión y la rentabilidad (O'Reagan *et al.*, 2005; Rubio y Aragón,

2005). Por lo tanto, los indicadores de medición son muy diversos; en algunos casos, se recurre a razones financieras; otras perspectivas incluyen aspectos más amplios de la dinámica organizacional y, algunas más, mencionan los de carácter social, como la responsabilidad y el impacto en el entorno. Para este trabajo, usamos como variable *proxy* de éxito la rentabilidad, medida por dos razones financieras: margen neto y rendimiento sobre activos (ROA, por sus siglas en inglés).

Si la variable de respuesta éxito/fracaso tiene multiplicidad de formas de ser medida o representada, sus variables causales son aún mucho más extensas; están en función de la perspectiva epistemológica con la que se aborda el problema: la ontológica (implica la posición del sujeto frente a su estructura creada, es decir, la empresa) y la metodológica (involucra los datos disponibles y la forma de obtenerlos, procesarlos e interpretarlos). Esta investigación se desarrolla mediante un enfoque teórico voluntarista que supone que el agente económico influye en el éxito empresarial. Por lo tanto, la hipótesis de trabajo postula que variables de gestión (como la organización del trabajo, la productividad laboral o la publicidad) son significativas para alcanzarlo.

Consideramos que esta investigación es esencialmente relevante en una nación como México, donde la Tasa de Mortalidad de las empresas (fracaso) es alta, comparada con los países desarrollados (Sánchez *et al.*, 2014), y la esperanza de vida de las nuevas es baja (Medina *et al.*, 2020) dado que se encuentra en un rango de 6.9 a 8 años, dependiendo del sector de actividad económica al que pertenezcan (INEGI, 2018), lo que refleja condiciones poco propicias para pensar en negocios de largo plazo (éxito). Una de las causas más importantes del cierre es la falta de rentabilidad (Pearce y Robbins, 1993; Flint, 2006), por lo que esta variable puede asociarse correctamente con el éxito/fracaso de estos.

Identificar los factores de éxito permitirá a los agentes económicos tomar mejores decisiones en materia de gestión para definir estrategias de di-

rección, movilizar recursos hacia una acción determinada o replicar prácticas que tengan efectos positivos en los resultados de las empresas. Pero esta identificación puede llevarles mucho tiempo y ese aprendizaje se lograría a costa de enfrentar varios fracasos. Por ello, se hace necesario retomar la información disponible a partir de los Censos Económicos del INEGI y construir modelos que permitan el análisis longitudinal, cuyos resultados beneficien al ambiente empresarial nacional. Esa es la finalidad última de este trabajo y el problema central que se pretende atender.

El presente documento se divide en cinco secciones, además de la introducción: en la segunda parte se exponen los fundamentos teóricos para la selección de variables; en la tercera se explica el contexto de la manufactura mexicana y la metodología de panel de datos utilizada; en una cuarta se discuten los resultados y, por último, se presentan conclusiones y algunas recomendaciones.

## Revisión de literatura

Las empresas son unidades económicas y sociales; son un tipo de organización cuyo fin específico es obtener beneficios a través de la coordinación de sus recursos materiales, humanos y financieros (Koontz, Weirich y Cannice, 2019). Desde la Teoría Económica, toda empresa tiene por objetivo maximizar sus beneficios ( $\pi$ ) (Nicholson, 2010), que están dados por (1):

$$\text{Max } \pi = \text{Ingresos} - \text{Egresos} \quad (1)$$

Bajo esta perspectiva, podemos decir que aquellas que maximizan  $\pi$  son exitosas, mientras que las que no lo hacen, han fracasado. Esto supone un problema dual: aumentar los ingresos (definidos por la función de precios por cantidad) o reducir los egresos (que se definen en la función de costos como una suma de los fijos más los variables). Si suponemos que en el corto plazo los primeros no cambian, la única forma de reducir los egresos es disminuir los segundos y esto solo se logra con un aumento de la productividad.

Del lado de los ingresos, la maximización se encuentra cuando aumenta la cantidad o los precios; si también suponemos que en mercados competitivos las empresas son tomadoras de precios, solo tienen como estrategia aumentar la cantidad, pues una basada en diferencial de precios no es sostenible en el tiempo para ningún negocio.

Pero, ¿en qué proporción se considera exitosa una empresa que ha maximizado  $\pi$ ? En términos contables, definir esa proporción depende de otros factores, como el volumen de ventas, los activos o el patrimonio; es decir, no basta con que esta posea una cantidad de recursos, sino su capacidad de integrar ese potencial de recursos para obtener resultados (Nelson y Winter, 1982). De esta manera, algunos indicadores para medir la rentabilidad son: margen neto (que es el rendimiento sobre ventas), ROA, retorno sobre la inversión (ROI, por sus siglas en inglés) y rendimiento sobre el capital (ROE, por sus siglas en inglés).

Una empresa que incrementa sus beneficios con los recursos con los que cuenta (ROA) es exitosa, porque ha encontrado la mejor manera de hacer una actividad. De igual manera, las ventas se consideran un indicativo de éxito (margen neto) porque estas se presentan de una forma plena cuando el negocio está en una fase particular de su ciclo: el crecimiento (Cárdenas *et al.*, 2020).

Hallar los factores que contribuyen a la *mejor manera (best way)* de hacer la actividad ha sido central en las investigaciones de economía y administración y ha permitido la transformación de las empresas, desde los aglomerados y sucios talleres sin control del siglo XIX (Braverman, 1974), hasta los más automatizados centros tecnológicos de nuestra era (Coriat, 1992). Estos factores que conllevan al éxito han sido identificados desde muy diversas perspectivas como exclusivos del control de proceso de trabajo (Taylor, 1911), las variables del espacio laboral (como luminosidad, temperatura o humedad) (Mayo, 1972), la organización técnica de la producción (Coase, 1937), la motivación del trabajador (Maslow, 1943; Herzberg, 1959; McGregor, 1960), las habilidades directivas y la toma de decisiones (Barnard, 1938; Simon, 1956).

Posterior a la década de los 50 del siglo pasado, predominaron estudios que ponían el acento en las variables externas a la empresa, como el ambiente, el tamaño y la tecnología que, a su vez, definían la estructura organizacional (Woodward, 1985). Bajo esta perspectiva, las empresas más exitosas son las que mejor se adaptan a su entorno (Pugh y Hickson, 1976), por lo tanto, más que una sola configuración exitosa (*one best way*), existen diferentes formas o patrones que definen ese éxito (*all depends*).

Podríamos, entonces, señalar dos grandes vertientes para clasificar los factores de éxito de las empresas, una orientada al determinismo, que incluye al ambiente, el mercado, las políticas públicas y, de manera muy destacada, elementos exógenos, como la tecnología. Del otro lado, una orientación más voluntarista enfocada a estos últimos, el papel del administrador como estratega en la gestión y los procesos de trabajo. Una tercera implicaría un interaccionismo que critica la visión polarizada de las dos primeras.

Visto desde el determinismo, es el mercado (entre otros agentes, como el gobierno) el que define las condiciones de las empresas; entornos específicos —como la relación de los clientes, los proveedores (Maoh y Kanaroglou, 2007; Ooghe y De Puijcker, 2008), arreglos institucionales (Kent, 1984) o estructura de mercado (MacMillan, Zemann y Subba Narasimha, 1987; McDougall y Robinson, 1988)— pueden limitar niveles de precios, producción o márgenes de ganancia.

Sin embargo, en el presente estudio queremos centrarnos en las variables que están al alcance y control del empresario, por lo que nos situaremos en una posición voluntarista, es decir, en los factores de gestión. En particular, haremos énfasis en dos grupos: los relacionados con el trabajo y los asociados con el mercado.

Cuando hablamos de los primeros, nos referimos al control sobre el proceso cuyo fin es aprovechar el tiempo mediante el cual el obrero entrega su fuerza de trabajo al capital (Benson, 1980); en

ese sentido, las estrategias pueden ser disciplinares (Crozier, 1963), organizativas y de estructura organizacional de funciones, división de tareas y remuneraciones (Taylor, 1911). De esta forma, las tareas podrían ser más exhaustivas para aumentar la productividad (medida como el rendimiento de los factores), pero también pueden implicar otras estrategias, como ampliar el tiempo no pagado del proceso laboral o hasta recurrir a un trabajo completamente no pagado.

Aunque las regulaciones laborales de la mayoría de los países no permiten el empleo no pagado, hay otras estrategias que, de manera informal, lo incorporan, por ejemplo, cuando familiares del empresario y él mismo no asumen un salario como contrapartida a su trabajo. Aunque no es una práctica recomendada, algunos subsectores de la manufactura en México alcanzan hasta 46 % de horas no pagadas con respecto al total de las trabajadas (INEGI, 2014).

Otras estrategias de gestión del trabajo han sido la externalización y desconcentración —inicialmente muy popular en Estados Unidos de América (EE. UU.) en la década de los 80—, como intento de adaptación del *lean production* japonés, que significó dividir la cadena productiva y entregar a terceros (*outsourcing*) tareas no centrales de esta para mejorar la calidad y reducir los costos (Quinn y Hilmer, 1994).

Entonces, variables como la productividad del factor trabajo, la Tasa de Trabajo no Remunerado o la de Trabajo Tercerizado como parte de la gestión de los recursos humanos son factores determinantes en el desarrollo y posicionamiento de la empresa (Boudreau, 1996).

Por otro lado, cuando hablamos de factores de gestión relacionados con el mercado nos referimos al papel del administrador como agente estratégico y, por lo tanto, como factor de éxito de una empresa; significa considerar el proceso de toma de decisiones, la forma en la que asume el liderazgo, las previsiones que haga y su conocimiento sobre el mercado (Temtime y Pansiri, 2004; Valdiserri y Wilson, 2010); el nivel de expe-

riencia que desarrolla (Peterson, Kozmetsky y Ridgeway, 1983; Stuart y Abetti, 1990); el nivel de cualificación (Storey, 1994; Lee y Tsang, 2001) o, incluso, sus habilidades sociales (Barón, 2000; Macías, Sánchez y Zerón, 2019). Cuando el administrador usa la mercadotecnia (como conocimiento y experiencia sobre el mercado) se influye de forma positiva en la posición que la empresa tiene en el mercado, por ejemplo, a través de la publicidad (Castillo, Bojórquez y Pérez, 2013).

El administrador funge como coordinador entre los costos internos del negocio (basados en la planeación y organización) con los externos o de transacción que están fijados por el mercado (Coase, 1996). El mayor campo de acción está dentro, donde se tiene control absoluto, y lo pierde totalmente fuera, pues se enfrenta a un mercado de competencia perfecta donde su empresa es tomadora de precios.

Entonces, variables como los márgenes de ganancia, el nivel de producción o los gastos en publicidad son factores que combinan situaciones internas y externas de la empresa que terminan influyendo en el éxito o el fracaso.

## Materiales y métodos

Como ya se mencionó, para este trabajo se consideraron los datos estadísticos proporcionados por los Censos Económicos del 2004, 2009 y 2014, siendo la unidad básica de análisis la manufactura a partir de la organización de los datos a nivel subsector, que es la información desagregada a tres dígitos que presenta el Sistema de Clasificación Industrial de América del Norte (SCIAN).

### La manufactura en México

Esta industria se dedica a la transformación de las materias primas y, junto con las actividades extractivas y de construcción, pertenece al sector secundario. Por su naturaleza, esta es muy heterogénea: por un lado, están los subsectores de alimentos, textiles, madera, papel y cartón (que son mayor-

mente precarios en sus procesos productivos y de trabajo) y, por el otro, los relacionados con la petroquímica, la química, los minerales, la metalmeccánica y de cómputo (los más dinámicos e innovadores) (Jiménez-Bandala y Sánchez Daza, 2014), por lo que el análisis se vuelve complejo.

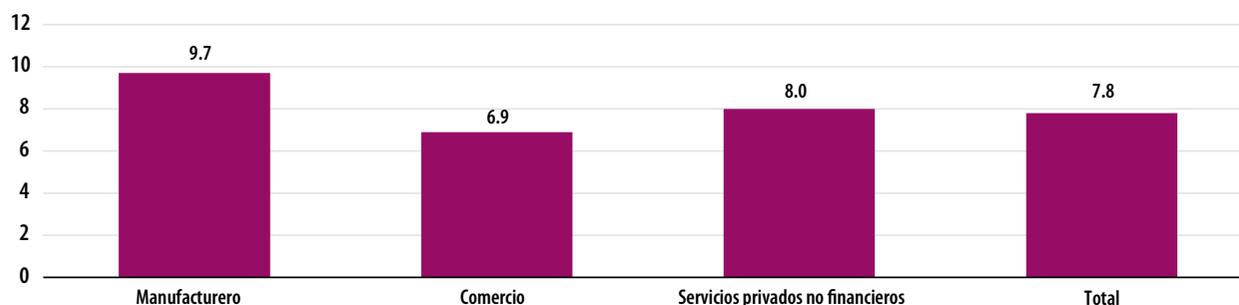
En términos económicos, la generación de nuevos valores solo se da mediante la transformación de insumos en mercancías, lo cual se da exclusivamente en este sector, por lo que las economías del mundo buscan apuntalarlo y desarrollarlo. En México, su mayor periodo de crecimiento se vivió durante el mecanismo de sustitución de importaciones (1940-1982), que es coincidente con el lapso más largo de crecimiento sostenido del Producto Interno Bruto (PIB). Durante el periodo neoliberal sobrevino un proceso de ralentización que hundió las tasas de crecimiento del sector industrial y la

economía general, al pasar de promedios de 6 y 9 a 2 % (Rendón, Mejía y Salgado, 2013).

Se escogió a la manufactura como objeto de estudio por lo siguiente: a) como se observa en la gráfica 1, tiene la esperanza de vida más alta que el resto de los sectores económicos; b) a pesar de que, en promedio, esta solo contribuye con 14 % del PIB, se comporta muy similar al indicador general (ver gráfica 2), por lo que su comportamiento influye de manera determinante en el ciclo general de la economía; c) de todo el sector secundario, la manufactura muestra mejor desempeño. En el cuadro 1 se observa, en la primera columna, las tasas de crecimiento para un periodo largo (1994-2020); en la segunda, la media de dos décadas; y en la tercera, la tasa de la última década. Se concluye que el crecimiento de los últimos 10 años ha sido más dinámico para la manufactura, no así para todo el sector secundario.

Gráfica 1

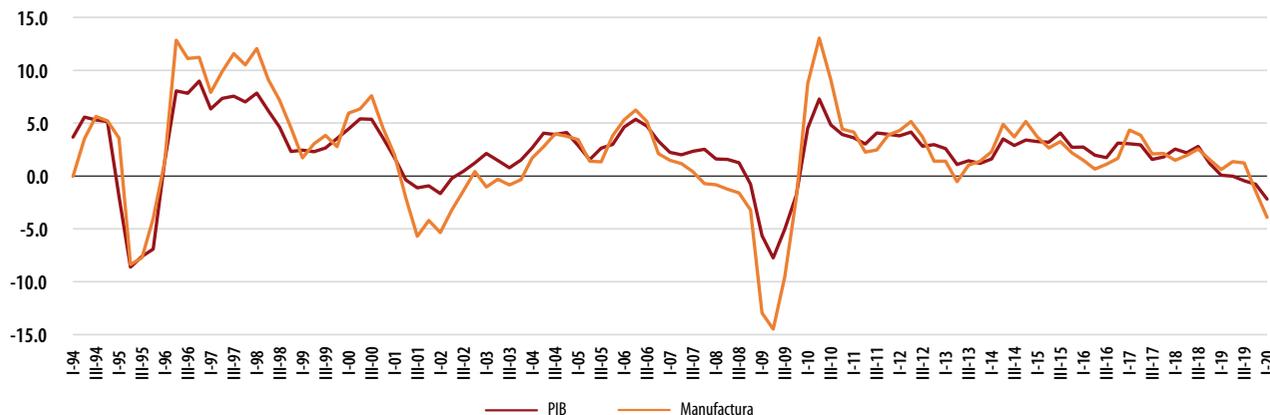
### Esperanza de vida en años de las empresas en México según sector de actividad



Fuente: elaborado con datos del INEGI (2018).

Gráfica 2

### Tasa de variación del PIB y de la industria manufacturera, 1994-2020



Fuente: elaborado con datos de INEGI. Sistema de Cuentas Nacionales de México. 1994-2020.



Cuadro 1

**Tasas de crecimiento promedio por sector y periodo**

	1994-2020	2000-2020	2010-2020
PIB total	2.0	2.0	2.5
Actividades primarias	1.9	2.0	2.3
Actividades secundarias	1.5	0.8	1.2
Solo manufactura	2.2	1.4	2.8
Actividades terciarias	2.8	2.6	3.2

Fuente: elaboración propia con datos de INEGI. *Sistema de Cuentas Nacionales de México*. 1994-2020.

En México, la manufactura se categoriza de acuerdo con el SCIAN para que los datos puedan ser comparables con sus socios comerciales más importantes: EE. UU. y Canadá. Según el SCIAN, la economía se compone de 20 sectores de actividad y

la manufactura se divide en 21 subsectores (cuadro 2). Para el 2014, había un total de 489 530 unidades económicas, lo que significa un aumento de 12 % con respecto al 2009 y 49 % al 2004, que refleja condiciones positivas para la apertura de negocios.

Cuadro 2

Continúa

**Número de empresas por subsector de la manufactura y año censal**

Subsector	2004	2009	2014
Industria alimentaria	116 303	144 104	171 369
Industria de las bebidas y del tabaco	7 005	13 888	19 937
Fabricación de insumos textiles y acabado de textiles	4 127	5 172	15 050
Fabricación de productos textiles, excepto prendas de vestir	13 353	28 112	28 499
Fabricación de prendas de vestir	22 429	33 271	28 808
Curtido y acabado de cuero y piel, y fabricación de productos de cuero, piel y materiales sucedáneos	7 491	10,815	10 822
Industria de la madera	17 729	22,432	22 269
Industria del papel	2 654	3 966	4 302
Impresión e industrias conexas	14 521	18 547	19 930
Fabricación de productos derivados del petróleo y del carbón	280	202	209
Industria química	3 073	4 084	4 460
Industria del plástico y del hule	4 361	4 936	5 460
Fabricación de productos a base de minerales no metálicos	25 037	30 498	31 730
Industrias metálicas básicas	1 250	958	857
Fabricación de productos metálicos	49 650	64 061	69 523

### Número de empresas por subsector de la manufactura y año censal

Subsector	2004	2009	2014
Fabricación de maquinaria y equipo	2 467	2 283	2 357
Fabricación de equipo de computación, comunicación, medición y de otros equipos, componentes y accesorios electrónicos	791	728	745
Fabricación de accesorios, aparatos eléctricos y equipo de generación de energía eléctrica	918	1 225	1 213
Fabricación de equipo de transporte	1 978	2 203	2 392
Fabricación de muebles, colchones y persianas	21 569	26 979	31 998
Otras industrias manufactureras	11 732	18 387	17 600
<b>Total nacional</b>	<b>328 718</b>	<b>436 851</b>	<b>489 530</b>

Fuente: elaboración propia con datos de INEGI. *Censos Económicos*. Ediciones 2004, 2009 y 2014.

La manufactura se compone por 94 % de empresas micro, 4 % pequeñas, 1 % medianas y 1 % grandes; por ello, se trata, también, del sector económico con mayor proporción de unidades económicas grandes si se compara con el primario y el terciario.

#### Definición de variables y modelos panel

La selección del periodo se basó en el criterio de disponibilidad; los datos de los Censos Económicos más recientes (2019) no son públicos en la desagregación que se necesita y los anteriores al 2004 no son comparables por no tener la estructura del SCIAN.

Para poder medir la influencia de las variables en los años descritos con anterioridad, se propuso un modelo de datos panel que se basa en datos longitudinales, el cual toma como muestra de seguimiento las mismas unidades transversales, observadas en distintos puntos de tiempo; tienen dos dimensiones: la unidad de sección transversal y el tiempo (Balragi y Wu, 1999). Este se ve expresado como en (2):

$$Y_{it} = \beta'_k X_{kit} + \varepsilon_{it}$$

$$i = 1, \dots, N; \quad t = 1, \dots, T \quad k = 1, \dots, K$$

(2)

donde:

$Y_{it}$  = variable dependiente del individuo  $i$  y en el tiempo  $t$ .

$\beta'_k$  = vector de  $k+1$  coeficientes de las variables explicativas.

$X_{kit}$  =  $i$ -ésima observación en tiempo  $t$  para la variable explicativa  $k$ .

$\varepsilon_{it}$  = error aleatorio del individuo  $i$  y en el tiempo  $t$ .

Por lo que, para la generación del modelo de tipo panel de esta investigación, se propuso (3):

$$Y_{it} = \beta'_k X_{kit} + \varepsilon_{it}$$

$$= 1, \dots, 21; \quad t = 2004, 2009, 2014;$$

$$k = 1, \dots, 6$$

(3)

donde  $i$  representa los 21 subsectores que existen dentro de la clasificación de la industria manufacturera,  $t$  son los años que se toman para el análisis y  $k$ , el número de variables explicativas del modelo, de tal modo que cada subsector actúa como un conjunto de empresas que son afectadas por diferentes variables ( $X_{kit}$ ) para generar una respuesta ( $Y_{it}$ ).

La ventaja del uso de modelos panel en economía es que podemos obtener información que no se lograría con una serie de tiempo ni con un aná-

lisis transversal, presentan menos problemas de multicolinealidad y mayor eficiencia en las estimaciones (Pérez *et al.*, 2018).

Debido a que se trabaja con datos desagregados a nivel subsector, el éxito de la industria no lo podemos medir mediante el crecimiento o la supervivencia, pero sí a través de la rentabilidad, que propusimos medirla con el margen neto ( $Y_{it}$ ) y la rentabilidad sobre activos (ROA) ( $W_{it}$ ). Se tuvieron, entonces, dos variables dependientes que se construyeron como se indica en (4) y (5):

$$Y_{it} = \text{Margen Neto} = \frac{\text{Ingresos} - \text{Gastos}}{\text{Ventas}} \quad (4)$$

$$W_{it} = ROA = \frac{\text{Ingresos} - \text{Gastos}}{\text{Activos}} \quad (5)$$

De esta manera, estamos considerando las razones financieras agregadas de la industria que representan los valores de cada subsector, entendido como un conjunto de empresas (Urrunaga, Berastain y Bravo, 1994).

La construcción de las variables independientes considera los factores de gestión divididos en dos grupos (trabajo y mercado) que se explicaron en la revisión de literatura y se operacionalizan en el cuadro 3.

**Cuadro 3**

**Variables independientes del modelo**

Variable	Explicación	Fundamento teórico
$x_{1it}$	Productividad del factor trabajo. Se refiere al rendimiento de este frente a los costos de la fuerza laboral y se calcula como el cociente de dividir el valor de la Producción Bruta Total (millones de pesos) entre el total de remuneraciones (millones de pesos).	Taylor, 1911; Crozier, 1963; Braverman, 1974; Benson, 1980; Coad, 2010.
$x_{2it}$	Margen por reventa. Es el beneficio que se obtiene de la mercancía de reventa y se calcula como el cociente de dividir el valor de este (millones de pesos) entre las unidades económicas del subsector.	Coase, 1996; Temtime y Pansiri, 2004; Valdiserri y Wilson, 2010; Huerta, 2012.
$x_{3it}$	Tasa de Trabajo no Remunerado. Es la proporción de horas trabajadas que no se remuneraron en comparación con las totales laboradas y se obtiene como el cociente de dividir las no remuneradas entre las trabajadas totales, ambas medidas en miles de horas.	Braverman, 1974; Benson, 1980; Rubio y Aragón, 2005.
$x_{4it}$	Tasa de Tercerización del Trabajo. Es la proporción de horas trabajadas por personal que no dependía de la razón social (subcontratado) con respecto a las totales laboradas y se obtiene como el cociente de dividir las horas trabajadas por personal suministrado por un tercero entre las laboradas totales, ambas medidas en miles de horas.	Quinn y Hilmer, 1994; Kotb, Haddara y Kotb, 2011; Medina, Sánchez y Larrainzar, 2020; Gupta y Zhender, 1994.
$x_{5it}$	Gasto de publicidad. Es el monto destinado a pagar por este concepto y se obtiene como el cociente de dividir los gastos de publicidad del sector entre las unidades económicas que lo forman, medido en millones de pesos; se presenta como el logaritmo natural para equiparar las magnitudes del resto de las variables del modelo.	Castillo, Bojórquez y Pérez, 2013.
$x_{6it}$	Tasa de Remuneración por Maquila. Es la proporción de ingresos que se recibieron por los servicios de maquilar a un tercero con respecto a los totales y se calcula como el cociente de dividir los ingresos obtenidos por maquilar, entre los totales.	Rendón, Mejía y Salgado, 2013.

Fuente: elaboración propia.

La expansión de la ecuación propuesta en (3) queda como en (6) y (7), respectivamente. Todas las variables suponen una relación directa, por lo que se expresan con signo positivo:

$$Y_{it} = \beta_0 + \beta_1 x_{1it} + \beta_2 x_{2it} + \beta_3 x_{3it} + \beta_4 x_{4it} + \beta_5 x_{5it} + \beta_6 x_{6it} + \varepsilon_{it} \quad (6)$$

$$W_{it} = \beta_0 + \beta_1 x_{1it} + \beta_2 x_{2it} + \beta_3 x_{3it} + \beta_4 x_{4it} + \beta_5 x_{5it} + \beta_6 x_{6it} + \varepsilon_{it} \quad (7)$$

## Resultados y discusión

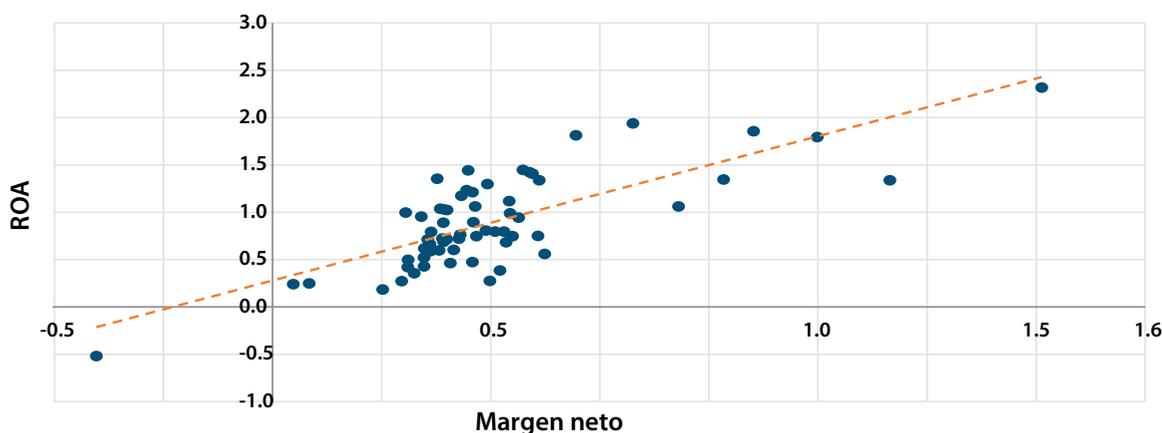
### Definición del tipo de modelo panel

Las variables dependientes de ambos modelos —el margen neto ( $Y_{it}$ ) y el ROA ( $W_{it}$ )— presentan una correlación positiva entre sí (ver gráfica 3), lo que comprueba la consistencia de ambos indicadores, paralelos, para determinar el éxito de la industria.

Se corrieron ambos modelos para efectos fijos y aleatorios, y los resultados se muestran en los cuadros 4 y 5, respectivamente.

Gráfica 3

Correlación de las variables dependientes de ambos modelos



Fuente: elaboración propia.

Cuadro 4

Regresiones panel para el margen neto ( $Y_{it}$ )

Variable	Pooled (MCO)	Efectos aleatorios	Efectos fijos
$x_{1it}$	1.116***	1.035***	0.401
$x_{2it}$	-0.105***	-0.103***	-0.008***
$x_{3it}$	0.468***	0.456***	-0.278***
$x_{4it}$	0.256*	0.208*	-0.278*
$x_{5it}$	0.029***	0.027***	0.006
$x_{6it}$	1.219***	1.259***	2.275***
Constante	-0.282**	-0.255**	-0.054*
$Pr > F$	0.000		0.000
$Pr > Chi2$		0.000	
$N$	63	63	63

\*\*\* Significativa a 1 %

\*\* Significativa a 5 %

\* Significativa a 10%

Fuente: elaboración propia.

Para margen neto ( $Y_{it}$ ), en la primera columna se observan los resultados del modelo de regresión de datos panel agrupados (*Pooled*); este representa la forma más simple de analizar las correlaciones y consiste en omitir las dimensiones espacio y tiempo de las variables y calcular la regresión por mínimos cuadrados ordinarios (MCO) (Aparicio y Márquez, 2005). Tal y como se esperaba en la ecuación (6), estas resultaron con signos positivos, lo que indica una correlación directa, excepto  $x_{2it}$  (margen por reventa), que presenta una correlación inversa. Destaca que la única variable con el menor nivel de significancia (10 %) fue  $x_{4it}$  (Tasa de Trabajo Tercerizado).

La segunda columna muestra un modelo panel de efectos aleatorios; este tipo supone que el intercepto ( $\beta_0$ ) es diferente para cada unidad transversal, esto es, en lugar de suponerla como constante se considera una variable aleatoria que sigue una distribución de probabilidad *Chi2* con valor medio de ( $\beta$ ) y desviación aleatoria ( $u_i$ ); es decir, la varianza de los errores es afectada por los regresores ( $\varepsilon_{it}$ ). Por lo que, considerando la ecuación (3), tenemos (8):

$$Y_{it} = \beta_0 + \beta_1 X_{1it} + u_i + \varepsilon_{it} \quad (8)$$

Observamos que todas las variables muestran el mismo signo esperado, excepto  $x_{2it}$  (margen por reventa) que mantuvo la correlación negativa. Todas son significativas con un nivel de error menor o igual a 5 %, excepto  $x_{4it}$  (Tasa de Trabajo Tercerizado), a 10 por ciento.

La tercera columna muestra un modelo de efectos fijos, como en (9), el cual se utiliza cuando se supone que la heterogeneidad individual y temporal se ajusta por interceptos individuales ( $\varepsilon_{it}$ ); supone que las diferencias entre entidades son constantes, pero cuyos efectos individuales guardan cierta correlación con el regresor, por lo que los términos ( $v_i$ ) no se consideran parte del término de error:

$$Y_{it} = v_i + \beta_1 X_{1it} + \varepsilon_{it} \quad (9)$$

Los resultados muestran que tres variables perdieron significancia y una variable más cambió su signo negativo. Cabe destacar que cada modelo en su conjunto resultó significativo.

Para rendimiento sobre activos ( $W_{it}$ ) (ver cuadro 5) se siguió el mismo procedimiento. Observamos que, también, los tres modelos son significativos de

Cuadro 5

**Regresiones panel para el ROA ( $W_{it}$ )**

Continúa

Variable	<i>Pooled</i> (MCO)	Efectos aleatorios	Efectos fijos
$x_{1it}$	0.831	-3.414**	-7.038***
$x_{2it}$	-0.247***	-0.166***	-0.116***
$x_{3it}$	0.457	0.326	0.126
$x_{4it}$	-0.373	-0.526	-1.059
$x_{5it}$	0.563*	-0.120	-0.132
$x_{6it}$	2.168***	3.374***	3.481***
<b>Constante</b>	-0.752*	1.082***	1.620***

Regresiones panel para el ROA ( $W_{it}$ )

Variable	Pooled (MCO)	Efectos aleatorios	Efectos fijos
$Pr > F$	0		0
$Pr > Chi2$		0	
$N$	63	63	63

\*\*\* Significativa a 1 %

\*\* Significativa a 5 %

\* Significativa a 10%

Fuente: elaboración propia.

forma global a partir de los estadísticos  $F$  y  $Chi2$ . Sin embargo, para el modelo de regresión agrupada (primera columna) solo fueron significativas dos variables, mientras que, en efectos fijos y aleatorios, tres son significativas. Los signos de las variables no responden a lo esperado en la ecuación (6), por lo que teóricamente no serían correctos.

Para determinar el tipo de modelo panel más apropiado, se sigue una serie de pruebas sucesivas que pueden ser consultadas de forma detallada en el *Anexo metodológico* al final de este documento. Sus resultados mostraron, para ambos modelos, que es conveniente usar el de efectos fijos sobre aleatorios porque la diferencia entre coeficientes sí es sistemática. Lo anterior implica, para nuestro análisis económico y financiero, que los componentes de error individual ( $u_{it}$ ) se correlacionan con las variables independientes y que las diferencias entre estados no son aleatorias. Esto es congruente con el supuesto que hemos postulado en la selección de variables, que (más allá del determinismo

de las variables ambientales) existen variables que configuran para cada entidad un punto de origen (ordenadas) distinto.

## Pruebas de validación de los modelos

Un modelo de datos panel requiere demostrar que no se violan los supuestos de Gauss-Markov para definir los mejores estimadores lineales insesgados (MELI). Para ello, al igual que en cualquiera lineal, se debe comprobar la no existencia de autocorrelación y heterocedasticidad. En los modelos panel, además, es necesario verificar problemas de correlación contemporánea.

La correlación serial o autocorrelación implica que los errores ( $\varepsilon_{it}$ ) no sean independientes con respecto al tiempo. Para comprobarlo, se aplica la prueba de Wooldridge (2002), que considera en su hipótesis nula que no existe autocorrelación. Los resultados de ambos modelos se muestran en el cuadro 6.

Cuadro 6

## Prueba de Wooldrige de autocorrelación

Rendimiento sobre activos ( $Y_{it}$ )	$Pr > F = 0.673$
Rendimiento sobre activos ( $W_{it}$ )	$Pr > F = 0.712$

Fuente: elaboración propia.

De lo anterior se desprende que no se tienen problemas de autocorrelación en ninguno de los dos modelos propuestos.

Para verificar problemas de heterocedasticidad, se realiza la prueba del multiplicador de Lagrange de Breusch y Pagan; sin embargo, algunos autores la cuestionan por ser sensible al supuesto de normalidad de los errores y proponen la prueba modificada de Wald (Greene, 2000; Aparicio y Márquez, 2005). La  $H_o$  es que no existe heterocedasticidad y, por lo tanto, la varianza de los errores de cada unidad transversal es constante. Los resultados se muestran en el cuadro 7 e indican que se acepta la  $H_a$  de heterocedasticidad; por lo tanto, ambos modelos deberán corregirse.

Por último, la correlación contemporánea suele ser un problema común de datos panel e implica que las observaciones de algunas entidades tengan correlación con las de otras en el mismo periodo. Esto es la presencia de características que son inobservables correlacionadas entre entidades o unidades. La verificación de este problema se realiza mediante la prueba de Breusch y Pagan de los residuales de un modelo de efectos fijos. La  $H_o$  supone que no hay correlación contemporánea. Los resultados se muestran en el cuadro 8 y destacan que no hay problemas de correlación contemporánea.

Para corregir los problemas de heterocedasticidad, se propone un modelo con estimadores mínimos cuadrados generalizados factibles (FGLS, por sus siglas en inglés), aunque algunos autores proponen estimadores con errores estándar corregidos para panel (PCSE, por sus siglas en inglés) (Beck y Katz, 1995; Beck, 2001). Para nuestros modelos, se consideraron ambos para realizar las comparaciones. Los resultados del modelo de margen neto se muestran en el cuadro 9.

Se observa que, para ambos modelos (FGLS y PCSE), las variables resultaron significativas, mejorando considerablemente la de tercerización del trabajo ( $x_{4it}$ ) que ganó significancia a 1 % para FGLS y 5 % para PCSE. Todas ellas muestran los signos esperados, y el margen por reventa ( $x_{2it}$ ) conservó su signo negativo, por lo que podemos hablar de consistencia en el comportamiento de la variable. Ambos modelos son significativos de forma global ( $Pr > Chi2$ ) y el valor de  $R^2$  para PCSE es aceptable.<sup>1</sup>

En los dos modelos se observa que hay dos variables con un peso considerable en la determinación del éxito de la industria medida por el margen neto: la productividad del trabajo ( $x_{1it}$ ) y los ingresos por servicios de maquila ( $x_{6it}$ ) y, dado que

<sup>1</sup> Recordemos que los modelos FGLS no utilizan  $R^2$  como bondad de ajuste.

Cuadro 7

**Prueba modificada de Wald**

Margen neto ( $Y_{it}$ )	$Pr > Chi2 = 0.000$
Rendimiento sobre activos ( $W_{it}$ )	$Pr > Chi2 = 0.000$

Fuente: elaboración propia.

Cuadro 8

**Prueba de independencia de Breusch y Pagan**

Margen neto ( $Y_{it}$ )	$Pr > Chi2 = 0.634$
Rendimiento sobre activos ( $W_{it}$ )	$Pr > Chi2 = 0.718$

Fuente: elaboración propia.

Cuadro 9

Regresiones panel corregidas para el margen neto ( $Y_{it}$ )

Variable	FGLS	PCSE
$X_{1it}$	1.104*** [0.245]	1.116*** [0.502]
$X_{2it}$	-0.109*** [0.001]	-0.105*** [0.001]
$X_{3it}$	0.433*** [0.077]	0.468*** [0.141]
$X_{4it}$	0.213*** [0.124]	0.256** [0.224]
$X_{5it}$	0.027*** [0.005]	0.029*** [0.010]
$X_{6it}$	1.030*** [0.116]	1.21*** [0.116]
<b>Constante</b>	-0.238*** [0.092]	-0.282** [0.092]
<b>Pr &gt; Chi2</b>	0.000	0.000
<b>R<sup>2</sup></b>		0.891
<b>N</b>	63	63

\*\*\* Significativa a 1 %

\*\* Significativa a 5 %

\* Significativa a 10%

Errores estándar en corchetes.

Fuente: elaboración propia.

el intercepto resultó negativo, ambas son determinantes para la rentabilidad en la manufactura, ya que por cada punto porcentual que aumenten impactarán en 1.1 y 1.0 en la rentabilidad.

Esto es congruente con otras investigaciones que demuestran que el aumento de la productivi-

dad tiene efectos positivos en el crecimiento de las empresas (Coad, 2010). De la misma manera, Escobar (2011) analiza la manufactura enfocándose en el crecimiento por economías de escala; tanto el aumento de la productividad como la producción por servicios de maquila las fomentan. También, se explica con la característica principal de la manu-



Cuadro 10

Regresiones panel corregidas para el ROA ( $W_{it}$ )

Variable	FGLS	PCSE
$x_{2it}$	-0.023*** [0.006]	-0.023*** [0.006]
$x_{3it}$	1.155*** [0.413]	0.552 [0.562]
$x_{5it}$	0.083*** [0.022]	0.0452** [0.035]
$X_{6it}$	2.928*** [0.352]	2.523*** [0.450]
<b>Constante</b>	-0.491** [0.312]	0.496* [0.482]
<b>Pr &gt; Chi2</b>	0.000	0.000
<b>R<sup>2</sup></b>		0.575
<b>N</b>	63	63

\*\*\* Significativa a 1 %

\*\* Significativa a 5 %

\* Significativa a 10 %

Errores estándar en corchetes

Fuente: elaboración propia.

factura mexicana: más intensiva en el trabajo que en el capital, que propició la orientación maquiladora, sobre todo después del Tratado de Libre Comercio de 1994 (Rendón, Mejía y Salgado, 2013).

Por su parte, el sentido negativo del margen por reventa ( $x_{2it}$ ) puede ser explicado si se toma en cuenta que mercados competitivos (ausencia de poder de mercado) implican menores márgenes por reventa y, por ende, exigen un nivel de eficiencia mayor. De acuerdo con Huerta (2012), aquellas empresas que hacen un mayor esfuerzo en diferenciación del producto reducen su margen de ganancia sin afectar sus ingresos totales, siempre que su elasticidad de ventas sobre gasto sea mayor a 1.

Vargas (2007) está de acuerdo en que las unidades económicas exitosas reducen su margen de ganancia porque han sabido desarrollar una estructura productiva más eficiente.

La tercera variable en relevancia es la Tasa de Trabajo no Remunerado ( $x_{3it}$ ), que tiene casi la mitad del peso que la productividad o la maquila. Esto señala que las industrias más rentables tuvieron mayor proporción de trabajo no pagado con respecto a las menos rentables. Esto tampoco es sorprendente si tomamos en cuenta el carácter familiar de las empresas mexicanas, así como la premienencia de unidades económicas micro y pequeñas, por lo que son las redes de cooperación que, a tra-

vés del trabajo no pagado, sostienen la estructura empresarial (Rubio y Aragón, 2005).

La Tasa de Trabajo Tercerizado ( $x_{4it}$ ) también fue significativa, aunque con un menor peso en los coeficientes (0.213); comúnmente denominada *outsourcing*, refleja una estrategia empresarial para adelgazar la estructura y, con ello, la reducción de los gastos. Lo anterior significaría que la estrategia de las empresas de la manufactura de descentralizar su producción ha tenido efectos positivos por encima de aquellas que optaron por la integración, tal y como lo sugieren múltiples estudios (Mariz y Calvo, 1999; Kotb, Haddara y Kotb, 2011; Medina, Sánchez y Larrainzar, 2020; Gupta y Zhender, 1994; Blumberg, 1998; González *et al.*, 2006).

Por último, la variable significativa con menor peso en los coeficientes fue la publicidad ( $x_{5it}$ ); empresas que gastan más en ella pueden incrementar casi 3 % su rentabilidad por cada unidad invertida. Esta baja incidencia, con respecto a las otras variables, puede ser explicada si consideramos trabajos como el de Sánchez *et al.* (2014), que encuentra mayor importancia en otros factores de la mercadotecnia, como el seguimiento de los clientes.

El segundo modelo, con la variable dependiente ROA, también se corrigió a partir de estimadores FGLS y PCSE; sus resultados se muestran en el cuadro 10.

En este modelo se eliminaron las variables no significativas, que fueron la productividad del trabajo ( $x_{1it}$ ) y la tercerización del trabajo ( $x_{4it}$ ). Ambos resultaron significativos de forma global y  $R^2$  del PCSE es aceptable con casi 60 % de los datos explicados por el modelo.

Si consideramos como criterio de elección la significancia estadística de cada variable y los errores estándar, el FGLS es más conveniente. La diferencia entre ambos estimadores se encuentra en la no significancia del trabajo no remunerado ( $x_{3it}$ ) para el PCSE y una pérdida de

significancia para la proporción de gastos de publicidad ( $x_{5it}$ ). En ambos modelos coincidió que la variable con mayor peso en los coeficientes fue servicios de maquila ( $x_{6it}$ ), que es mayor a la suma de los coeficientes del resto de las variables y que implica que, por cada punto porcentual que aumente impactará casi tres a la rentabilidad. En orden de importancia le sigue el trabajo no remunerado ( $x_{3it}$ ), mientras que contribuyen marginalmente los gastos por publicidad ( $x_{5it}$ ) y el margen por reventa ( $x_{2it}$ ), que presenta un signo negativo.

Por su parte, los dos modelos muestran que medir el éxito por medio de la rentabilidad de diferente forma puede tener implicaciones diferentes en la toma de decisiones. Por ejemplo, obtener un margen neto favorable implica forzosamente elevar la productividad del trabajo, pero esta variable no fue significativa cuando se quiere un mayor rendimiento sobre activos. La diferencia puede explicarse en el rompimiento secular que la manufactura mexicana ha tenido entre la productividad del trabajo y la Formación Bruta de Capital Fijo (González y Mariña, 1996), que se manifiesta como una actividad industrial más intensiva en trabajo que en capital e inhibe la relación positiva de ambas variables (Molina y Vázquez, 2012), y un acelerado crecimiento de la maquila que basó el éxito en la precarización del empleo y no en el aumento de la productividad (Gómez, 2004).

## Conclusiones

La manufactura es un sector fundamental en la economía porque es la industria que genera valor agregado, transforma la materia prima y provee de productos necesarios a un país para su sobrevivencia y crecimiento económico; por ello, el éxito de las empresas de este sector es crucial. En esta investigación se analizaron factores de gestión organizacional que influyen en el éxito de una empresa medido por razones financieras agregadas de rentabilidad por industria.

Los resultados permiten identificar variables de gestión significativas para alcanzar el éxito económico a partir de un análisis longitudinal de los Censos Económicos. Esto permitirá al agente económico tomar decisiones más acertadas sin el costoso proceso de aprendizaje que, inevitablemente, lo haría pasar por periodos de fracaso. De igual manera, posibilitan orientar esfuerzos hacia factores de mayor incidencia y no diluirlos en acciones que puedan tener un menor impacto. Por ejemplo, elevar la productividad del factor trabajo y no precarizarlo, optar por mercados más competitivos y no basar la estrategia en el aumento de precios y ampliar los esquemas de servicios de maquila pueden ser acciones específicas que resulten beneficiosas para las empresas.

Las principales limitaciones de este trabajo están en el uso de datos agregados. Es deseable que futuras investigaciones lleguen al nivel desagregado para permitir orientaciones más focalizadas para la toma de decisiones; de igual forma, quedan abiertas las opciones de aplicar estos modelos panel a otras ramas económicas e, incluso, diferenciar por tamaños.

No obstante, los alcances actuales del estudio contribuyen a combatir el problema principal al que se enfrentan los empresarios: falta de información disponible basada en evidencia empírica, lo que también resalta la importancia del uso de la información de los Censos Económicos levantados por el INEGI y la trascendencia de esta institución en el desarrollo económico nacional.

## Fuentes

- Aparicio, J. y J. Márquez. *Diagnóstico y especificación de modelos panel en Stata 8.0*. Mimeo. México, CIDE, 2005.
- Balragi, B. y P. Wu. "Unequally spaced panel data regressions with AR(1) disturbances", en: *Econometric Theory*. 15. 1999, pp. 814-823.
- Barnard, C. *The functions of the executive*. EE. UU., Harvard University Press, 1938.
- Barón, R. A. "Psychological perspectives on entrepreneurship: cognitive and social factors in entrepreneurs", en: *Current Directions in Psychological Science*. 9(1). 2000, pp. 15-18.
- Beck, N. "Time-Series-Cross-Section Data: What Have We Learned in the Past Few Years?", en: *Annual Review of Political Science*. 4. 2001, pp. 271-293.
- Beck, N. y J. Katz. "What to do (and not to do) with time-series cross-section data", en: *The American Political Science Review*. 89(3). 1995, pp. 634-647.
- Benson. "Las organizaciones una perspectiva dialéctica", en: *Estudios Sociológicos*. 3(7). 1985, pp. 85-116.
- Blumberg, D. "Strategic assessment of outsourcing and downsizing in the service market", en: *Managing Service Quality*. 8(1). 1998, pp. 5-18.
- Börger, A., R. Figueroa y Y. Vecchiola. "Éxito y fracaso empresarial", en: *Revista de la Facultad de Ingeniería*. (23). 2020, pp. 36-45.
- Boudreau, J. *Human Resources and Organization Success*. Ithaca, NY, Cornell University, School of Industrial and Labor Relations, Center for Advanced Human Resource Studies, 1996.
- Braverman, H. *Trabajo y capital monopolista*. México, Era, 1974.
- Cárdenas, E., M. Valero, L. Pizarro, R. Castro y L. Meneses. *Factores claves para el éxito en las empresas*. Ecuador, Mawil, 2020.
- Castillo, V., M. Bojórquez y A. Pérez. "La mercadotecnia, factor clave para la competitividad organizacional", en: *Gestión y Sociedad*. 6(1). 2013, pp. 15-30.
- Coad, A. "Exploring the Process of Firm Growth: Evidence from a Vector Auto Regression", en: *Industrial and Corporate Change*. 19(6). 2010, pp. 1677-1703.
- Coase, R. "The Nature of the Firm", en: *Economica*. 4(16). 1937, pp. 386-405 (DE) <https://doi.org/10.1111/j.1468-0335.1937.tb00002.x>
- \_\_\_\_\_ "La naturaleza de la empresa", en: Williamson, O. y S. Winter (coords.). *La naturaleza de la empresa: orígenes, evolución y desarrollo*. México, FCE, 1996, pp. 29-48.
- Coriat, B. *Pensar al revés*. México, Siglo XXI, 1992.
- Crozier, M. *El fenómeno burocrático*. TII. Buenos Aires, Amorrortu, 1963.
- Escobar, A. "Determinantes del empleo en la industria manufacturera en México", en: *Papeles de Población*. 17(67). 2011, pp. 251-276.
- Flint, P. "¿Por qué fracasan las empresas? Reatrincheramiento, reflotamiento y recuperación en entornos depresivos", en: *Cuadernos Latinoamericanos de Administración*. II(2). 2006, pp. 53-68.
- González, M., J. Gascó y J. Llopis. "Razones y riesgos del outsourcing de sistemas de información: un análisis de su situación y evolución", en: *Investigaciones Europeas de Dirección y Economía de la Empresa*. 16(1). 2006, pp. 55-76.
- González, J. y A. Mariña. "Metodología para la elaboración de indicadores sobre formación de capital, innovación tecnológica, productividad y costos, para México", en: Leriche G., Cristián (ed.). *Lecturas sobre métodos y enfoques de la economía*. México, UAM-A, 1996, pp. 309-336.
- Greene, W. *Econometric Analysis*. Upper Saddle River, NJ, Prentice Hall, 2000.

- Gómez, M. "El desarrollo de la industria de la maquila en México", en: *Problemas del Desarrollo*. 35(138). 2004, pp. 57-83.
- Gupta, M. y D. Zhender. "Outsourcing and its impact on operations strategy", en: *Production and Inventory Management Journal*. 1994, pp. 70-76.
- Herzberg, F. *The Motivation to Work*. Nueva York, John Wiley, 1959.
- Huerta, R. "Competencia económica en México. Un debate necesario", en: *Problemas del Desarrollo*. 43(170). 2012, pp. 185-199.
- INEGI. *Sistema de Cuentas Nacionales de México*. México, INEGI, 1994-2020.
- \_\_\_\_\_. *Censos Económicos 2004*. Resultados definitivos. México, INEGI, 2004.
- \_\_\_\_\_. *Censos Económicos 2009*. Resultados definitivos. México, INEGI, 2009.
- \_\_\_\_\_. *Censos Económicos 2014*. Resultados definitivos. México, INEGI, 2014.
- \_\_\_\_\_. *Sistema de Clasificación Industrial de América del Norte*. México, INEGI, 2018.
- Jiménez-Bandala, C. y G. Sánchez Daza. "La flexibilidad laboral en México. Los efectos de las relaciones neoliberales de trabajo", en: Ventura, Teresa (coord.). *Las expresiones del mundo laboral*. México, BUAP, 2014, pp. 15-34.
- Kent, C. *The encyclopedia of entrepreneurship*. Englewood Cliffs, Nueva Jersey, Prentice-Hall, 1984.
- Koontz, H., H. Weirich y M. Cannice. *Administración, una perspectiva global y empresarial*. México, McGraw Hill, 2019.
- Kotb, M., M. Haddara y Y. Kotb. "Back-Propagation Artificial Neural Network for ERP Adoption Cost Estimation", en: *Communications in Computer and Information Science*. 220. 2011, pp. 180-187 (DE) [https://doi.org/10.1007/978-3-642-24355-4\\_19](https://doi.org/10.1007/978-3-642-24355-4_19)
- Lee, D. y E. Tsang. "The effects of entrepreneurial personality, background and network activities on venture growth", en: *Journal of Management Studies*. 38(4). 2001, pp. 583-602 (DE) <https://doi.org/10.1111/1467-6486.00250>
- Macías, M., Y. Sánchez y M. Zerón. "Factores conductuales y gerenciales determinantes del éxito emprendedor en México", en: *Revista de Ciencias Sociales*. 25(2). 2019, pp. 26-39.
- MacMillan, I., L. Zemann y P. Subba Narasimha. "Criteria Distinguishing Unsuccessful Ventures in the Venture Screening Process", en: *Journal of Business Venturing*. 2(2). 1987, pp. 123-137.
- Maoh, H. y P. Kanaroglou. "Business Establishment Mobility Behavior in Urban Areas: A Microanalytical Model for the City of Hamilton in Ontario, Canada", en: *Journal of Geographical Systems*. 9(3). 2007, pp. 229-252.
- Mariz, R. y A. Calvo. "La estrategia del crecimiento empresarial: Una visión desde la teoría de los costes de transacción. La gestión de la diversidad", en: *XIII Congreso Nacional, IX Congreso Hispano-Francés*. 2. 1999, pp. 665-670.
- Maslow, A. "A theory of human motivation", en: *Psychological Review*. 50(4). 1943, pp. 370-396.
- Mayo, E. *Problemas humanos de la civilización industrial*. Buenos Aires, Nueva Visión, 1972.
- McDougall, P. y K. Robinson. "Entry Barriers and New Venture Performance: A Comparison of Universal and Contingency Approaches", en: *Strategic Management Journal*. 22(6/7). 1988, pp. 659-685.
- McGregor, D. *El lado humano de las organizaciones*. Bogotá, Mc Graw Hill, 1960.
- Medina, M., A. Sánchez y A. Larrainzar. "Growth Strategies of Media Companies: Efficiency Analysis", en: *Palabra Clave*. 23(1). 2020 (DE) <https://doi.org/10.5294/pacla.2020.23.1.7>
- Molina, C. y B. Vázquez. "Competitividad laboral de las manufactureras en la frontera norte: un análisis con datos de panel", en: *Análisis Económico*. XXVII(65). 2012, pp. 89-100.
- Nelson, R. y S. G. Winter. *An evolutionary theory of economic change*. Cambridge, Harvard University Press, 1982.
- Nicholson, W. *Intermediate Microeconomics*. Ohio, Cengage Learning, 2010.
- Ooghe, H. y S. de Pijcker. "Failure process and causes of company bankruptcy, a typology", en: *Journal of Management Decision*. 46(2). 2008, pp. 223-242 (DE) <http://dx.doi.org/10.1108/00251740810854131>
- O'Reagan, N., A. Ghobadian y M. Sims. "The link between leadership, strategy, and performance in manufacturing SMEs. J. Small Bus", en: *Strategy*. 15(2). 2005, pp. 45-57.
- Pérez, C., D. Gómez y G. Lara. "Determinantes de la capacidad tecnológica en América Latina: una aplicación empírica con datos de panel", en: *Economía, Teoría y Práctica*. 48. 2018, pp. 75-124.
- Peterson, R. A., G. Kozmetsky y N. M. Ridgeway. "Perceived causes of small business failures: a research note", en: *American Journal of Small Business*. 8(1). 1983, pp. 15-19 (DE) <https://doi.org/10.1177/104225878300800106>
- Pearce, J y K. Robbins. "Toward improved theory and research on business turnaround", en: *Journal of Management*. 19(3). 1993, pp. 613-636. [doi.org/10.1016/0149-2063\(93\)90007-A](https://doi.org/10.1016/0149-2063(93)90007-A)
- Pugh, D. y D. Hickson. *Organizational structure in its context*. Londres, Saxon House, 1976 (DE) <https://doi.org/10.1177/017084068000100317>
- Quinn, J. y F. Hilmer. "Strategic Outsourcing", en: *Sloan Management Review*. Summer. 1994, pp. 43-55.
- Rendón, L., P. Mejía y C. Salgado. "Especialización y crecimiento manufacturero en dos regiones del estado de México: un análisis comparativo", en: *Economía: Teoría y Práctica*. 38. 2013, pp. 111-148.
- Rubio, A. y A. Aragón. "Competitividad y recursos estratégicos en las PYME", en: *Revista de Empresa*. 17. 2005, pp. 32-47.
- Simon, H. *Organization*. Nueva York, Mc Millan, 1956.
- Storey, D. J. "The problems facing new firms", en: *Journal of Management Studies*. 22(3). 1985, pp. 327-345 (DE) <https://doi.org/10.1111/j.1467-6486.1985.tb00079.x>

Stuart, R. W. y P. A. Abetti. "Start-up ventures towards the prediction of initial success", en: *Journal of Business Venturing*. 2(3). 1987, pp. 215-230 (DE) [https://doi.org/10.1016/0883-9026\(90\)90029-5](https://doi.org/10.1016/0883-9026(90)90029-5)

Taylor, F. *Times and motion study*. Nueva York, Harper, 1911.

Temtime, Z. T. y J. Pansiri. "Small business critical success/failure factors in developing economies: some evidence from Botswana", en: *Am. J. Appl. Sci.* 1(1). 2004, pp. 18-25 (DE) <https://doi.org/10.3844/ajassp.2004.18.25>

Urrunaga, R., G. Berastain y L. Bravo. *Desempeño empresarial durante el proceso de estabilización*. Perú, Universidad del Pacífico, 1994.

Valdiserri, G. y J. L. Wilson. "The study of leadership in small business organizations: Impact on profitability and organizational success", en: *Entrepreneurial Executive*. 15. 2010, pp. 47-71.

Vargas, G. "La nueva microeconomía dinámica", en: *Investigación Económica*. LXVI(262). 2007, pp. 171-204.

Woodward, J. "Management and Technology", en: Pugh, D. (ed.). *Organization Theory*. Londres, Pinguin Book, 1985.

Wooldridge, J. *Econometric Analysis of Cross Section and Panel Data*. Cambridge, MA, MIT Press, 2002.

## Anexo metodológico

### Definición del tipo de modelo panel

Para determinar si es más conveniente un modelo *Pooled* que uno de efectos aleatorios, se realiza la prueba del multiplicador de Lagrange para efectos aleatorios de Breusch y Pagan (Greene, 2000), que consiste en definir si la varianza de  $(u_i)$  es cero; en tal caso, la ecuación (8) carece de sentido con respecto a la ecuación (3) porque no habría ninguna diferencia relevante. Los resultados de la prueba para ambos modelos se muestran en el cuadro 11.

Para el primer modelo, la prueba nos indica que podemos rechazar la hipótesis nula ( $H_0$ ) y que los efectos aleatorios no son relevantes, por lo que se prefiere una estimación *Pooled* a una de efectos aleatorios. El caso contrario lo representa el segundo modelo, que indica que no se puede rechazar  $H_0$  y, por lo tanto, se prefiere la estimación por efectos aleatorios porque sí se consideraron relevantes ( $u_i$ ).

Como en el modelo de margen neto ( $Y_{it}$ ) se descartó el de efectos aleatorios, se procede a determinar la conveniencia entre un modelo *Pooled* y uno de efectos fijos mediante una prueba *F* restrictiva que supone que todas las variables de los interceptos son iguales a cero; si la prueba se rechaza significa que al menos una variable sí es del modelo y debe usarse el de efectos fijos. Por redundancia se corrió la misma prueba para el modelo de ROA ( $W_i$ ) y los resultados se muestran en el cuadro 12.

En ambos casos se indica que la  $H_0$  se puede rechazar y, por lo tanto, se prefiere efectos fijos sobre un modelo *Pooled*. Hasta aquí, las pruebas de los cuadros 11 y 12 han desestimado el modelo agrupado. Para definir entre el modelo de efectos fijos y el aleatorio, se considera la prueba de Hausman, que verifica que los estimadores de uno y otro modelo no difieren de forma sustancial. En este caso, rechazar  $H_0$  indica que los estimadores sí difieren y, por lo tanto, es más conveniente usar efectos fijos tal y como lo muestran los resultados del cuadro 13.

Cuadro 11

### Pruebas de Breusch y Pagan (multiplicador de Lagrange)

Margen neto ( $Y_{it}$ )	$Pr > Chi2 = 0.7466$
Rendimiento sobre activos ( $W_{it}$ )	$Pr > Chi2 = 0.001$

Fuente: elaboración propia.

Cuadro 12

**Prueba  $F$  de significancia de los efectos fijos**

Margen neto ( $Y_{it}$ )	$Pr > F = 0.030$
Rendimiento sobre activos ( $W_{it}$ )	$Pr > F = 0.000$

Fuente: elaboración propia.

Cuadro 13

**Prueba de Hausman**

Margen neto ( $Y_{it}$ )	$Pr > Chi2 = 0.000$
Rendimiento sobre activos ( $W_{it}$ )	$Pr > Chi2 = 0.000$

Fuente: elaboración propia.

# Procedimiento para evaluar la degradación biológica del suelo en zonas áridas del noreste de México

## *Procedure for Assessing Biological Soil Degradation in Arid Zones of Northeastern Mexico*

Emmanuel F. Campuzano,\* Oscar Briones,\*\* John Larsen,\*\*\* Gabriela Guillén-Cruz,\* Fabián Fernández Luqueño\* y Dulce Flores-Rentería\*\*\*\*

Los suelos de ecosistemas áridos y semiáridos pueden presentar degradación biológica asociada al cambio de uso de suelo, la cual tiene como consecuencia la pérdida o disminución de la capacidad de estos para proporcionar servicios ambientales. Sin embargo, para poder evaluar el grado del daño, es necesario crear herramientas basadas en diferentes indicadores de calidad del suelo (ICS). Por consiguiente, en el presente estudio se identificaron los mejores ICS y sus valores umbrales, que ayudarán a evaluar esta problemática en el noreste árido de México. Para esto, se caracterizaron diferentes variables fisicoquímicas y biológicas de distintos usos de suelo (conservado, agrícola, ganadero, huerto e industrial). De acuerdo con los modelos de ecuaciones estructurales, la respiración del suelo, el pH, la biomasa microbiana y el carbono total fueron los principales indicadores del estado de degradación biológica, con pesos de regresión estandarizados de 0.56, -0.31, 0.18 y 0.14, respectivamente. Por último, se establecieron valores umbrales

Soils in arid and semi-arid ecosystems can show biological degradation associated with land use change, which results in the loss or reduction of their capacity to provide environmental services. However, in order to evaluate the degree of damage, it is necessary to create tools based on different soil quality indicators (SQI). Therefore, the present study identified the best SQIs and their threshold values, which will help to evaluate this problem in the arid northeastern part of Mexico. For this purpose, different physicochemical and biological variables of different land uses (conserved, agricultural, livestock, orchard and industrial) were characterized. According to structural equation models, soil respiration, pH, microbial biomass and total carbon were the main indicators of biological degradation status, with standardized regression weights of 0.56, -0.31, 0.18 and 0.14, respectively. Finally, threshold values were established for each indicator (taking into account seasonality, which determines, to a large extent, biological activity in arid zones), which constitute the

\* Centro de Investigación y de Estudios Avanzados (CINVESTAV) Unidad Saltillo, efcampuzano@gmail.com, gabriela.guillen@cinvestav.edu.mx y fabian.fernandez@cinvestav.edu.mx, respectivamente.

\*\* Instituto de Ecología, A. C., oscar.briones@inecol.mx

\*\*\* Universidad Nacional Autónoma de México, jlarsen@cieco.unam.mx

\*\*\*\* CONACYT-CINVESTAV Unidad Saltillo, yaahid.flores@cinvestav.edu.mx

**Nota:** este proyecto se llevó a cabo con la financiación del Fondo Sectorial CONACYT-INEGI, proyecto 289644 Análisis de intercambio de carbono como indicador de su degradación biológica; los autores agradecen a Andrés Torres Gómez, Fernando Ayala y René Juárez Altamirano por su apoyo en el trabajo de campo; a los propietarios de los predios en los que se llevaron a cabo las mediciones por las facilidades prestadas; así como al Laboratorio de Análisis Químicos del CINVESTAV Unidad Saltillo por su contribución en la determinación de textura, carbono y nitrógeno total.



<a href="https://www.freepik.es/fotos/arbol">Foto de Arbol creado por wirestock - www.freepik.es</a> / wirestock/ Freepik

para cada indicador (teniendo en cuenta la estacionalidad, la cual determina, en gran medida, la actividad biológica en las zonas áridas), que constituyen el Índice de Degradación Biológica y representan un avance en la definición del tema de este trabajo.

**Palabras clave:** indicador de degradación; respiración del suelo; temporalidad; uso de suelo.

Biological Degradation Index and represent an advance in the definition of the subject of this work.

**Key words:** degradation indicator; land use; soil respiration; seasonality

**Recibido:** 20 de enero de 2021.

**Aceptado:** 25 de mayo de 2021.



## Introducción

La degradación del suelo ha sido definida como la disminución de la capacidad del ecosistema para producir bienes o prestar servicios a sus beneficiarios (FAO, 2020). En las regiones áridas, este proceso (conocido como desertificación) es el resultado del cambio en el uso de suelo por las actividades antrópicas, aunado a las altas temperaturas y escasas precipitaciones pluviales que acentúan esta condición y promueven la fragmentación de los ecosistemas (Granados-Sánchez *et al.*, 2013).

Las zonas áridas son de las regiones más vulnerables del planeta debido a su alta dependencia de las lluvias. En estos ecosistemas, la degradación del suelo se acentúa por la falta de agua, lo cual ocasiona que los organismos vivan en el límite de sus umbrales de supervivencia, haciéndolos particularmente sensibles (Muñoz-Iniestra *et al.*, 2013). En México, la mayor superficie de tierras secas se encuentra en el norte, noreste y algunas partes del centro del país, ocupando alrededor de 125.3 millones de hectáreas (65 % del territorio nacional), de las cuales las zonas áridas (54 %) son las más comunes (CONAFOR-UACH, 2013).

Los suelos degradados poseen una calidad deficiente y, con ello, limitan la capacidad de los ecosistemas para proporcionar servicios ambientales y productivos. La degradación puede presentarse como física, química, biológica o ecológica (Lal, 2015) y se refiere, precisamente, a la alteración o pérdida de dichas propiedades del suelo. La física impide que este funcione de manera correcta (Muñoz-Iniestra *et al.*, 2013) y puede manifestarse en la compactación y reducción de la estabilidad de los agregados, lo cual impide el intercambio de gases y agua (Osman, 2013). La química se manifiesta en forma de contaminación, salinización, acidificación, pérdida o distribución irregular de los nutrientes del suelo, pérdida de carbono y alteración de la actividad microbiana (Osman, 2013). Por otra parte, la biológica es la menos estudiada y se refiere a la pérdida o disminución de la microbiota y ha sido asociada a la degradación

de materia orgánica por acción de la mineralización acelerada (Sims, 1990; Lal, 2015).

Para evaluar la condición edafológica, suelen emplearse indicadores de calidad del suelo (ICS), herramientas de medición que ofrecen información sobre las propiedades y procesos de este, los cuales son atributos medibles que revelan la respuesta de la productividad o funcionalidad del suelo al ambiente e indican si su calidad mejora, permanece constante o decrece. Por lo anterior, los ICS dan información acerca del efecto del cambio en el uso del suelo y el impacto de las prácticas humanas sobre su degradación y funcionamiento. Los indicadores pueden ser propiedades físicas (densidad aparente, textura y estructura), químicas (pH, conductividad eléctrica, concentración de nutrientes, contenido de materia orgánica) y biológicas o procesos biogeoquímicos (respiración del suelo, biomasa microbiana y actividad enzimática) que ocurren en él o se vinculan con otros sistemas. A pesar del reciente reconocimiento de la importancia del componente biológico del suelo en el mantenimiento de los servicios ambientales que provee, la cuantificación de su calidad ha sido dominada, principalmente, por indicadores químicos (Lehman *et al.*, 2020). A la fecha, no existen aquellos que sean aplicables de manera universal, es decir, para todos los propósitos y contextos; por lo tanto, la evaluación de la calidad del suelo debe entenderse como un proceso regional específico, analizando los servicios que provee para establecer los mejores indicadores en cada caso (Estrada-Herrera *et al.*, 2017; Lehman *et al.*, 2020).

Uno de los principales ICS es el grado de funcionamiento del suelo estimado a través del intercambio de CO<sub>2</sub>, pues refleja una serie de procesos que involucran su estado físico y químico (pH, cantidad y calidad de nutrimentos, entre otros), así como su composición biológica heterotrófica (microorganismos, principalmente bacterias y hongos) y autotrófica (raíces de plantas) (Bautista *et al.*, 2004; Cueva *et al.*, 2016). Este intercambio de carbono del suelo hacia la atmósfera se le conoce como respiración del suelo (Rs), que es el resultado de la respiración autótrofa (exudados de las raíces y

la rizósfera) y heterótrofa (metabolismo de macro y microorganismos del suelo) (Leon *et al.*, 2014; Phillips y Nickerson, 2015). La Rs varía de manera estacional en los ecosistemas y está controlada, sobre todo, por la temperatura y humedad del suelo (Cueva *et al.*, 2016). Esta es una componente importante del ciclo del carbono y es considerada el segundo flujo más significativo entre los ecosistemas terrestres y la atmósfera. En consecuencia, cualquier alteración en las emisiones de CO<sub>2</sub> (principal gas de efecto invernadero) del suelo en respuesta al cambio ambiental podría tener un efecto sustancial al incrementar sus niveles en la atmósfera y proporcionar un impacto positivo al calentamiento global (Schlesinger y Andrews, 2000; Phillips y Nickerson, 2015). A pesar de su importancia, la inclusión del intercambio de CO<sub>2</sub> en la determinación del concepto de calidad del suelo fue recientemente propuesta (Lehman *et al.*, 2020).

En México, los cuatro principales mecanismos de degradación del suelo son las actividades industrial, agrícola y ganadera, así como la urbanización, relacionadas sobre todo con la acción humana, las cuales disminuyen su productividad biológica y su capacidad actual o futura para sostener la vida de las personas. Los datos más recientes indican que 45 % de los suelos del país presentan algún tipo de degradación inducida por el hombre (SEMARNAT, 2015).

Pese a que los estudios que abordan el proceso de la degradación de los suelos en México datan de mediados del siglo XX, sus resultados no son comparables debido, sobre todo, a diferencias metodológicas y objetivos de valoración (SEMARNAT, 2015). De manera similar, el efecto del cambio de uso de suelo sobre las propiedades edáficas en sistemas áridos ha sido poco explorado con unos cuantos estudios realizados en las regiones centro (Muñoz-Iniestra *et al.*, 2013; Lüneberg *et al.*, 2018) y norte del país (Hernández-Becerra *et al.*, 2016). Dentro de ellos, se ha observado que la degradación física y biológica del suelo estuvo significativamente relacionada con la cobertura o uso del sitio en la cuenca de Zapo-

titlán Salinas, en el Valle de Tehuacán, Puebla (Muñoz-Iniestra *et al.*, 2013). Por otro lado, en el Valle del Mezquital, Hidalgo, se demostró un efecto importante del cambio de uso del suelo (de matorral xerófilo al agrícola), estacionalidad (secas y lluvias) y variación en las prácticas de irrigación (secano, irrigación con agua dulce, residual y/o tratada) sobre las comunidades bacterianas del suelo (Lüneberg *et al.*, 2018). Por último, los estudios más completos son los realizados en el norte de México, dentro de la región de Cuatro Ciénegas en Coahuila de Zaragoza, en los que Hernández-Becerra *et al.* (2016) y Tapia-Torres *et al.* (2018) mostraron que el cambio de uso de suelo (agrícola con alfalfa, agrícola abandonado y pastizal nativo) afectó la dinámica de los nutrientes y la composición de las comunidades bacterianas; los autores observaron diferencias en la composición microbiana entre sitios, denotando una mayor similitud entre los agrícolas (abandonado y alfalfa) respecto al pastizal.

Las zonas áridas y semiáridas del norte de México han sido afectadas por esta modificación de uso de suelo, producto de la conversión y pérdida de la cobertura vegetal del terreno a través de la implementación de actividades económicas y del crecimiento urbano no planificado, resultando necesario determinar su impacto sobre las características edáficas para generar herramientas que permitan monitorear de manera comparable el proceso de su degradación biológica. Por ello, para construir el Índice de Degradación Biológica del Suelo (IDBS), se plantearon varios objetivos para evaluar este problema en estos ecosistemas basado en el intercambio de carbono del suelo, así como los factores bióticos y abióticos que lo controlan: 1) determinar la variación de la Rs y condiciones ambientales entre los diferentes usos de suelo, 2) determinar la variación de las variables edáficas en temporada de lluvias y secas para los diferentes usos de suelo, 3) identificar los indicadores de degradación biológica del suelo a través de modelos de ecuaciones estructurales (SEM, por sus siglas en inglés) y 4) establecer los valores umbrales de los ICS mediante árboles de regresión multivariantes.

## Materiales y métodos

### Área de estudio

El análisis se llevó a cabo en los municipios de Saltillo, Ramos Arizpe y General Cepeda dentro del estado de Coahuila de Zaragoza, México (ver mapa). La región está localizada al este del Desierto Chihuahuense y su clima dominante es árido, semicálido, con temperatura media anual de 18 °C (tipo BWhw) con una media máxima de 31 °C en el mes más caluroso y una mínima de 4 °C en el más frío; la precipitación media anual es de 386 mm, con

la mayor cantidad en julio, agosto y septiembre (WorldClim, 2017); los tipos de suelo dominantes corresponden a Leptosoles y Cambisoles cálcicos, poco profundos y con fases físicas petrocálcicas y pedregosas (WRB, 2015); la topografía es caracterizada por valles y suaves colinas onduladas; la vegetación dominante es matorral xerófilo (Rzedowski, 2006). Dentro de esta área de estudio se eligieron los principales usos de suelo de la región: agrícola, ganadero, huerto de nogal (*Carya illinoensis*), con influencia industrial y matorrales conservados (ver cuadro 1). Todos los sitios se encontraban en terrenos con inclinación menor a 5 grados.

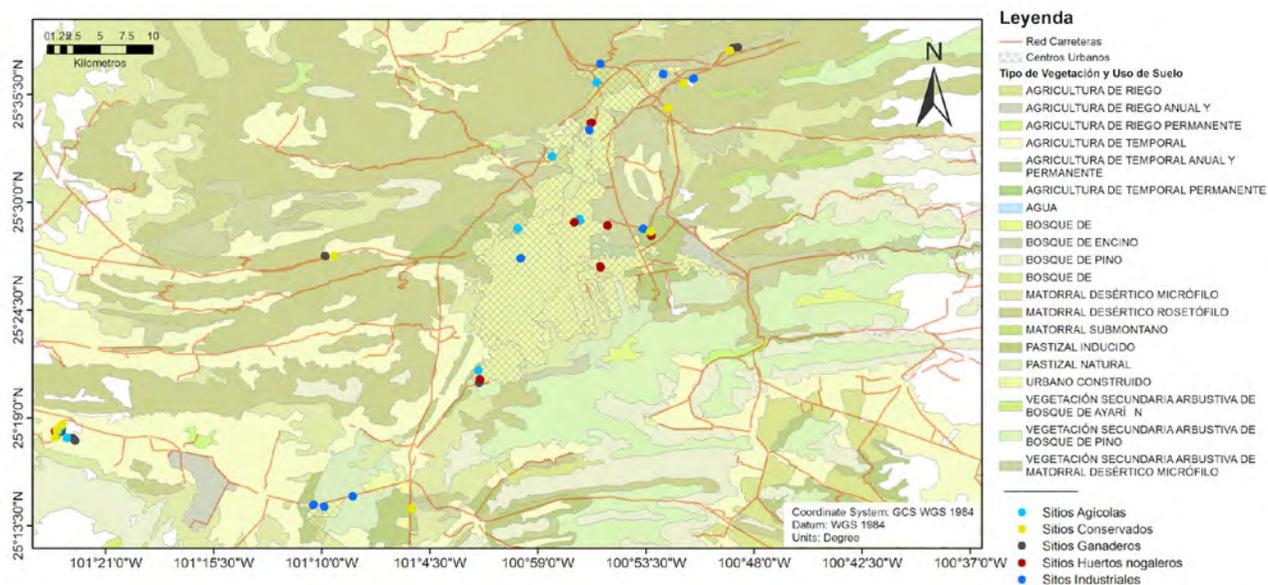
Cuadro 1

### Descripción de los sitios de estudio analizados para la construcción del IDBS en el sureste de Coahuila de Zaragoza, México

Uso de suelo	Altitud (m s. n. m.)	Clima (WorldClim, 2017)	Tipos de suelo (WRB, 2015)	Vegetación
Agrícola	1 300-1 700	TMA: 17.5-18.4 °C PP: 268-493 mm	Calcisol, Regosol y Leptosol	Gradiente de intensidad de uso desde campos en descanso, hasta tres cultivos al año, siendo los principales maíz ( <i>Zea mays L.</i> ), sorgo ( <i>Sorghum spp.</i> ) y avena ( <i>Avena sativa L.</i> ). Formas de riego: temporal, terrazas, inundación.
Conservado	1 240-1 850	TMA: 16.7-18.5 °C PP: 268-493 mm	Leptosol, Kastañozem, Regosol, Calcisol	Matorrales xerófilos (Rzedowski, 2006) con una altura variable de los 50 a 180 cm; sin cambio de uso de suelo evidente. <i>Fouquieria splendens</i> , <i>Prosopis glandulosa</i> , <i>Larrea tridentata</i> , <i>Yucca carnerosana</i> , <i>Yucca filifera</i> , <i>Dasyliirion cedrosanum</i> y las cactáceas <i>Echinocactus spp.</i> , <i>Echinocereus spp.</i> , <i>Mammillaria spp.</i> y <i>Opuntia spp.</i> , entre otras.
Ganadero	1 210-1 800	TMA: 16.7-18.5 °C PP: 374-493 mm	Leptosol, Kastañozem, Regosol, Calcisol	Gradiente de uso desde semiestabulado (50 cabezas por hectárea), sembradas con sorgo ( <i>Sorghum spp.</i> ), hasta potreros intensivos (700 a 1 500). Principalmente ganado vacuno con ovinos ocasionales.
Huertos nogaleros	1 369-1 780	TMA: 17.5-18.5 °C PP: 268-493 mm	Calcisol, Regosol y Leptosol	Nogales pecaneros ( <i>Carya illinoensis</i> ) con gradiente de productividad desde sin explotación hasta explotación comercial. Formas de riego: temporal, goteo, aspersión e inundación.
Industrial	1 240-1 860	TMA: 17.5-18.5 °C PP: 268-485 mm	Calcisol, Regosol y Leptosol	Pastizales inducidos (p. ej. <i>Aristida adscensionis</i> , <i>Bouteloua gracilis</i> ) y vegetación residual de matorral xerófilo (p. ej. <i>Opuntia spp.</i> , <i>Larrea tridentata</i> , <i>Cylindropuntia imbricata</i> , <i>Cylindropuntia leptocaulis</i> ). En las inmediaciones (>100 m) de industrias con emisiones.

**Nota:** los tipos de uso de suelo corresponden a los señalados en el mapa.  
TMA = rango de temperatura media anual.  
PP = rango de precipitación anual.

## Ubicación geográfica de los sitios de estudio, acorde con el uso de suelo y vegetación registrado en el sureste de Coahuila de Zaragoza, México



Fuente: INEGI, 2017.

### Diseño de muestreo

Para cada uso de suelo, se eligieron nueve sitios, haciendo un total de 45. En cada uno se escogieron cinco puntos separados cada 30 m sobre un transecto lineal ( $n = 225$ ). En cada punto se registró la  $R_s$ , temperatura ambiental ( $T_a$ ), humedad relativa ambiental ( $HR_a$ ), luz fotosintéticamente activa (PAR, por sus siglas en inglés), temperatura ( $T_s$ ) y humedad del suelo ( $H_s$ ); además, se tomó una muestra para la determinación de la densidad aparente (DA), arena, limo, arcilla, carbono total (CT), nitrógeno total (NT), conductividad eléctrica (CE), pH, biomasa microbiana (BM), materia orgánica (MO) y de los elementos Al, Ca, Cl, Cr, Cu, Fe, K, Mg, Mn, Na, Ni, P, Pb, Si, S, Sr, Ti, Zn y Zr. El muestreo fue realizado de febrero a diciembre del 2019, durante el horario de máxima actividad de la  $R_s$ , de 12:00 a 16:00 horas (Matías *et al.*, 2012). Para documentar la variación temporal, la  $R_s$  y las condiciones ambientales fueron registradas cada dos meses (febrero, abril, junio, agosto, oc-

tubre y diciembre), mientras que CE, pH, BM y MO se determinaron una vez durante la temporada de secas (febrero) y otra en la de lluvias (agosto). La DA, arena, limo, arcilla, CT, NT y el resto de los nutrientes del suelo antes mencionados fueron determinados solo en el primer muestreo (febrero) debido a que estudios previos en otras zonas áridas del país han demostrado poca variación estacional (Hernández-Becerra *et al.*, 2016; Lüneberg *et al.*, 2018).

### Medición de variables y recolecta de datos

La  $R_s$  fue registrada con una cámara cerrada dinámica portátil (SRC-1; *PP Systems*, Amesbury, MA, USA), acoplada a un analizador de gases infrarrojo en un sistema de estado estable (EGM-5, *PP Systems*), que fue colocada sobre un anillo de PVC (10 cm de diámetro por 5 cm de altura) a 3 cm de profundidad del suelo, el cual fue situado 24 horas

previas al muestreo para minimizar el impacto de su inserción y posible subestimación de la Rs de las raíces (Heinemeyer *et al.*, 2011). La Ts y Hs fueron registradas a 8 cm de profundidad con una *Hydra Probe II* (Stevens), la Ta y HRa se midieron con una microestación *WatchDog* (mod. 1450) y la PAR, con un sensor MQ-200 (*Apogee Instruments*) a 1 m de altura.

Posterior a la medición de la Rs se tomó la muestra de suelo en cada punto, en los primeros 15 cm, las cuales fueron trasladadas al Laboratorio de Sustentabilidad del Suelo del Centro de Investigación y de Estudios Avanzados (CINVESTAV) Unidad Saltillo y almacenadas a 4 °C hasta las determinaciones. Para la de la BM, se conservó una submuestra de suelo a -20 °C; el resto se secó a temperatura ambiente (dentro de un invernadero) hasta peso constante para luego tamizarse a 2 mm; el pH y la CE fueron determinados en una suspensión acuosa 1:2.5 (p:v) con los equipos *Thermo Scientific Orion Star A211* y *Orion Star A212*, respectivamente; la BM, por el método rápido de fumigación-extracción (Gregorich *et al.*, 1990); la MO se evaluó por el de pérdida por ignición a 400 °C durante cuatro horas y la DA, por el volumétrico de probeta. La textura del suelo (arena, limo y arcilla) se determinó mediante granulometría con un analizador de partículas *Horiba LA 950 V2*. La cantidad de CT y NT fue medida por combustión *flash* dinámica con el método de Dumas modificado (Krotz *et al.*, 2016) y empleando un analizador elemental *CHNS-O (FlashSmart modelo 2000, Thermo Fisher Scientific)*. La concentración total de los nutrientes del suelo se determinó a través de fluorescencia de rayos X (*Bruker S4 Pioneer*).

## Análisis de datos

La limpieza de estos consistió en aplicar el método de Tukey para identificar los atípicos y eliminar aquellos que correspondieran a errores de medición (Kannan *et al.*, 2015). Los faltantes fueron imputados implementando el algoritmo de *random forests* (Stekhoven y Bühlmann, 2012). La variación en la Rs, variables ambientales, CE, pH, BM y MO

fueron estudiadas mediante análisis de varianza (ANOVA, por sus siglas en inglés) de dos factores: uso de suelo y evento de colecta. Se realizaron ANOVA de un factor y pruebas *post hoc* de Tukey HSD para evaluar las diferencias entre los usos de suelo y diferentes eventos de muestreo.

Para reducir la dimensión de los datos de los nutrientes del suelo, se realizó un análisis de componentes principales (PCA, por sus siglas en inglés). Los dos resultantes que explicaron la mayor variación de los datos fueron empleados en análisis posteriores. El grado de correlación entre los nutrientes y niveles de uso de suelo se representó mediante la construcción de un gráfico de ordenación. Las diferencias entre los niveles de uso de suelo fueron analizadas a través de la elaboración de elipses de confianza en el gráfico. Previo al PCA, los datos se escalaron con media 0 y desviación estándar 1 para que las variables fuesen comparables y reducir el error por la inclusión de diferentes escalas de medición. Los ANOVA y el PCA ( $\alpha = 0.05$ ) fueron realizados en el programa R (R Core Team, 2019).

Se utilizaron los SEM para seleccionar los indicadores de la degradación biológica del suelo (DBS, especificada como variable latente), considerando los diferentes ICS. Para estos modelos, se planteó la hipótesis de que los distintos ICS medidos serían buenos parámetros de la DBS, en especial los relacionados con la funcionalidad (Rs) y cantidad de microorganismos en el suelo (BM). Se consideró el uso de suelo como una variable exógena del sistema, utilizando como aproximación el coeficiente metabólico promedio estimado para cada uso de suelo, calculado como  $qCO_2 = (Rs * BM/MO)$  (Stevenson *et al.*, 2016). Se analizaron distintos modelos probando el efecto de las 10 variables ambientales y edáficas registradas, más la información de los 19 nutrientes (reducida a dos dimensiones mediante el PCA: PC1 y PC2) sobre la variable latente (DBS).

Para los modelos finales, se establecieron otros con cuatro, cinco y seis indicadores, eliminando progresivamente aquellos ICS no significativos.

Se eligió el mejor modelo como aquel que explicó la mayor proporción de la varianza de la variable latente, utilizando, también, el criterio de información de Akaike para la selección del más parsimonioso, siendo el final:  $DBS = \sim R_s + CT + pH + BM$ ;  $DBS \sim qCO_2$ . El SEM consideró un conjunto de hipótesis basadas en la literatura de la forma en que la cantidad de BM se vería afectada por el CT y el pH ( $BM \sim CT + pH$ ), por lo que se incluyó la relación causal correspondiente en los modelos (Wardle, 1992). De igual manera, se consideró que el CT estaría correlacionado con el pH ( $CT \sim pH$ ; Kemmitt *et al.*, 2006; Yang *et al.*, 2012). Se calcularon los coeficientes de trayectoria estandarizados con el algoritmo de máxima verosimilitud (Shipley, 2002); el grado de ajuste entre las estructuras de covarianza observadas y esperadas en los SEM se evaluó mediante el error cuadrático medio de la estadística de aproximación (RMSEA) (Steiger, 1990; MacCallum *et al.*, 1996); el ajuste del modelo a los datos se evaluó adicionalmente con los índices de Bondad del Ajuste (GFI, por sus siglas en inglés) y de Ajuste Normado (NFI, por sus siglas en inglés) de Bentler y Bonett (Iriondo *et al.*, 2003); además, se establecieron intervalos de confianza a 95 %, basados en un remuestreo en percentiles para la corrección de sesgo, utilizando 2 mil muestras. Los SEM se ajustaron con los programas SPSS® y SPSS® AMOS 20.0 (IBM Corporation Software Group, Somers, NY).

Una vez identificados los mejores indicadores de la degradación biológica del suelo a través de los SEM, se determinaron los valores umbrales de los ICS empleando árboles de regresión multivariante como modelos predictivos (De'ath, 2002).

En este caso, se utilizó como variable categórica el coeficiente metabólico promedio por uso de suelo ( $qCO_2$ ) y como explicativas, los ICS identificados en el SEM como sigue:  $qCO_2 \sim R_s + pH + CT + BM$ . Se construyeron árboles que identificaron grupos homogéneos de sitios en sus hojas (de acuerdo con el coeficiente metabólico que presentaban), permitiendo caracterizarlos mediante los umbrales de las variables explicativas. El análisis se realizó utilizando los paquetes *rpart* y *rpart.plot* en R (R Core Team, 2019). El último paso en la definición

de los grados de DBS consistió en interpretar los sitios homogéneos como tal (hojas en el árbol de regresión multivariante); cada grado se caracterizó por la ruta en el árbol de regresión desde el nodo raíz hasta su hoja, ruta que se interpretó como la conjunción de las condiciones en los indicadores que está involucrada en los nodos. Debido a que los procesos biológicos del suelo son fuertemente dependientes de las condiciones climáticas, los valores umbrales de los indicadores fueron diferentes a lo largo del año, por lo que se definieron los de cada indicador para las épocas seca y lluviosa agrupando los registros de los datos en los meses con mayor semejanza climática.

## Resultados

### Condiciones climáticas y edáficas

Los resultados de los ANOVA mostraron que la variación de la  $R_s$  y las condiciones ambientales dependieron significativamente ( $p < 0.01$ ) de la interacción entre el tipo de uso del suelo y mes del año (ver cuadro 2 y gráficas 1a-f). La mayor y menor  $R_s$  se registraron en los sitios ganaderos en junio y en las zonas industriales, en febrero, respectivamente (ver gráfica 1a); la PAR mostró su valor más alto en espacios conservados en abril y el menor en los sitios con huertos, en junio (ver gráfica 1b). La mayor  $T_a$  se presentó en los agrícolas en agosto, mientras que la menor se dio en los ganaderos en febrero (ver gráfica 1c). La  $HR_a$  más alta se registró en los huertos en junio, mientras que la menor, en los industriales durante febrero (ver gráfica 1d). La  $T_s$  fue más elevada en los sitios conservados en agosto, con sus valores más bajos registrados en los ganaderos en febrero (ver gráfica 1e). La  $H_s$  presentó sus valores más altos en los sitios ganaderos durante junio y los más bajos, en los conservados durante febrero (ver gráfica 1f).

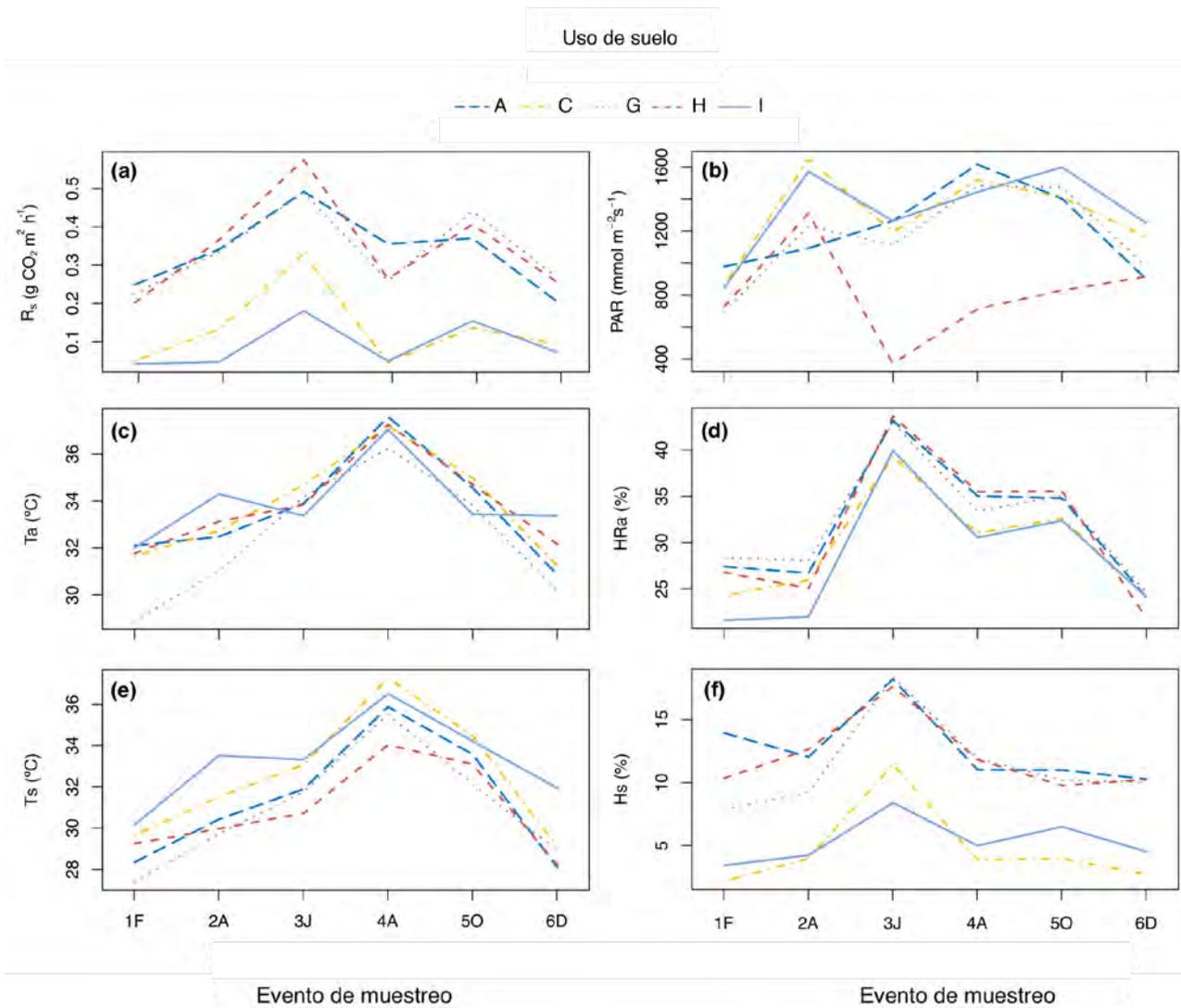
Las variables edáficas CE, pH, BM y MO también mostraron variación significativa ( $p < 0.001$ ; ver Anexo cuadro 1A) respecto a los efectos principales de uso de suelo y de temporada. De estas, solo la

CE y MO presentaron un efecto de interacción significativo ( $p < 0.05$ ; ver Anexo cuadro 1A). La mayor CE se registró en sitios agrícolas en temporada de secas, mientras que la menor, en los conservados durante la de lluvias (ver gráfica 2a). El mayor y menor pH se obtuvo en áreas industriales durante la temporada de secas y en agrícolas en la de llu-

vias, respectivamente (ver gráfica 2b). La BM tuvo mayor valor en los ganaderos durante el periodo de lluvias y menor en los industriales en el de sequía (ver gráfica 2c). Finalmente, la MO fue mayor en sitios ganaderos y menor en los conservados e industriales, sin presentar diferencias entre temporadas para todos los usos de suelo (ver gráfica 2d).

**Gráficas 1**

**Variación por evento de muestreo de la  $R_s$ , PAR,  $T_a$ ,  $H_{Ra}$ ,  $T_s$  y  $H_s$  considerada para la construcción del IDBS en sitios con uso agrícola (A), conservado (C), ganadero (G), huerto (H) e industrial (I) localizados en el sureste de Coahuila de Zaragoza, México**



1F = febrero, 2A = abril, 3J = junio, 4A = agosto, 5O = octubre, 6D = diciembre.

Cuadro 2

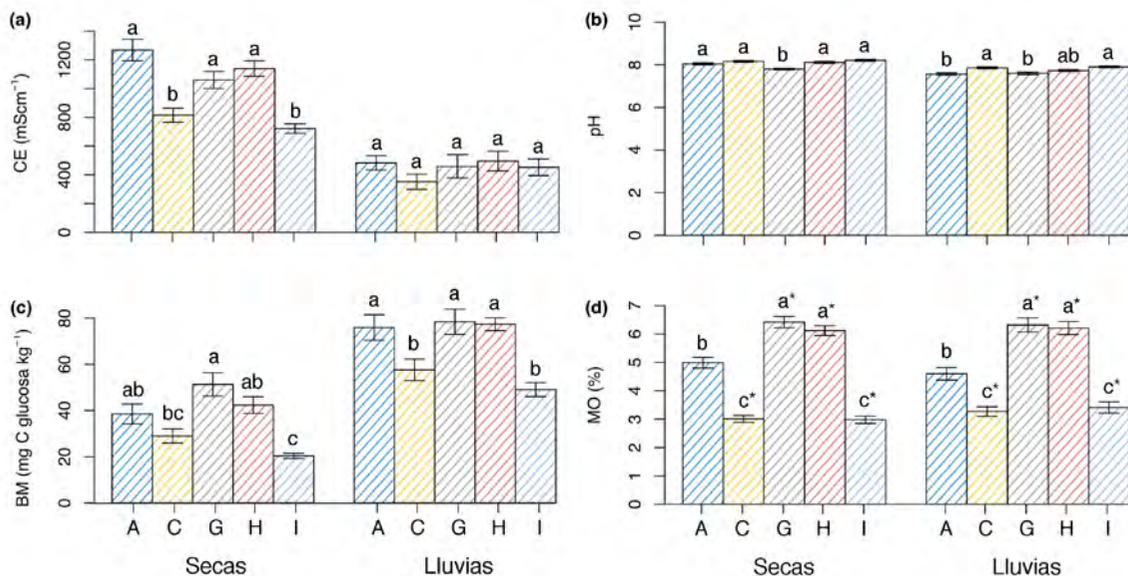
**Efecto del uso de suelo (U), evento de muestreo (E) y su interacción (U × E) sobre la respiración del suelo y las condiciones ambientales y edáficas en el sureste de Coahuila de Zaragoza, México**

Variable		Factor		
		U	E	U × E
	<i>gl</i>	4,1320	5,1320	20,1320
Respiración del suelo (g CO <sub>2</sub> m <sup>-2</sup> h <sup>-1</sup> )	<i>F</i>	199.79	98.54	4.16
	<i>p</i>	< 0.001	< 0.001	< 0.001
Luz fotosintéticamente activa (mmol m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup> )	<i>F</i>	35.18	35.44	5.45
	<i>p</i>	< 0.001	< 0.001	< 0.001
Temperatura ambiental (°C)	<i>F</i>	8.56	82.09	2.35
	<i>p</i>	< 0.001	< 0.001	< 0.001
Humedad relativa ambiental (%)	<i>F</i>	19.39	304.60	2.53
	<i>p</i>	< 0.001	< 0.001	< 0.001
Temperatura del suelo (°C)	<i>F</i>	25.66	130.63	2.07
	<i>p</i>	< 0.001	< 0.001	< 0.004
Humedad del suelo (%)	<i>F</i>	121.9	52.09	2.52
	<i>p</i>	< 0.001	< 0.001	< 0.001

*gl* = grados de libertad.

Gráficas 2

**Propiedades químicas y biológicas del suelo en sitios con uso de suelo agrícola (A), conservado (C), ganadero (G), huerto (H) e industrial (I) en el sureste de Coahuila de Zaragoza, México, consideradas para la construcción del IDBS**



## Notas:

- Las barras representan medias ( $\pm 1$  error estándar) indicando la variación estacional para la conductividad eléctrica (CE), pH (agua), BM y MO.
- Letras diferentes sobre cada barra indican diferencias estadísticas significativas ( $\alpha = 0.05$ ; Tukey HSD) entre usos de suelo dentro de las temporadas de secas y lluvias.
- El asterisco indica no diferencia significativa para el mismo uso de suelo entre temporadas.



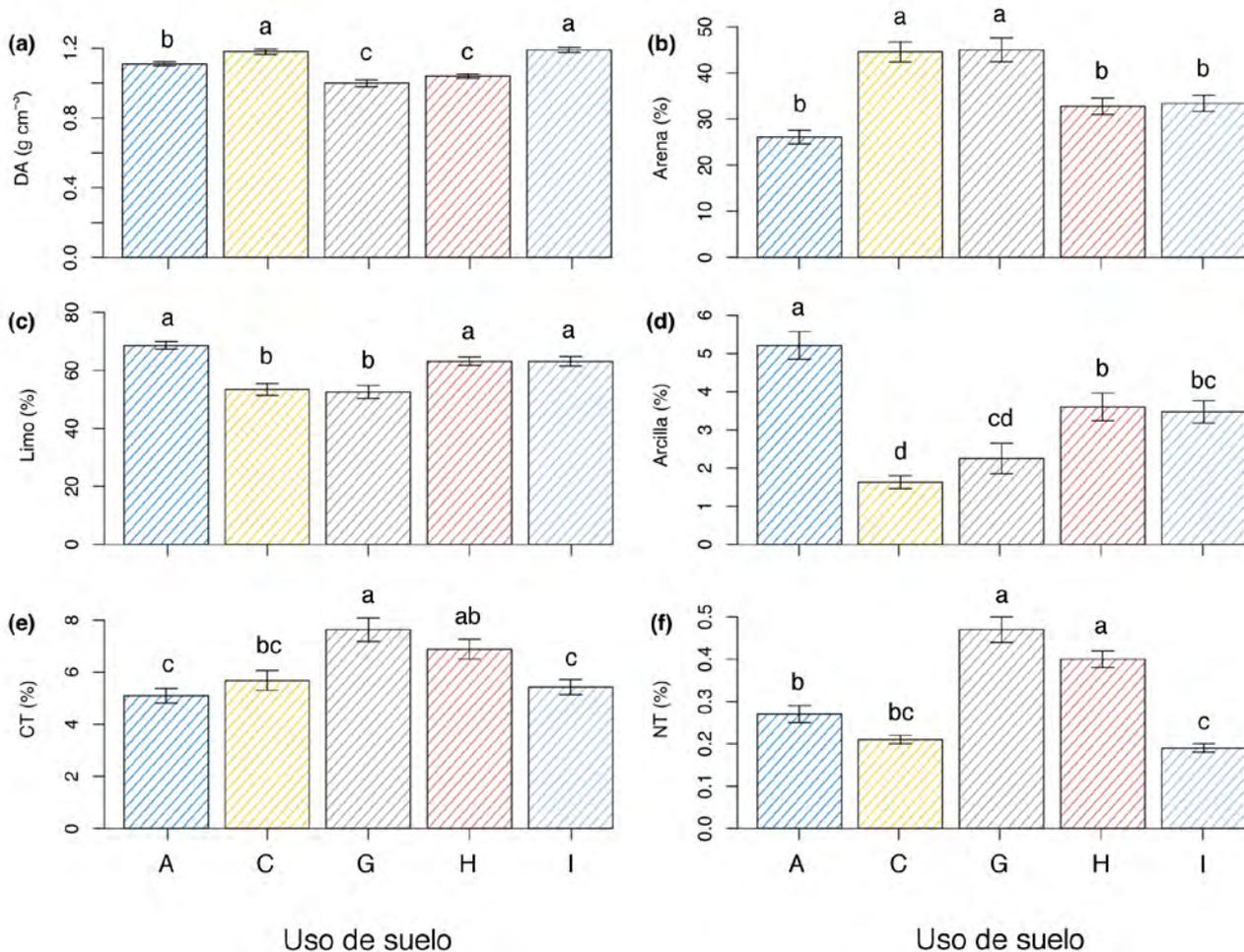
## Propiedades del suelo

Las físicas (DA y textura), así como la concentración de CT y NT del suelo, mostraron diferencias significativas ( $p < 0.001$ ) con respecto al uso de suelo (ver Anexo cuadro 1A). La mayor DA se registró en los sitios conservados y con influencia industrial, mientras la menor, en los ganaderos (ver gráfica 3a). Todos los sitios presentaron textura de suelo franco limoso, aunque mostraron diferencias en la proporción del tamaño de las

partículas minerales. El porcentaje más alto de arena se observó en los ganaderos, mientras que el menor se registró en los agrícolas (ver gráfica 3b). Las zonas agrícolas presentaron la mayor cantidad de limo y la menor, las ganaderas (ver gráfica 3c). El porcentaje de arcilla fue mayor en los sitios agrícolas, mientras que el menor, en los conservados (ver gráfica 3d). Las concentraciones de CT y NT fueron más elevadas en los sitios ganaderos y menores en los agrícolas e industriales, respectivamente (ver gráficas 3e-f).

Gráficas 3

### Propiedades fisicoquímicas de suelos con distinto uso localizados en el sureste de Coahuila de Zaragoza, México, consideradas para la construcción del IDBS



**Notas:**

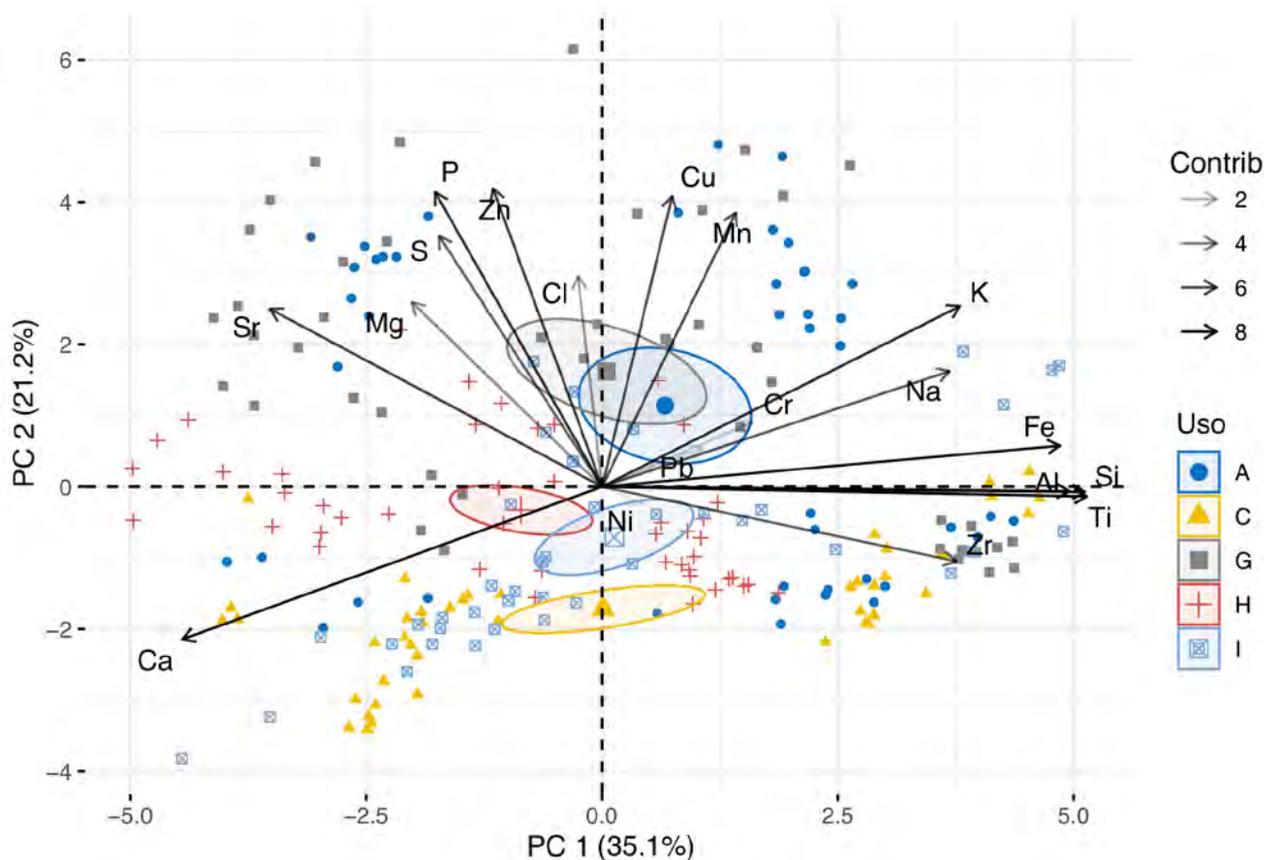
- Las barras representan los valores medios ( $\pm 1$  error estándar) para la DA, textura (arena, limo y arcilla), CT y NT tomados de suelos con uso agrícola (A), conservado (C), ganadero (G), huerto (H) e industrial (I).
- Letras diferentes sobre cada barra indican diferencias significativas entre los usos de suelo (Tukey HSD,  $\alpha = 0.05$ ).

Respecto a la concentración de nutrientes, los primeros dos componentes del PCA explicaron 56.4 % de la variación total de estos en el suelo (ver gráfica 4), denotando valores propios (*eigenvalues*) elevados. De los 19 nutrientes incluidos en el modelo, 17 estuvieron significativamente correlacionados con el PC1 y 13, con el PC2. El gráfico de ordenación evidenció diferencias en la composición de nutrientes en función de las condiciones de uso de suelo, donde la mayor cantidad de elementos químicos estuvo relacionada en más medida

con sitios con uso agrícola y ganadero. El PC1 mostró asociación positiva con sitios agrícolas, pero fue asociado de manera negativa con los huertos. El mismo componente presentó fuertes correlaciones positivas con  $Al_2O_3$ ,  $SiO_2$ ,  $TiO_2$ ,  $Fe_2O_3$  y fuerte correlación negativa con  $CaO$ . Por otro lado, el PC2 mostró asociaciones positivas con sitios agrícolas y ganaderos, mientras que para los industriales, conservados y huertos fueron negativas. El PC2 expuso fuertes correlaciones positivas con  $ZnO$ ,  $P_2O_5$ ,  $CuO$  y  $MnO$  (ver cuadro 3).

Gráfica 4

**Análisis de componentes principales de los nutrientes del suelo de sitios con distinto tipo de uso, monitorizados para la obtención de los indicadores del IDBS en el sureste de Coahuila de Zaragoza, México**



**Notas:**

- Los colores indican el uso de suelo: agrícola (A), conservado (C), ganadero (G), huerto (H) e industrial (I).
- La intensidad del color negro de las flechas indica el porcentaje de contribución de cada nutriente en la construcción de los dos primeros componentes (PC1 y PC2) del gráfico de ordenación (ver cuadro 3).

## Selección de indicadores de la DBS

Con combinaciones de los indicadores se generaron 30 modelos para explicar la variable latente, es decir, la degradación biológica del suelo. Para seleccionar el mejor, se utilizó el porcentaje de explicación de

esta, probando las distintas variables medidas como indicadores de la DBS. Los modelos mostraron una  $R^2$  con un rango de 32-84 % para la variable latente. Se eligió el modelo que explicara el mayor porcentaje de variación y el mejor ajuste de acuerdo con el criterio de información de Akaike.

Cuadro 3

### Concentración media de nutrientes por uso de suelo, coeficientes de correlación y porcentajes de contribución (Cont) entre la concentración de nutrientes del suelo y los dos primeros componentes (PC1 y PC2) del análisis de componentes principales empleado para la construcción del IDBS en el sureste de Coahuila de Zaragoza, México

Nutriente	Correlación		Cont (%)			Media por uso de suelo			
	PC1	PC2	PC1	PC2	A	C	G	H	I
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.92*	-0.01	12.71	0.00	8.72	7.54	7.25	7.34	8.04
CaO	-0.83*	-0.4*	10.26	3.95	17.95	21.77	16.61	21.77	23.12
Cl	-0.05	0.55*	0.03	7.49	0.03	0.01	0.17	0.02	0.00
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.3*	0.17*	1.32	0.7	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01
CuO	0.14*	0.76*	0.29	14.29	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.9*	0.11	12.21	0.28	3.67	2.97	3.14	2.9	3.49
K <sub>2</sub> O	0.71*	0.47*	7.46	5.52	2.34	1.99	2.68	2.06	2.2
MgO	-0.38*	0.48*	2.11	5.76	1.72	1.38	1.58	1.54	1.41
MnO	0.26*	0.72*	1.04	12.72	0.06	0.05	0.06	0.05	0.06
Na <sub>2</sub> O	0.68*	0.3*	7.03	2.26	0.55	0.51	0.51	0.45	0.40
NiO	0.08	-0.04	0.1	0.05	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	-0.33*	0.77*	1.62	14.7	0.53	0.23	0.6	0.42	0.21
PbO	0.2*	0.1	0.59	0.26	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01
SiO <sub>2</sub>	0.95*	-0.01	13.57	0.01	43.71	39.91	39.04	38.15	38.74
SO <sub>3</sub>	-0.32*	0.66*	1.55	10.66	0.38	0.25	0.45	0.42	0.29
SrO	-0.65*	0.46*	6.42	5.35	0.06	0.04	0.05	0.05	0.05
TiO <sub>2</sub>	0.96*	-0.02	13.68	0.02	0.52	0.49	0.45	0.43	0.48
ZnO	-0.21*	0.78*	0.69	15.04	0.03	0.02	0.03	0.02	0.03
ZrO <sub>2</sub>	0.7*	-0.19*	7.31	0.94	0.03	0.03	0.03	0.02	0.03
<i>Eigenvalues</i>	6.68	4.03							

A = agrícola, C = conservado, G = ganadero, H = huerto, I = industrial.

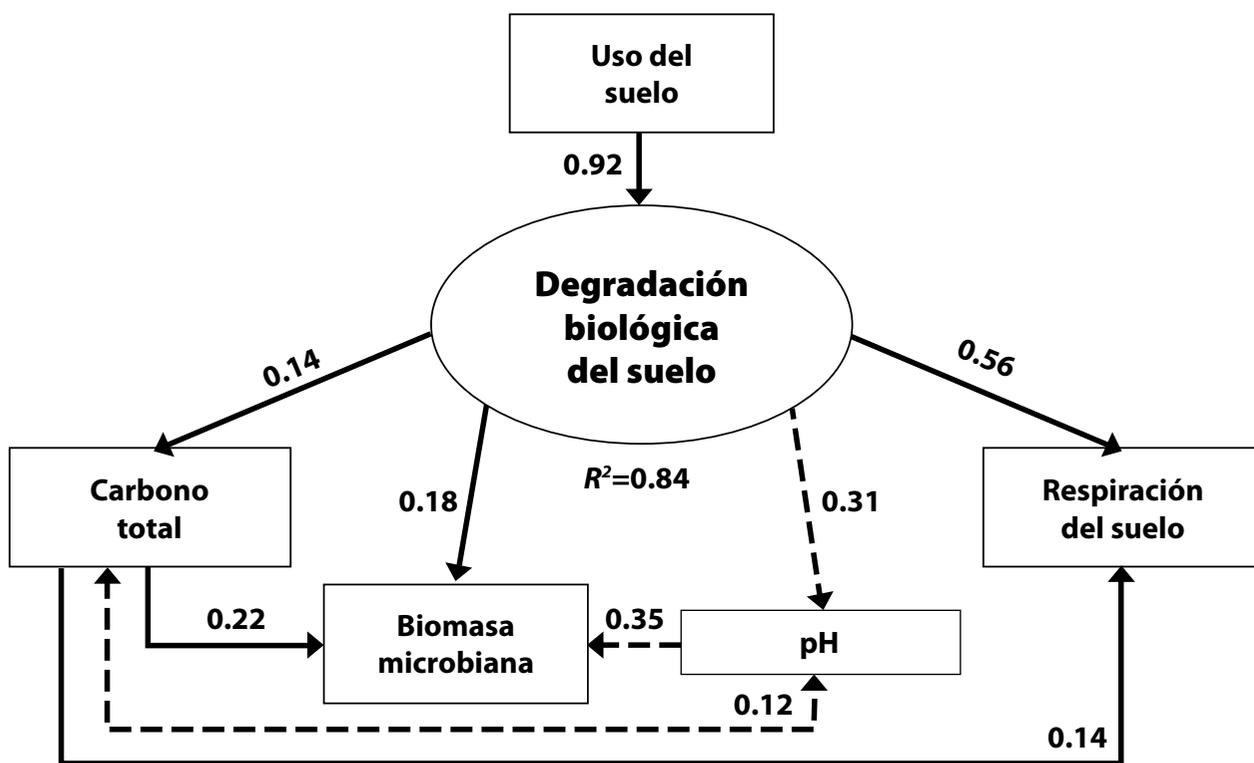
\* Correlación significativa ( $p < 0.05$ ).

De acuerdo con los indicadores NFI = 0.99, GFI = 0.99 y RMSEA = 0.021, el modelo seleccionado mostró un buen ajuste asociado a la heterogeneidad de los datos y explicó 84 % de la variación de la DBS (ver diagrama 1). Conforme a este modelo, los mejores indicadores de la degradación biológica del suelo fueron la Rs, pH,

BM y CT, con pesos de regresión estandarizado (PRE) de 0.56, -0.31, 0.18 y 0.14, respectivamente, que proporcionan PRE para predecir las variables no observadas a partir de las observadas. A su vez, el CT explicó la variabilidad de la Rs y la BM mostrada y esta última fue también afectada por el pH, el cual estuvo correlacionado con el CT.

Diagrama 1

**Modelo de ecuaciones estructurales de los factores químicos y biológicos como indicadores de la degradación biológica del suelo y sus relaciones causales en una zona árida del sureste de Coahuila de Zaragoza, México**



NFI=0.99; GFI=0.99; RMSEA=0.21;  $\chi^2=1.61$ ;  $p=0.21$ ;  $n=1350$

**Notas:**

- Las flechas indican relaciones significativas ( $p < 0.001$ ) causales positivas (líneas continuas) y negativas (líneas discontinuas).
- Los números indican los pesos estimados de la regresión.

**Umbral de los indicadores de la DBS**

Las hojas finales de los árboles de regresión multivariada construidos para buscar los valores de los indicadores de la degradación biológica para las estaciones de secas y lluvias se identificaron como distintos grados de DBS. Los árboles mostraron una

probabilidad de la clase ajustada entre 0.49 y 0.81, indicando buena predicción en la clasificación de la variable explicativa (ver diagrama 2).

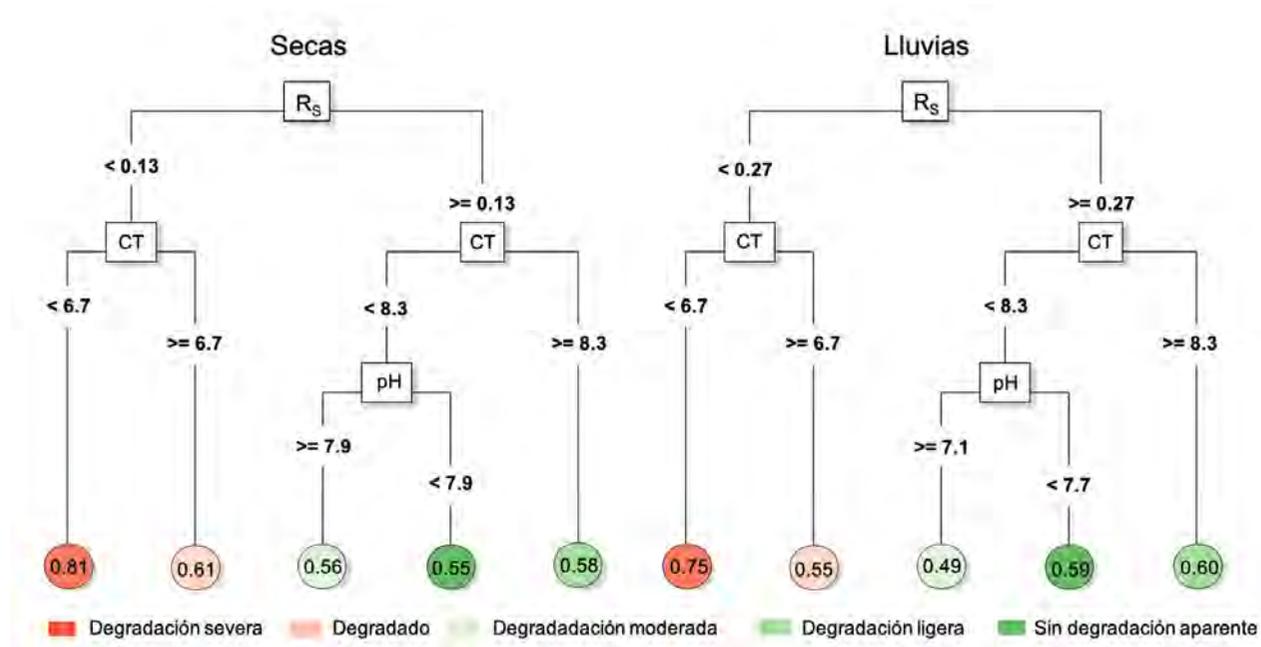
La Rs fue la primera variable explicativa que permitió minimizar la varianza intranódica del coeficiente metabólico del suelo, con valores mínimos

durante la época de secas ( $0.13 \text{ g CO}_2 \text{ m}^2 \text{ h}^{-1}$ ), en comparación con la de lluvias ( $0.27 \text{ g CO}_2 \text{ m}^2 \text{ h}^{-1}$ ). Los valores umbrales de CT tuvieron un intervalo entre 6.7 y 8.3 % para identificar suelos con mayor DBS (severa y degradados) de los que presentaron una menor (moderada, ligera y sin degradación aparente) entre las temporadas de lluvias y secas, respectivamente. El pH mostró valores umbrales de 7.9 en época de

secas para identificar los suelos sin degradación o con una moderada de aquellos que la presentaron de forma ligera y de 7.1 para diferenciar entre suelos sin degradación de los que mostraron una DBS ligera. Por otro lado, los árboles de regresión multivariada no identificaron a la BM en la reducción de la varianza intranódica en el nivel de segregación de la variable explicativa (ver diagrama 2).

Diagrama 2

**Árboles de regresión multivariante para los indicadores de degradación biológica del suelo (ver gráfica 4) que indican los valores de cada variable (entre las ramas) a lo largo del año para la asignación de los grados de DBS en las épocas de secas y lluvias para una zona árida del sureste de Coahuila de Zaragoza, México**



Nota: los números dentro de los círculos indican la probabilidad de la clase ajustada para cada caso.

## Discusión

### Heterogeneidad ambiental

Para que los indicadores de degradación biológica puedan ser comparables entre los sitios analizados en el presente estudio, se debe considerar la heterogeneidad ambiental a las escalas regional y microclimática. Por lo anterior, el diseño de muestreo empleado en este trabajo incluyó los elementos

temporales y de cambio de uso de suelo de mayor representatividad en la región. Los resultados muestran un efecto conjunto de la variación temporal y del cambio de uso de suelo sobre cada una de las condiciones ambientales analizadas, con diferencias tanto entre eventos de muestreo dentro de un mismo uso de suelo como entre los diferentes usos en un determinado evento de muestreo (ver gráficas 2a-f). Este impacto de interacción detectado es congruente con estudios que señalaron

la existencia de una marcada estacionalidad, aun bajo las condiciones semiáridas predominantes de la región (Mendoza-Hernández y González-Aldaco, 2017). En particular, la respiración del suelo en este tipo de ecosistemas es fuertemente influenciada por la variación espacio-temporal de la temperatura (Leon *et al.*, 2014; Cueva *et al.*, 2016) y precipitación (Xu *et al.*, 2004). Estudios realizados en otras zonas semiáridas del norte de México también registraron una marcada heterogeneidad microclimática entre sitios con diferente uso de suelo, coincidiendo con nuestros resultados (Pontifes *et al.*, 2018; Sánchez-Reyes *et al.*, 2019). Esto soporta el hecho de que, pese a la condición semiárida predominante en la región, la heterogeneidad microclimática y ambiental debe ser considerada tal y como se plantea en la medición de los indicadores de degradación biológica aquí propuestos.

### **Indicadores de degradación biológica y su dinámica espacio-temporal**

El presente estudio representa una de las primeras aproximaciones para evaluar DBS, identificando aquellas variables ambientales y edáficas más sensibles a los cambios de uso de suelo en zonas áridas del norte de México (SEMARNAT, 2015), especialmente considerando que se trata de una aproximación holística multicriterio (múltiples indicadores), como ha sido propuesto en revisiones recientes (e. g., Lehmann *et al.*, 2020) y que tiene en cuenta, además, la dinámica temporal de las zonas áridas.

De los cuatro indicadores que explicaron mejor la degradación biológica del suelo, la  $R_s$  fue la variable con mayor peso (ver diagrama 1), coincidiendo con autores que la han señalado como indicador clave para determinar la calidad del suelo (Bautista *et al.*, 2004; Lal, 2015; Lehmann *et al.*, 2020) y la consideraron el mejor indicador de la actividad metabólica de las poblaciones microbianas del suelo (Machulla, 2003). El patrón observado para la  $R_s$  en este trabajo reveló un efecto de interacción significativo entre el uso de suelo y los eventos de muestreo, coincidiendo con lo mencionado por

Cueva *et al.* (2016) y Vargas *et al.* (2010), quienes demostraron que esta variable presenta una dinámica espacio-temporal compleja a diferentes escalas, la cual ha sido registrada previamente en otras zonas áridas del norte de México, donde Leon *et al.* (2014) demostraron que la variación temporal para el flujo de  $CO_2$  del suelo es influenciada, sobre todo, por los cambios mensuales de precipitación y temperatura de este, además de denotar una fuerte dependencia espacial dentro de la misma zona de estudio.

La segunda variable de mayor peso fue el pH, cuya dinámica fue caracterizada por diferencias significativas entre usos de suelo y eventos de muestreo, con un efecto de interacción no significativo (ver cuadro 2). Pese a que se ha observado que el pH no cambia significativamente en diferentes tipos de pastizales de zonas semiáridas en Nuevo México, Estados Unidos de América (Thapa *et al.*, 2018); otros estudios soportan el efecto del cambio de uso de suelo registrado en el presente estudio (Panday *et al.*, 2019; Yan *et al.*, 2019); en particular, se ha observado que suelos agrícolas o ganaderos con alta concentración de nitrógeno en forma de amonio promueven una rápida nitrificación y liberación de iones  $H^+$ , disminuyendo el pH del suelo (Moore *et al.*, 2000). Esto coincide con el menor pH (ver gráfica 2b) y la mayor cantidad de NT (ver gráfica 3f) registrados en los sitios ganaderos evaluados en esta investigación (ver gráficas 2 y 3).

Respecto a la dinámica del CT y BM, se registró un efecto causal directo del primero sobre la segunda (ver diagrama 1), además de una respuesta diferencial para ambas variables entre temporadas y usos de suelo (ver gráficas 2). El efecto estacional y cambio de uso de suelo sobre la BM ha sido previamente demostrado en otras zonas áridas (Saynes *et al.*, 2012; Hernández-Becerra *et al.*, 2016; Lüneberg *et al.*, 2018), estudios que también demuestran que el incremento de la concentración de CT potencia el metabolismo heterótrofo bacteriano, estimulando su fijación en la biomasa de sus comunidades microbianas. En este sentido, las diferencias estacionales observadas en el

presente trabajo para la concentración de CT en sitios agrícolas, respecto a su relativa estabilidad en el resto de los usos de suelo (ver gráficas 2), pueden ser atribuidas a las diferentes prácticas de manejo, pues se ha demostrado que actividades como la labranza, el barbecho y la fertilización, propias de los agrícolas, afectan de manera negativa la permanencia del carbono del suelo (Murty, 2002; McLauchlan, 2006).

Pese a que la acidificación del suelo es un tema de importancia global para el manejo sustentable de este, además de afectar de manera crucial al ciclo del carbono (Yang *et al.*, 2012), existe escaso conocimiento sobre la relación del pH y el contenido de carbono del suelo. Esto es, en parte, debido a la compleja dinámica espacial del pH en respuesta a cambios tanto estructurales (material parental, topografía, clima) como aleatorios (biología del suelo, disturbio humano, diseño de muestro y errores de medición) (Yan *et al.*, 2019). No obstante, el efecto de correlación negativo entre el pH y CT, desplegado en el modelo de ecuaciones estructurales (ver diagrama 1), ha sido previamente reportado en suelos con distinto uso en China y Tailandia (Jin y Wang, 2018; Zhou *et al.*, 2019), remarcando el efecto del cambio de uso de suelo como factor determinante. En el presente estudio, la relación negativa entre pH y CT es claramente demostrada en los sitios ganaderos analizados, que presentaron la mayor concentración de CT (ver gráfica 3e) y el menor pH (ver gráfica 2b). Como se ha argumentado con anterioridad, la elevada concentración de compuestos orgánicos en estos sitios, derivados de las excretas de ganado, pueden contribuir en la subsecuente liberación de  $H^+$  como resultado de su descomposición, disminuyendo su pH (Moore *et al.*, 2000).

La variación temporal derivada de la fuerte dependencia funcional de los ecosistemas áridos a la disponibilidad de agua fue incorporada con la identificación de valores umbrales para las variables indicadoras en cada estación (lluvias y secas). La discriminación de los grados de degradación biológica del suelo basada en la combinación de indicadores de su funcionalidad del suelo ( $R_s$ ) y

filtros ambientales como el pH y el contenido de CT, con la modelación de árboles de regresión multivariantes, ha sido ya documentada, modelando la comunidad microbiana del suelo a nivel regional dentro de otros países (Karim *et al.*, 2020). La aplicación de estas técnicas en futuros estudios permitirá la identificación de distintos grados de DBS, independientemente de la estación en la que se realicen las mediciones.

De este modo, la identificación de los mejores indicadores de la degradación biológica del suelo y la definición de sus valores umbrales para cada grado de degradación en zonas áridas constituye un avance en el entendimiento de los parámetros que se ven afectados por el cambio de uso de suelo, que comprometen la funcionalidad biológica de este. Finalmente, el Índice de Degradación Biológica del Suelo propuesto implica la aplicación de un sistema de cuantificación para la DBS con mediciones sencillas, facilitando su aplicación en futuros estudios.

## Conclusiones

El presente trabajo es pionero en diseñar un protocolo para la evaluación de la degradación biológica de los suelos en zonas áridas del noroeste de México. Los indicadores propuestos señalan distintos grados de DBS asociados a la respiración del suelo, así como diversas variables químicas y biológicas del suelo, contenido de carbono total y pH. Se identificó a la  $R_s$ , pH, biomasa microbiana y carbono total como aquellas variables que explican, en mayor medida, la degradación del suelo dentro del área de estudio analizada. En específico, los resultados refuerzan la idea de que la respiración del suelo es un buen indicador de la calidad de su estado biológico. La identificación de los valores umbrales para cada uno de los indicadores propuestos para la construcción del Índice de Degradación Biológica del Suelo permitirá determinar con relativa facilidad el grado de DBS bajo estos contextos ambientales que son recurrentes en los ecosistemas áridos del norte de México.

## Fuentes

- Bautista, A., J. Barra, R. F. del Castillo y C. Gutiérrez. "La calidad del suelo y sus indicadores", en: *Ecosistemas*. 13, 2. 2004, pp. 90-97.
- Byrne, B. M. "Testing for multigroup invariance using AMOS graphics: A road less traveled", en: *Structural Equation Modeling*. 11, 2. 2004, pp. 272-300.
- CONAFOR-UACH. *Línea base nacional de degradación de tierras y desertificación. Informe final*. Zapopan, Jalisco, México, Comisión Nacional Forestal-Universidad Autónoma Chapingo, 2013.
- Cueva, A., C. A. R. Zazueta, J. Garatuza y E. A. Yépez. "Soil respiration in Mexico: Advances and future directions", en: *Terra Latinoamericana*. 34, 3. 2016, pp. 253-269.
- De'ath, G. "Multivariate regression trees: a new technique for modeling species-environment relationships", en: *Ecology*. 83. 2002, pp. 1105-1117.
- Estrada-Herrera, I. R., C. Hidalgo-Moreno, R. Guzmán-Plazola, J. J. Almaraz, H. Navarro-Garza y J. D. Etchevers-Barra. "Indicadores de calidad de suelo para evaluar su fertilidad", en: *Agrociencia*. 51, 8. 2017, pp. 813-831.
- FAO. *Food and Agriculture Organization of the United Nations*. FAO Soils Portal (DE) consultado el 20 de junio de 2020 en <http://www.fao.org/soils-portal/soil-degradation-restoration/en/>
- Granados-Sánchez, D., M. Á. Hernández-García, A. Vázquez-Alarcón y P. Ruíz-Puga. "Los procesos de desertificación y las regiones áridas", en: *Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*. 19. 2013, pp. 45-66.
- Gregorich, E. G., G. Wen, R. P. Voroney y R. G. Kachanoski. "Calibration of a rapid direct chloroform extraction method for measuring soil microbial biomass C", en: *Soil Biology and Biochemistry*. 22, 7. 1990, pp. 1009-1011.
- Heinemeyer, A., C. Di Bene, A. R. Lloyd, D. Tortorella, R. Baxter, B. Huntley, A. Gelsomino y P. Ineson. "Soil respiration: Implications of the plant-soil continuum and respiration chamber collar-insertion depth on measurement and modelling of soil CO<sub>2</sub> efflux rates in three ecosystems", en: *European Journal of Soil Science*. 62. 2011, pp. 82-94.
- Hernández-Becerra, N., Y. Tapia-Torres, O. Beltrán-Paz, J. Blaz, V. Souza y F. García-Oliva. "Agricultural land-use change in a Mexican oligotrophic desert depletes ecosystem stability", en: *PeerJ*. 8. 2016, DOI: 10.7717/peerj.2365.
- INEGI. *Conjunto de datos vectoriales de la carta de uso del suelo y vegetación. Escala 1:250 000. Serie VI (conjunto nacional)*. Aguascalientes, México, INEGI, 2017.
- \_\_\_\_\_. *Conjunto de datos vectoriales edafológicos. Escala 1: 250 000. Serie II (continuo nacional)*. Aguascalientes, México, INEGI, 2014.
- Iriondo, J. M., M. J. Albert y A. Escudero. "Structural equation modelling: An alternative for assessing causal relationships in threatened plant populations", en: *Biological Conservation*. 113, 3. 2003, pp. 367-377.
- Jin, S. y H. Wang. "Relationships between soil pH and soil carbon in China's carbonate soils", en: *Fresenius Environmental Bulletin*. 27. 2018, pp. 605-611.
- Kannan, K. S., K. Manoj y S. Arumugam. "Labeling methods for identifying outliers", en: *International Journal of Statistics and Systems*. 10, 2. 2015, pp. 231-238.
- Karimi, B., J. Villerd, S. Dequiedt, S. Terrat, N. Chemidlin-Prévost Bouré, C. Djemiel, M. Lelièvre, J. Tripied, V. Nowak, N. P. A. Saby, A. Bispo, C. Jolivet, D. Arrouays, P. Wincker, C. Cruaud y L. Ranjard. "Biogeography of soil microbial habitats across France", en: *Global Ecology and Biogeography*. 29. 2020, pp. 1399-1411.
- Kemmitt, S. J., D. Wright, K. W. T. Goulding y D. L. Jones. "pH regulation of carbon and nitrogen dynamics in two agricultural soils", en: *Soil Biology and Biochemistry*. 38. 2006, pp. 898-911.
- Krotz, L., F. Leone y G. Giazzi. "Nitrogen/Protein Determination in Food and Animal Feed by Combustion Method (Dumas) using the Thermo Scientific Flash Smart Elemental Analyzer", en: *Application Note, Thermo Fisher*. 2016.
- Lal, R. "Restoring Soil Quality to Mitigate Soil Degradation", en: *Sustainability*. 7, 5. 2015, pp. 5875-5895.
- Lehmann, J., D. A. Bossio, I. Kögel-Knabner y M. C. Rillig. "The concept and future prospects of soil health", en: *Nature Reviews Earth & Environment*. 1, 10. 2020, pp. 544-553.
- Leon, E., R. Vargas, S. Bullock, E. Lopez, A. R. Panosso y N. La Scala. "Hot spots, hot moments, and spatio-temporal controls on soil CO<sub>2</sub> efflux in a water-limited ecosystem", en: *Soil Biology and Biochemistry*. 77. 2014, pp. 12-21.
- Lüneberg, K., D. Schneider, C. Siebe y R. Daniel. "Drylands soil bacterial community is affected by land use change and different irrigation practices in the Mezquital Valley, Mexico", en: *Scientific Reports*. 8. 2018, pp. 1-15.
- MacCallum, R. C., M. W. Browne y H. M. Sugawara. "Power analysis and determination of sample size for covariance structure modeling", en: *Psychological Methods*. 1, 2. 1996, pp. 130-149.
- Machulla, G. "Soil microbial indicators and their environmental significance", en: *Journal of Soils and Sediments*. 3. 2003, pp. 229-229.
- Matías, L., J. Castro y R. Zamora. "Effect of Simulated Climate Change on Soil Respiration in a Mediterranean-Type Ecosystem: Rainfall and habitat type are more important than temperature or the soil carbon pool", en: *Ecosystems*. 15, 2. 2012, pp. 299-310.
- McLauchlan, K. "The nature and longevity of agricultural impacts on soil carbon and nutrients: A review", en: *Ecosystems*. 9, 8. 2006, pp. 1364-1382.
- Mendoza-Hernández, J. M. y S. X. González-Aldaco. "Clima", en: CONABIO-Gobierno del estado de Coahuila de Zaragoza. *La biodiversidad en Coahuila. Estudio de estado*. Volumen I. Ciudad de México, CONABIO-Gobierno del estado de Coahuila de Zaragoza, 2017, pp. 45-54.



- Moore, J. M., S. Klose y M. A. Tabatabai. "Soil microbial biomass carbon and nitrogen as affected by cropping systems", en: *Biology and Fertility of Soils*. 31. 2000, pp. 200-210.
- Muñoz-Iniestra, D. J., M. Ferreira-Ramírez, I. B. Escalante-Arriaga y J. L. López-García. "Relación entre la cobertura del terreno y la degradación física y biológica de un suelo aluvial en una región semiárida", en: *Terra Latinoamericana*. 31, 3. 2013, pp. 201-210.
- Murty, D., M. U. F. Kirschbaum, R. E. Mcmurtrie y H. MCGILVAY. "Does conversion of forest to agricultural land change soil carbon and nitrogen? A review of the literature", en: *Global Change Biology*. 8, 2. 2002, pp. 105-123.
- Osman, K. T. "Soil degradation, conservation and remediation", en: *Soil Degradation, Conservation and Remediation*. Springer, Dordrecht, 2013, pp. 125-148.
- Panday, D., R. B. Ojha, D. Chalise, S. Das y B. Twanabasu. "Spatial variability of soil properties under different land use in the Dang district of Nepal", en: *Cogent Food & Agriculture*. 5. 2019, pp. 1-9.
- Phillips, C. L. y N. Nickerson. "Soil respiration", en: *Reference Module in Earth Systems and Environmental Sciences*. Elsevier, 2015, pp. 1-20.
- Pontifes, P. A., P. M. García-Meneses, L. Gómez-Aíza, A. I. Monterroso-Rivas y M. Caso-Chávez. "Land use/land cover change and extreme climatic events in the arid and semi-arid ecoregions of Mexico", en: *Atmósfera*. 31, 4. 2018, pp. 355-372.
- R Core Team. *R: A language and environment for statistical computing. Version 3.5.0*, 2019 (DE) <https://www.R-project.org/>
- Rzedowski, J. *Vegetación de México*. México, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, 2006.
- Sánchez-Reyes, U. J., S. Niño-Maldonado, L. Barrientos-Lozano, J. Treviño-Carreón y P. Almaguer-Sierra. "Seasonal microclimatic variation in a succession gradient of low thorn forest in Northeastern Mexico", en: *Revista de Biología Tropical*. 67. 2019, pp. 266-277.
- Saynes, V., J. D. Etchevers, L. Galicia, C. Hidalgo y J. Campo. "Soil carbon dynamics in high-elevation temperate forests of Oaxaca (Mexico): thinning and rainfall effects", en: *Bosque*. 33. 2012, pp. 3-11.
- Schlesinger, W. H. y J. A. Andrews. "Soil respiration and the global carbon cycle", en: *Biogeochemistry*. 48, 1. 2000, pp. 7-20.
- SEMARNAT. *Suelos. Informe de la situación del medio ambiente en México. Compendio de estadísticas, indicadores clave, de desempeño ambiental y de crecimiento verde*. 2015 (DE) consultado el 21 de junio de 2020 en <https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/informe15/index.html#>
- Shipley, B. *Cause and correlation in biology: a user's guide to path analysis, structural equations and causal inference*. Cambridge, UK, Cambridge University Press, 2002.
- Sims, G. K. "Biological Degradation of Soil", en: Lal, R., B. A. Stewart (eds.). *Advances in Soil Science*. Volume 11. Springer, New York, 1990, pp. 289-330.
- Steiger, J. H. "Structural model evaluation and modification: An interval estimation approach", en: *Multivariate Behavioral Research*. 25, 2. 1990, pp. 173-180.
- Stekhoven, D. J. y P. Bühlmann. "Missforest-Non-parametric missing value imputation for mixed-type data", en: *Bioinformatics*. 28. 2012, pp. 112-118, DOI: 10.1093/bioinformatics/btr597.
- Stevenson, B. A., A. K. Sarmah, R. Smernik, D. W. F. Hunter y S. Fraser. "Soil carbon characterization and nutrient ratios across land uses on two contrasting soils: Their relationships to microbial biomass and function", en: *Soil Biology and Biochemistry*. 97. 2016, pp. 50-62.
- Tapia-Torres, Y., P. O. Chávez, N. Hernández-Becerra, A. C. Morón, O. Beltrán-Paz y F. García-Oliva. "How do agricultural practices modify soil nutrient dynamics in CCN?" en: García-Oliva, Felipe, James Elser, Valeria Souza (eds.). *Ecosystem Ecology and Geochemistry of Cuatro Ciénegas*. Springer, 2018, pp. 153-161.
- Thapa, V. R., R. Ghimire, M. M. Mikha, O. J. Idowu y M. A. Marsalis. "Land Use Effects on Soil Health in Semiarid Drylands", en: *Agricultural & Environmental Letters*. 3, 1. 2018.
- Vargas, R., M. Detto, D. D. Baldocchi y M. F. Allen. "Multiscale analysis of temporal variability of soil CO<sub>2</sub> production as influenced by weather and vegetation", en: *Global Change Biology*. 16, 5. 2010, pp. 1589-1605.
- Villarreal-Quintanilla, J. Á. y J. A. Encina-Domínguez. "Plantas vasculares endémicas de Coahuila y algunas áreas adyacentes, México", en: *Acta Botánica Mexicana*. 70. 2005, pp. 1-46.
- Wardle, D. A. "A comparative assessment of factors which influence microbial biomass carbon and nitrogen levels in soil", en: *Biological Reviews*. 67, pp. 321-358.
- WorldClim. *Global Climate Data v. 2.0*. 2017 (DE) consultado en junio del 2020 en <https://www.worldclim.org/>
- Working Group WRB, IUSS 2015. *Base referencial mundial del recurso suelo 2014. Sistema internacional de clasificación de suelos para la nomenclatura de suelos y la creación de leyendas de mapas de suelos. Actualización 2015*. Informes sobre recursos mundiales de suelos 106. Roma, FAO.
- Xu, L., D. Baldocchi y J. Tang. "How soil moisture, rain pulses, and growth alter the response of ecosystem respiration to temperature", en: *Global Biogeochemical Cycles*. 18. 2004, pp. 1-10.
- Yan, P., H. Peng, L. Yan, S. Zhang, A. Chen y K. Lin. "Spatial variability in soil pH and land use as the main influential factor in the red beds of the Nanxiong Basin, China", en: *PeerJ*. 1. 2019, pp. 1-22.
- Yang, Y., C. Ji, W. Ma, S. Wang, S. Wang, W. Han, A. Mohammad, D. Robinson y P. Smith. "Significant soil acidification across northern China's grasslands during 1980s-2000s", en: *Global Change Biology*. 18, 7. 2012, pp. 2292-2300.
- Zhou, W., G. Han, M. Liu y X. Li. "Effects of soil pH and texture on soil carbon and nitrogen in soil profiles under different land uses in Mun River Basin, Northeast Thailand", en: *PeerJ*. 10. 2019.

## Anexo

Cuadro 1A

### Efecto del uso de suelo (U), evento de muestreo (E) y su interacción (U × E) sobre las propiedades fisicoquímicas y biológicas monitorizadas para la construcción del IDBS en el sureste de Coahuila de Zaragoza, México

Variable		Factor		
		U	E	U × E
	<i>gl</i>	4,220	--	--
Densidad aparente (g cm <sup>-3</sup> )	<i>F</i>	30.44	--	--
	<i>p</i>	< 0.001		
Arena (%)	<i>F</i>	16.92	--	--
	<i>p</i>	< 0.001		
Limo (%)	<i>F</i>	15.46	--	--
	<i>p</i>	< 0.001		
Arcilla (%)	<i>F</i>	17.85	--	--
	<i>p</i>	< 0.001		
Carbono total (%)	<i>F</i>	8.81	--	--
	<i>p</i>	< 0.001		
Nitrógeno total (%)	<i>F</i>	44.73	--	--
	<i>p</i>	< 0.001		
Conductividad eléctrica (mS cm <sup>-1</sup> )	<i>gl</i>	4,440	1,440	4,440
	<i>F</i>	10.15	217	5.45
	<i>p</i>	< 0.001	< 0.001	< 0.001
pH	<i>F</i>	16.96	109.55	2.12
	<i>p</i>	< 0.001	< 0.001	0.078
Biomasa microbiana (mg C glucosa kg <sup>-1</sup> )	<i>F</i>	18.91	147.92	0.63
	<i>p</i>	< 0.001	< 0.001	0.643
Materia orgánica (%)	<i>F</i>	57.24	16.43	2.59
	<i>p</i>	< 0.001	< 0.001	0.036

**Nota:** el efecto del evento de muestreo y su interacción con cada uso de suelo fueron calculados únicamente para las variables muestreadas en más de un evento.

# Una propuesta para el análisis regional de la pobreza en México

## *A Proposal for a The Regional Analysis of Poverty in Mexico*

**Marco Antonio Pérez Méndez\***

En este artículo se realiza una propuesta de regionalización homogénea para la Tasa de Pobreza por entidad federativa que permita potenciar el análisis regional de la pobreza y cómo esta se explica, en términos regionales, por el crecimiento y la desigualdad. Se estudian los diferentes escenarios sugeridos con anterioridad y se emplea el algoritmo *Max-P* para identificar el óptimo entre pobreza y desigualdad. Además, se analiza la pobreza acompañada del crecimiento y la desigualdad del ingreso desde la perspectiva regional para identificar las sendas regionales diferenciadas de la relación triangular descrita.

**Palabras clave:** pobreza; algoritmo; crecimiento regional.  
JEL: I32, C65, R11

Recibido: 22 de marzo de 2021.  
Aceptado: 25 de mayo de 2021.

\* Profesor-investigador del Departamento de Economía de la Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Iztapalapa, marcoa.perez@economistas.com

In this paper we propose a homogeneous regionalization of the Poverty Rate by state to enhance the regional analysis of poverty and how it is explained, in regional terms, by growth and inequality. The different scenarios suggested above are studied and the *Max-P* algorithm is used to identify the optimum between poverty and inequality. In addition, poverty accompanied by growth and income inequality are analyzed from a regional perspective to identify the differentiated regional paths of the triangular relationship described above.

**Key words:** poverty; algorithm; regional growth.

## 1. Introducción

Hernández Laos (2009) apuntaba que, a partir del 2000 y hasta el 2006, el crecimiento económico en México, si bien había sido incipiente, era de carácter *pro-pobre*, principalmente, por el acompañamiento de efectos redistributivos derivados, entre otros aspectos, por el aumento de perceptores de ingreso por hogar, los efectos del bono demográfico, el incremento de remesas y transferencias públicas focalizadas y, en general, la transformación del mercado laboral. Sin embargo, sus predicciones sobre el primer sexenio del milenio relacionadas con los efectos redistributivos y su posible creación de un proceso de causación circular acumulativa por medio del cual la disminución de la desigualdad favoreciera el crecimiento y este, a su vez, al abatimiento de la pobreza, no se vieron cristalizadas. El factor decisivo en el impedimento de dichas predicciones fue, sin duda, el efecto de la crisis internacional del 2008 y sus repercusiones en la dinámica del crecimiento, los procesos distributivos y, por ende, la Tasa de Pobreza (TP).

Los efectos que dejó la crisis económica internacional han sido esbozados, desde perspectivas distintas, por Campos-Vázquez y Monroy-Gómez-Franco (2016), así como por Hernández Laos y Benítez Lino (2014), quienes, por separado, han mostrado el vínculo entre la evolución de la pobreza y los vaivenes del ciclo económico. En específico, Hernández y Benítez (2014) han mostrado el vínculo entre la TP y el ciclo económico; además, muestran qué periodos de contracción económica, caracterizados por la crisis internacional del 2008, afectan de manera directa el comportamiento de la TP, principalmente por los efectos sobre el mercado laboral.

Este acontecimiento se muestra en la gráfica 1, donde se aprecia con claridad que, durante el periodo precrisis, la TP mostró una reducción significativa, tal como apuntaba Hernández Laos (2009), sin embargo, en el momento de crisis, dicha tendencia se revierte generando incrementos considerables en las tasas de pobreza, tanto total como extrema. A diferencia del evento esperado, el lapso postcri-



<a href="https://www.freepik.es/fotos/arbol">Foto de Árbol creado por lachetas - www.freepik.es</a> / lachetas / Freepik

sis muestra continuidad en la tendencia alcista de la TP, fenómeno que requiere profundización en su explicación pues, en la medida en la que se recupera la economía, y a la luz de los postulados de Hernández y Benítez (2014) sobre el acompañamiento de la TP y el ciclo económico, se esperaría que la recuperación de la economía a partir del 2010 se viera acompañada de una reducción en la TP. Sin embargo, ha sucedido lo contrario, su tendencia alcista la ha ubicado en niveles similares al 2002, generando una década perdida en términos de reducción de la pobreza y distribución del ingreso.

A la luz de este comportamiento se proponen, como objetivos de investigación, analizar las diferencias regionales entre las diferentes tasas de pobreza y sugerir un escenario de regionalización que permita evaluar de manera agregada y regional las variaciones de corto plazo de las TP, la desigualdad y el crecimiento regional. Persiguiendo tales objetivos, se propone en la sección 2 el uso de instrumentos de análisis distributivo para corroborar las disparidades y los contrastes del comportamiento nacional en el periodo de estudio y profundizar en la óptica de la pobreza; en la 3 se aborda el fenómeno descrito en el apartado previo, pero desde la perspectiva de las diferencias regionales resaltando la heterogeneidad y diversificación económica de México; en la 4 se muestra un recorrido por los distintos escenarios de regionalización mexicana

nos y se identifica al algoritmo *Max-P* como el método idóneo para la regionalización de la pobreza; en la 5 se presenta el estudio, desde la perspectiva regional, de las diferencias de la pobreza, el crecimiento y la desigualdad.

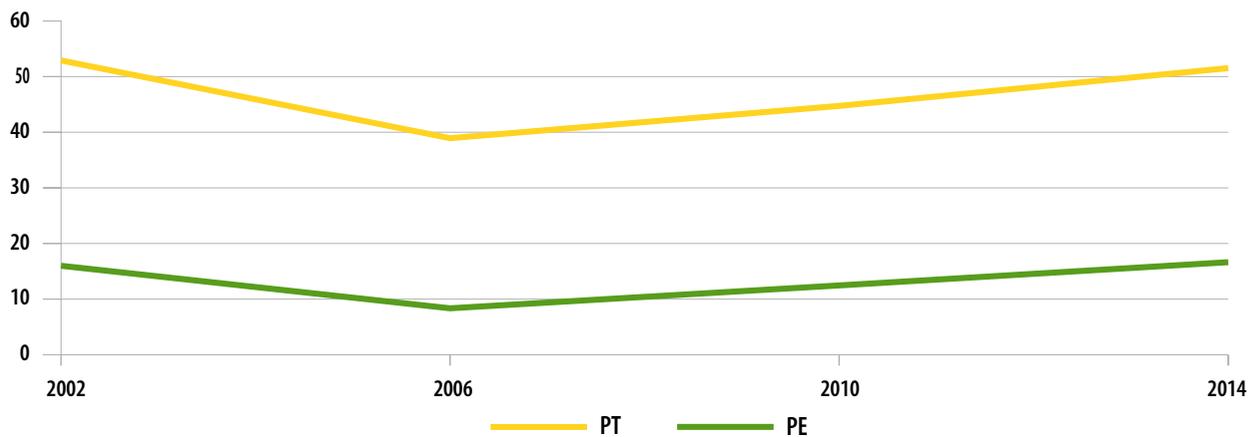
## 2. Instrumentos para el análisis de la evolución de la pobreza

Se plantea si el comportamiento de la TP nacional se reproduce dentro de las regiones económicas de México y si la heterogeneidad económica del país genera variaciones diferenciadas en la TP entre las regiones económicas. Se postula como hipótesis principal que las diferencias en las TP en las regiones de México se explican por los distintos niveles de crecimiento económico regional y por los canales de distribución del ingreso debido a la heterogeneidad económica reflejada tanto en las distintas estructuras productivas y sectoriales como en los patrones de distribución del ingreso de los hogares.

Una mirada inicial sobre la evolución de la TP se puede observar de manera gráfica por medio de las curvas de pobreza (*Poverty Gap Curves*) planteadas por Jenkins y Lambert (1997), las cuales brindan un resumen gráfico de la incidencia, intensidad y desigualdad de la pobreza. La pobreza

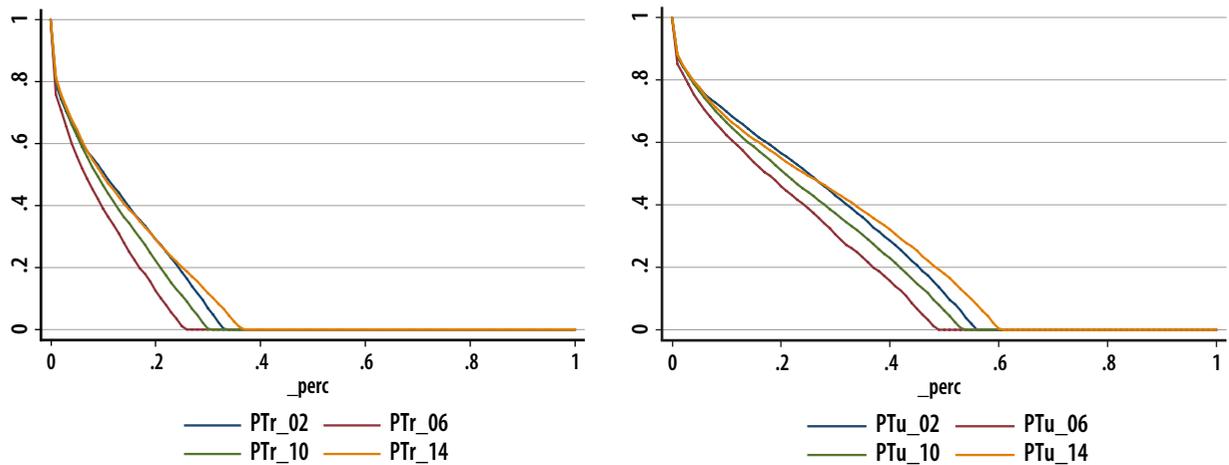
Gráfica 1

### Evolución de la Tasa de Pobreza en México, 2002-2014



Fuente: elaboración propia con base en la Encuesta Nacional de Ingresos y Gastos de los Hogares (ENIGH), ediciones 2002, 2006, 2010 y 2014, levantada por el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI).

### Curvas de pobreza en México, 2002-2014

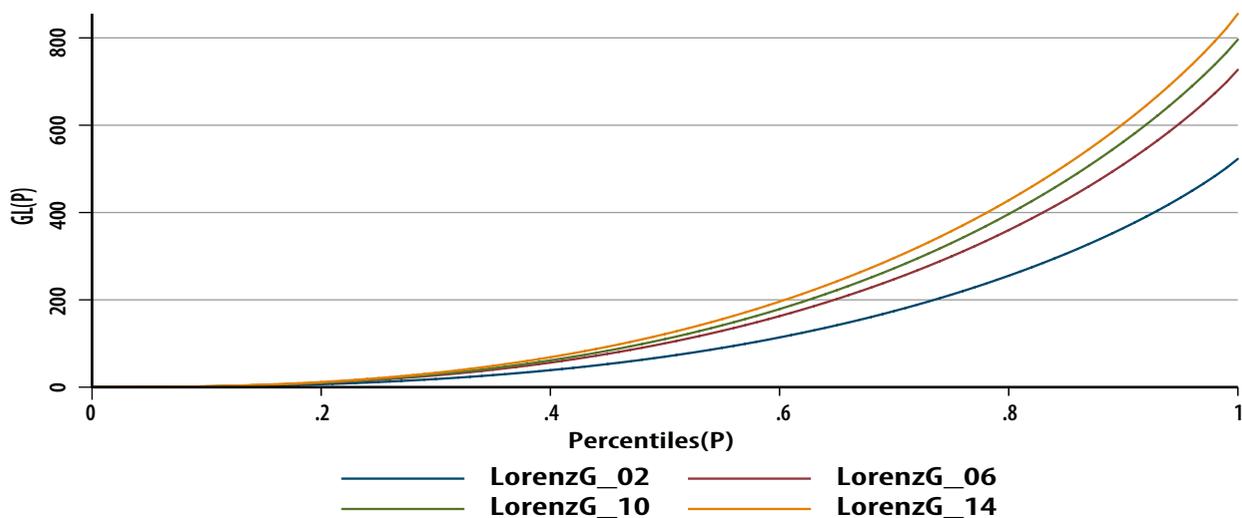


Fuente: elaboración propia con base en ENIGH, ediciones 2002, 2006, 2010 y 2014.

total urbana se distribuye hasta el decil 6, mientras que la total rural, hasta el 4. Las curvas permiten un análisis interesante pues, en el caso de la pobreza total urbana, las del 2002 y 2014 (ver gráficas 2) se cruzan alrededor del decil 3, lo cual sugiere que la pobreza disminuyó en la parte baja de la distribución y aumentó en los deciles 4 y 5. Al analizar el comportamiento de la desigualdad, medido por el Coeficiente de Gini y sus curvas de Lorenz subyacentes, no se aprecia una reducción clara de esta, o bien, un incremento de ella en el periodo de crisis.

Para identificar con mayor precisión el grado de desigualdad y su evolución en los años mencionados, se recurre a otro conjunto de instrumentos de análisis distributivo. Dado que las curvas de Lorenz se intersecan y los coeficientes de Gini muestran valores similares, se realiza la construcción de las curvas de Lorenz generalizadas, las cuales se aprecian en la gráfica 3, donde se observa cómo la desigualdad ha disminuido, a nivel nacional, durante los años de estudio, pues la correspondiente al 2014 domina a las anteriores.

### Curvas de Lorenz generalizadas en México, 2002-2014



Fuente: elaboración propia con base en ENIGH, ediciones 2002, 2006, 2010 y 2014.

Se muestra la distribución del ingreso para los años seleccionados; se aprecia que la distribución ha cambiado significativamente. En las gráficas 4 se observa que la distribución se ha vuelto más mesocúrtica, lo cual sugiere que la cantidad de población con ingresos muy bajos ha disminuido y un porcentaje mayor de los habitantes se encuentra alrededor del ingreso promedio. El área a partir de la intersección entre la función del 2014 y 2002 sugiere un incremento considerable de la clase media. Presenta la distribución del logaritmo del ingreso y se ve que esta se ha desplazado a la derecha, lo cual indica que el ingreso promedio ha aumentado. También, se observa que el número de individuos en la parte baja de la distribución ha aumentado, lo que puede indicar un incremento en la cantidad de personas en pobreza, aunque, en comparación con el 2002, el 2014 muestra una disminución. Por otro lado, dado que la distribución del 2014 es más platicúrtica, el número de individuos en pobreza total ha aumentado significativamente; además, esto sugiere que, en la parte baja de la distribución, la pobreza extrema ha disminuido y, como consecuencia, la total ha aumentado. Es por ello que la función de distribución del logaritmo del ingreso para el 2014 es más leptocúrtica.

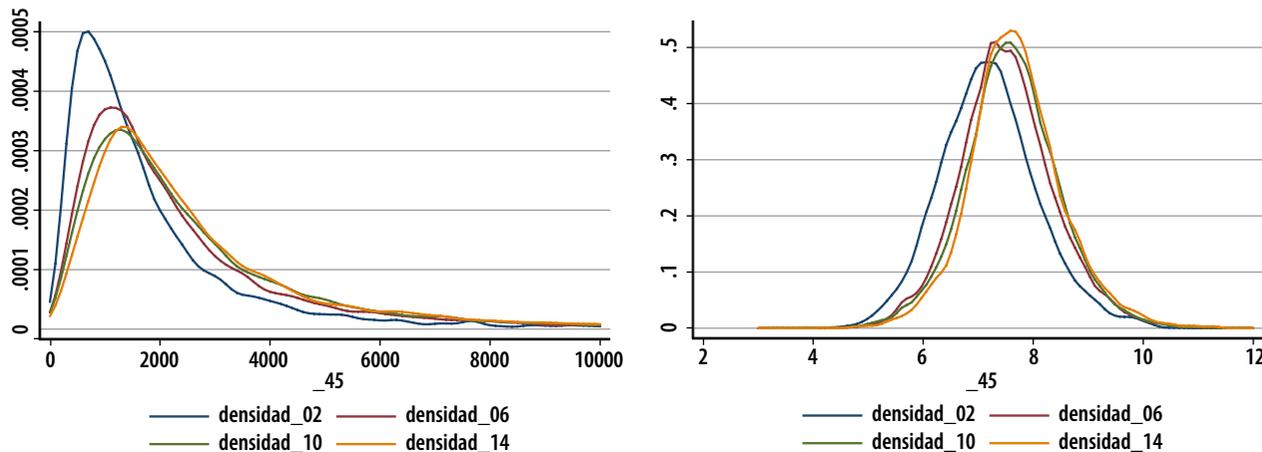
Esto se corresponde con la gráfica 1 y el cuadro 1. Comparando las 4 con la 1, se observa que, para el

2014, la pobreza total urbana alcanza hasta el decil 6 y ocupa gran parte de la distribución y, en correspondencia con el cuadro 1, se aprecia que la TP alcanza 52.52 por ciento. En las gráficas 4 se aprecia que la distribución del logaritmo del ingreso es más leptocúrtica para el 2014 y se ha desplazado hacia la derecha, esto indica que ha existido un desplazamiento del ingreso promedio. Con el análisis previo, se observa que la desigualdad del ingreso ha evolucionado en el periodo de estudio y esta modificación muestra diferenciación en los segmentos de la distribución: han cambiado las partes baja, media y alta. En la primera se ve una disminución de la cantidad de pobres, o bien, una baja importante de la pobreza extrema; en la segunda hay un aumento considerable de la población alrededor del ingreso promedio, observado por el incremento en la curtosis de la distribución; en la última se ve un aumento muy importante en la cantidad de individuos en la parte alta. Por ello, es necesario el uso de un índice de desigualdad que capture estas diferencias.

La variación en las tasas de pobreza ha evolucionado en función de los cambios en la distribución como resultado de la dinámica de la economía nacional. En el periodo precrisis, se observó una Tasa de Crecimiento Media Anual (TCMA) de 10.3 %, mientras que en el de crisis, experimentó una con-

Gráficas 4

### Curvas de distribución del ingreso en México, 2002-2014



Fuente: elaboración propia con base en ENIGH, ediciones 2002, 2006, 2010 y 2014.

Cuadro 1

**Evolución de la distribución del ingreso por deciles en México, 2002-2014**

Decil	2002	2006	2010	2014
1	1.5	1.6	1.6	1.6
2	2.6	2.8	2.9	2.9
3	3.6	3.7	3.9	3.8
4	4.4	4.7	4.9	4.7
5	5.8	5.7	6.0	5.7
6	7.0	7.0	7.3	6.9
7	8.7	8.6	9.0	8.4
8	11.2	11.0	11.5	10.7
9	16.0	15.7	15.9	15.1
10	39.3	39.3	36.9	40.2
<b>Total</b>	<b>100.0</b>	<b>100.0</b>	<b>100.0</b>	<b>100.0</b>

Fuente: elaboración propia con base en ENIGH, ediciones 2002, 2006, 2010 y 2014.

tracción de 2.4 por ciento. El Producto Interno Bruto (PIB) per cápita tuvo una caída durante la crisis y se recuperó en la postcrisis, aunque no de manera relevante. Este comportamiento explica de forma parcial el incremento de la TP durante la crisis.

Aunque el PIB per cápita aumentó en el periodo postcrisis, este no se vio reflejado en disminuciones en las tasas de pobreza; esto puede ser resultado de una alta concentración en la parte alta de la distribución, pasando de 36.9 a 40.2 %, entre el 2010 y 2014, en el decil más alto. Aunque la concentración en el último decil pudiera explicar en parte el incremento de la TP en la postcrisis, no es una aclaración exhaustiva, pues gran parte de la evolución de la Tasa de Pobreza descansa, como apuntaban algunos autores, sobre las características del mercado laboral, en específico, sobre la evolución de la economía informal, el número de perceptores de ingreso por hogar, las variaciones en las fuentes de ingreso, el tipo de ocupación y de instrucción de la población de bajos ingresos, así como el sector de actividad en el que participan y la duración de la jornada de trabajo, ya que estas condiciones tienen implicaciones distributivas y condicionan la dinámica económica lo que, a su vez, genera impactos sobre las tasas de pobreza.

### 3. Diferencias regionales

Nos preguntamos si existen entre los factores explicativos del fenómeno apuntado líneas arriba. Las que hay en la TP, en el crecimiento económico y la distribución del ingreso se han puesto de manifiesto en diversos estudios. Hernández Laos (1977) explicó las diferencias regionales en la estructura manufacturera y su eficiencia durante un periodo de casi 100 años. Por otro lado, mostró cómo las tendencias de largo plazo entre estas han seguido un patrón de distanciamiento, no solo en el ámbito económico, sino también en el social y cultural. El enfoque dominante, dentro de la teoría económica, ha profundizado el estudio de las diferencias regionales relacionadas, principalmente, con la concepción de la convergencia y la disminución de dichas disparidades. Sin embargo, algunos estudios aplicados al caso de México (Gutiérrez Flores, 2008; Sastré Gutiérrez y Rey, 2008) han demostrado cómo, salvo en algunos periodos particulares, las diferencias regionales se han acrecentado.

Las diferencias regionales mexicanas han sido ampliamente estudiadas, aunque se reconoce que, en gran medida, la disparidad económica se aprecia con mayor claridad a nivel de entidades fe-



Cuadro 2

### Estructura sectorial de las aportaciones estatales al PIB nacional, 2002-2014 (precios constantes del 2002)

Estado	2002			2014		
	Primario	Secundario	Terciario	Primario	Secundario	Terciario
Aguascalientes	3.7	33.2	63.8	4.1	48.0	46.4
Baja California	1.5	25.9	73.2	3.2	35.6	59.1
Baja California Sur	5.1	17.5	77.8	3.8	23.2	71.4
Campeche	2.2	63.2	34.9	0.6	85.4	13.8
Chiapas	8.5	23.5	68.6	6.9	26.4	65.6
Chihuahua	4.4	26.8	69.5	7.0	35.7	54.7
Coahuila de Zaragoza	3.6	41.1	55.9	2.7	52.1	44.0
Colima	5.8	25.4	69.2	4.5	26.6	67.1
CDMX	0.1	20.5	83.4	0.0	11.4	83.4
Durango	12.8	26.4	61.3	10.1	34.8	53.8
Guanajuato	5.0	33.6	61.9	3.5	41.9	52.2
Guerrero	6.1	15.6	78.7	5.1	22.7	70.5
Hidalgo	6.0	34.2	60.3	3.7	42.0	53.3
Jalisco	6.3	25.4	68.9	6.4	30.4	61.2
México	1.6	33.7	65.3	1.3	32.5	64.8
Michoacán de Ocampo	11.5	21.3	68.0	11.0	23.2	64.1
Morelos	7.7	26.3	66.3	2.7	31.5	63.5
Nayarit	13.6	15.1	71.9	7.2	21.0	70.1
Nuevo León	1.5	28.0	71.8	0.6	38.4	58.8
Oaxaca	10.1	21.7	68.4	5.8	33.6	59.5
Puebla	4.2	29.6	66.8	4.4	32.9	60.4
Querétaro	3.7	35.2	61.5	2.4	43.9	51.5
Quintana Roo	0.8	5.7	94.1	0.7	13.5	84.5
San Luis Potosí	6.5	31.9	62.2	3.8	42.6	52.1
Sinaloa	13.5	13.6	74.6	10.6	22.2	65.6
Sonora	8.0	25.1	68.5	6.5	44.4	47.5
Tabasco	5.4	28.4	67.2	1.4	66.6	31.4
Tamaulipas	2.8	29.1	68.5	3.2	38.5	56.6
Tlaxcala	3.5	34.4	62.5	3.6	33.5	61.5
Veracruz de Ignacio de la Llave	7.7	27.3	65.5	4.8	36.7	57.2
Yucatán	3.8	23.9	73.1	3.8	32.3	61.6
Zacatecas	15.9	19.1	65.5	7.5	45.4	45.8

Fuente: elaboración propia con base en el Sistema de Cuentas Nacionales de México del INEGI.

derivadas. Por otro lado, se deja de manifiesto que existe una gran tendencia a agrupar en regiones y bajo criterios y escenarios de regionalización distintos a ciertos estados que guardan entre sí algún grado de similitud. Autores como Hernández Laos (1977, 1984); Hernández Laos y Benítez Lino (2014), Esquivel (1999, 2000), Chiquiar (2005), Hanson y

Harrison (1999), Gutiérrez Flores (2008), Sastré-Gutiérrez y Rey (2008) y Rey y Sastré-Gutiérrez (2010) han enfatizado la importancia de agrupar en conjuntos específicos a las entidades federativas con el objetivo de clarificar el análisis y generar una correspondencia con las condiciones socioeconómicas y productivas de la sociedad.

Las diferencias regionales, cuando son analizadas desde la perspectiva de las entidades federativas, cobran una relevancia particular. El estudio del crecimiento económico, la distribución del ingreso y la pobreza expresa la heterogeneidad regional de México; en trabajos anteriores, Pérez Méndez (2008, 2010, 2012) ha enfatizado su importancia y se han estudiado, con detenimiento, las diferencias regionales del desarrollo socioeconómico de México, además de la importancia de la incorporación explícita de las dimensiones espacial y regional en la concepción de los problemas relacionados con el desarrollo económico.

Las disparidades regionales del país se aprecian en una gran cantidad de indicadores de toda índole; tal como argumenta Bassols (1964) y Bassols *et al.* (1992), estas se encuentran desde los aspectos meramente geográficos, hasta los culturales y socioeconómicos. La importancia de la heterogeneidad económica de México sobre las variaciones de la TP permite profundizar el estudio, no solo de la pobreza en el ámbito regional, sino también de sus determinantes: el crecimiento y la distribución del ingreso regionales. La heterogeneidad económica se puso de manifiesto en los trabajos de Hernández Laos (1977, 1984), en los que se realiza una profunda investigación sobre las diferencias regionales de México enfocadas, primero, al estudio de la estructura manufacturera y, después, al de la distribución del ingreso y la pobreza.

La heterogeneidad económica del país se aprecia en diversos indicadores, tales como la diversificación de la producción, la estructura sectorial, la dinámica poblacional, el PIB per cápita y la densidad poblacional. En el cuadro 2 se observa la estructura sectorial de las aportaciones sectoriales al PIB nacional. La participación estatal oscila entre 0.5 % de Tlaxcala y 23.2 % del Distrito Federal (hoy Ciudad de México) para el 2002. Para el 2014, la del Distrito Federal disminuyó a 16.5 %; en el mismo periodo, el estado que tuvo un incremento mayor es Campeche, que pasó de 1.3 a 4.2 por ciento. Las entidades con mayor aportación sumaban casi 50 % del PIB nacional; el Distrito Federal, el estado de México, Nuevo León y Jalisco se configuraban

como los polos de mayor producción en la República para el 2002, sin embargo, la crisis del 2008 ha ocasionado que la producción se desconcentre de los polos tradicionales y busque mejores rendimientos espaciales, lo cual ha ocasionado que estados como Campeche, Guanajuato, Querétaro y Tabasco hayan incrementado su participación porcentual en la producción nacional.

Al analizar la estructura sectorial y su evolución, se encuentra que las entidades con mayor variación en la participación porcentual han sufrido modificaciones sectoriales importantes. Querétaro pasó a ser, en el 2002, un estado orientado preponderantemente hacia el sector terciario con 61.5 %; para el 2014, se encontró más balanceado con 50 % en este y 43.9 % en el secundario. Esa misma diversificación se observó en diversos estados ocasionando que los polos tradicionales, vinculados con las grandes metrópolis nacionales, disminuyeran su participación productiva. En el cuadro 2 se aprecia que aquellos que presentaron mayor diversificación son Coahuila de Zaragoza, Oaxaca, Querétaro, San Luis Potosí, Sinaloa y Tamaulipas.

La diversificación económica observada en los indicadores anteriores se explica, en parte, porque los capitales físico, humano y financiero buscan mejores rendimientos y, en ese proceso, explota la movilidad interna en busca de economías de escala, de aglomeración y *spillovers*; al respecto, la dinámica poblacional muestra la relación entre la producción y la diversificación sectorial, por ello, los estados con mayores tasas de crecimiento poblacional se corresponden con aquellos en los que ha aumentado tanto la participación productiva como la diversificación sectorial. Por el contrario, las entidades históricamente más pobres son las que menos aportan al PIB nacional, se encuentran muy orientadas al sector terciario y muestran una menor dinámica poblacional.

Los cálculos de pobreza regional se realizan con base en las sugerencias del Comité Técnico (2002), y en la actualización de las canastas. Derivado de sus recomendaciones, en la construcción del ingreso corriente total se obtuvo uno comparable desde

1992, a diferencia de la metodología del Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social (CONEVAL), la cual únicamente es compatible para los años 2010 al 2014 y 2016 al 2018 solo con el Modelo Estadístico para la Continuidad (MEC) del Módulo de Condiciones Socioeconómicas (MCS) de la ENIGH.

Una de las recomendaciones principales del Comité fue construir canastas que reflejaran la actualidad de la dinámica de consumo de la población, ya que este utilizó las del INEGI-CEPAL (Comisión Económica para América Latina y el Caribe). Como resultado de ello se construyeron las canastas alimentaria y no alimentaria en el 2003, las cuales

Cuadro 3

### Evolución de la incidencia de la pobreza total por entidad federativa

Tasas 2002-2014

Entidad	2002	2006	2010	2014
Chiapas	79.65	62.11	75.50	81.77
Yucatán	77.79	43.27	43.53	43.54
Guerrero	72.60	58.19	62.61	65.26
Oaxaca	72.22	64.31	56.55	68.65
Veracruz de Ignacio de la Llave	70.55	43.68	54.17	59.64
San Luis Potosí	70.31	40.70	47.70	56.40
Tabasco	69.77	40.31	47.31	45.68
Tlaxcala	66.33	27.80	39.79	56.34
Puebla	64.62	37.75	59.41	60.48
Hidalgo	64.62	57.93	54.74	53.56
Campeche	59.20	40.78	39.47	49.92
Guanajuato	57.73	47.73	49.95	57.91
Durango	55.04	49.79	47.44	49.25
Sinaloa	54.70	39.09	32.04	38.21
Morelos	54.61	36.57	38.22	48.48
Aguascalientes	53.42	31.86	36.09	48.60
México	52.16	39.54	44.33	57.88
Coahuila de Zaragoza	51.68	38.94	42.53	51.50
Zacatecas	50.58	46.38	55.24	57.76
Michoacán de Ocampo	50.50	37.61	50.94	62.10
Nayarit	48.94	19.85	36.96	41.74
Sonora	46.29	24.74	36.23	39.91
Colima	44.48	25.49	26.54	41.74
Jalisco	43.00	39.32	34.35	40.26
Quintana Roo	36.39	29.74	27.37	42.05
Chihuahua	36.31	32.73	48.59	45.99
Querétaro	36.27	22.33	28.90	33.72
Tamaulipas	33.76	38.22	48.24	47.93
CDMX	32.28	24.30	29.61	37.67
Nuevo León	31.57	17.56	19.49	29.36
Baja California Sur	21.33	11.28	23.50	31.89
Baja California	20.58	21.98	33.91	32.99
<b>Nacional</b>	<b>52.91</b>	<b>38.93</b>	<b>44.73</b>	<b>51.52</b>

Fuente: elaboración propia con base en ENIGH, ediciones 2002, 2006, 2010 y 2014.

emplea el CONEVAL para el cálculo de pobreza multidimensional (líneas de bienestar). Se empleó la metodología del Comité para la construcción del ingreso corriente total por miembro de hogar para los años 2002, 2006, 2010 y 2014 y se utilizaron las canastas de Hernández Laos *et al.* (2004) y Cantú *et al.* (2004) para los cálculos de pobreza.

Con base en tal ingreso y la definición de las líneas de bienestar para los mismos años se obtuvo el Índice de Recuento de la Pobreza Total, y con ello y la población estatal se calculó la TP por estado (ver cuadro 3).

Con el mismo ingreso corriente se obtuvieron indicadores de desigualdad para cada entidad federativa. Se calculó la Familia de Índices Generalizados de Entropía (FIGE) y el Coeficiente de Gini por estado. El uso de la FIGE recae en los argumentos de Jenkins (1991, p. 26), Sen (1992, p. 102), Cowell (2011, p. 52) y Duclos y Araar (2007, p. 67), quienes justifican su empleo basado en la sensibilidad del indicador a diferentes segmentos de la distribución. Desafortunadamente, el Coeficiente de Gini no es idóneo para el análisis regional, ya que los estados muestran coeficientes similares. Esto se debe, principalmente, a que las áreas entre la recta de equidistribución y la Curva de Lorenz asociadas con cada Coeficiente tienden a ser iguales; como resultado de ello, las curvas de Lorenz se intersecan, por lo que tanto las curvas como este presentan resultados ambiguos:

$$GE(\theta) = \frac{1}{\theta(\theta-1)} \left( \sum_{i=0}^N \left[ \left( \frac{Y}{\mu} \right)^\theta - 1 \right] \right) \text{ si } \theta \notin \{0,1\}$$

$$GE(\theta) = \sum_{i=0}^N \text{Ln} \left( \frac{\mu}{Y} \right) \text{ si } \theta = 0$$

$$GE(\theta) = \sum_{i=0}^N \left( \frac{Y}{\mu} - \text{Ln} \left( \frac{Y}{\mu} \right) \right) \text{ si } \theta = 1$$

Para identificar el efecto sobre la pobreza, la selección del indicador idóneo debe responder a la sensibilidad de la parte baja de la distribución, por ello, los indicadores de desigualdad empleados se-

rán  $GE(-1)$  y  $GE(0)$ , aunque se construye el Índice de Theil por ser de uso común.

#### 4. Escenarios de regionalización en México

A pesar de la gran utilidad del análisis de las entidades federativas, es común, en la bibliografía especializada, el uso de estos. Este marco de referencia se emplea, comúnmente, con el objetivo de agrupar en unidades espaciales específicas a estados con cierto grado de similitud. Se debe considerar que el escenario de regionalización debe satisfacer una premisa fundamental, las regiones tienen que ser homogéneas para la variable de interés, en este caso, la Tasa de Pobreza. De acuerdo con Macías y Torres (2011), en México han existido escenarios de regionalización desde la Colonia, comenzando con el trabajo de Von Humbolt publicado en 1811, el cual se caracteriza por incluir las características socioeconómicas dentro del marco regional. El segundo impulso se encuentra en el Porfiriato, derivado del interés por el conocimiento de las regiones y la manera en la que este estimula la productividad y el progreso. Después de la Revolución, la primera regionalización formalmente reconocida se debe a Manuel Mesa Andraca, quien realizó, entre 1930 y 1936, estudios sobre las regiones agrícolas y económicas de México.

En 1959, Fernando Zamora Millán publicó *Diagnóstico económico regional*, en el que se sugiere una regionalización elaborada con instrumentos estadísticos y sectoriales aplicados al modelo de Lösch. En 1964 se dio a conocer *La división económica regional de México* por Bassols, quien es considerado como el geógrafo económico más relevante de la segunda mitad del siglo XX; su propuesta se fundamenta en la delimitación de áreas orientada al ordenamiento del espacio y la planificación regional. En 1973, Carrillo Arronte diseñó otra basada en indicadores socioeconómicos, demográficos, de desarrollo económico y de relación intrarregional; sus regiones se definen como de proplanificación orientadas, principalmente, a la implementación de políticas económicas.

Las regionalizaciones contemporáneas se dividen en dos grandes grupos: por un lado, se encuentran los escenarios empleados por investigadores y científicos y, por otro, las definiciones de las dependencias de gobierno.

En el primero está la de Esquivel (1999), quien construye un escenario a partir de las condiciones geográficas y su vínculo con la estructura productiva; este enfoque se basa, primordialmente, en las bases de la geografía económica. Desde la perspectiva de la nueva geografía económica, se encuentra la de Hansson (1994), la cual se sustenta en la existencia de economías de aglomeración y patrones de crecimiento del empleo manufacturero. Hernández Laos (1984) modificó la de Carrillo Arronte incorporando en la región capital al estado de México, considerando los fuertes vínculos que presentan estas dos entidades. Chiquiar (2004) realizó una con fundamento en los diferenciales salariales entre regiones.

Por el lado de las dependencias de gobierno está la regionalización del Consejo Nacional de Población (CONAPO, 1991), basada en la articulación de núcleos urbanos. El escenario de la Secretaría de Desarrollo Social (SEDESOL, 2004) se construye con base en indicadores de jerarquía urbana y fuerza de articulación social. Por último, se tiene la del INEGI, la cual se sustenta en indicadores de bienestar construidos con base en el XII Censo General de Población y Vivienda 2000.

Recientemente, Rey y Sastré (2008 y 2010) han demostrado cómo las disparidades evaluadas en distintos escenarios acrecientan la desigualdad interregional, por lo que, en términos inferenciales, las regionalizaciones planteadas no muestran estabilidad a lo largo de diversos años. Esto se alcanza por medio de un estudio de desigualdad regional, enfatizando las diferencias entre cada uno de los criterios.

El objetivo de aquellos estudios radica en demostrar cómo las distintas regionalizaciones son ineficientes en términos inferenciales y de análisis espacial aplicado, ya que la homogeneidad dentro

de las regiones no se maximiza, por lo tanto, la heterogeneidad regional, tampoco.

Rey y Sastré (2010) demuestran cómo, en un escenario espacio-temporal, las regionalizaciones planteadas con anterioridad no muestran estabilidad inferencial en términos espaciales, pues cometen el error de la falacia ecológica. Asimismo, demuestran cómo, por medio del algoritmo *Max-p*, se construye un escenario de regionalización eficiente que maximiza la homogeneidad intrarregional y la heterogeneidad interregional; al mismo tiempo, el escenario resultante cumple con las propiedades inferenciales en términos espaciales, ya que permite detectar la desigualdad interregional significativa entre 1940 y el 2000. Con ello, logran construir una regionalización homogénea para la desigualdad del ingreso per cápita espacialmente estable en el periodo de estudio.

Con base en los hallazgos encontrados por Rey y Sastré (2010), se plantea la construcción de un escenario de regionalización homogéneo para los índices de Recuento de la Pobreza en México y el de Entropía Generalizada (desigualdad) para los años 2002 al 2014. Esta se basa, al igual que en el trabajo de estos autores, en el algoritmo *Max-p* y el problema de las *p*-regiones (Duque *et al.* 2011, Duque *et al.* 2012).

### El algoritmo *Max-P*

Los escenarios de regionalización se caracterizan por una clasificación sobre las condiciones internas de cada región. Richardson (1977) define dicha clasificación en regiones homogéneas, funcionales y programáticas, y la selección de alguno de los tres criterios radica en los objetivos de la investigación. Sin embargo, la elección de alguno de estos induce subjetividad en el estudio, ya que el criterio de regionalización elegido se encuentra en relación directa con los objetivos del investigador, lo que le imprime un alto grado de subjetividad.

Las regiones adquiridas por medio del algoritmo *Max-p* se liberan de la subjetividad por el simple

hecho de que maximiza una función de disparidad o disimilitud, lo cual garantiza que el escenario resultante cuente con regiones que maximizan tanto la homogeneidad intrarregional como la heterogeneidad interregional. *Max-p* tiene su raíz en el problema de las *p*-regiones (Duque *et al.*, 2009, p. 104), el cual "... involucra la agregación de un conjunto finito de *n* pequeñas áreas en un conjunto de *p*-regiones, donde cada región está geográficamente conectada, mientras se optimiza una función objetivo predefinida..."

De acuerdo con Duque *et al.* (2009, p. 105), el modelo de las *p*-regiones busca optimizar una función objetivo que sea una medida de homogeneidad intrarregional general y de heterogeneidad interregional. Así, esta última se calcula por medio de un índice de disimilitud:

$$P(H) = \sum_{k=1}^p H(C_k) \quad \forall k \in n \quad \text{con}$$

$$H(C_k) = \sum_{i,j \in C_k} d_{ij} \quad \text{y}$$

$$d_{ij} = \sqrt{(y_i - y_j)^2} \quad \forall i \neq j$$

donde  $H(C_k)$  es la medida de heterogeneidad de la región *k*, la cual se calcula por medio de la suma de  $d_{ij}$  o el indicador de disimilitud de la variable *y* entre las áreas *i* y *j*. Así, la heterogeneidad de las *p*-regiones se define como la suma de la de cada una de las áreas que la conforman, de manera tal que "... el problema de las *p*-regiones agrega *n* áreas en *p*-regiones espacialmente contiguas, mientras se minimiza el valor de  $P(H)$ ..." (Duque *et al.*, 2009, p. 106).

Por lo tanto, se minimiza:

$$P(H) = \sum_{k=1}^p \sum_{i,j \in C_k} \sqrt{(y_i - y_j)^2}$$

El problema de las *p*-regiones es la base del algoritmo *Max-p*, el cual persigue el objetivo de agregar *n* áreas en un número máximo y desconocido de *p*-regiones, mientras se asegura que cada región satisface un umbral mínimo predefinido por

un atributo espacialmente extensivo en el que el número de regiones *p* se modela como un parámetro endógeno (Duque *et al.*, 2011). De acuerdo con Duque *et al.* (2012, p. 403), la formulación del algoritmo *Max-p* es la siguiente:

Parámetros:

*i* = conjunto de áreas,  $i = 1, \dots, n$ .

*k* = índice de regiones potenciales,  $k = 1, \dots, n$ .

*c* = índice de contigüidad,  $c = 0, \dots, q$  con  $q = n-1$ .

$w_{ij}$  = matriz de contigüidad.

$N_i$  = conjunto de áreas adyacentes al área *i*.

$d_{ij}$  = relación de disimilitud entre las áreas *i* y *j*.

*li* = valor del atributo espacialmente extensivo.

umbral = valor mínimo del atributo *li*.

Con dichos parámetros, *Max-p* minimiza la función de heterogeneidad regional sujeta a un conjunto de siete restricciones espaciales. Con base en el algoritmo, se hizo un conjunto de escenarios de regionalización que permitieran seleccionar, de entre ellos, al más eficiente; considerando tres variables relevantes altamente vinculadas, se llevó a cabo un proceso de permutaciones entre los tres elementos (pobreza, distribución y crecimiento) para construirlo.

Las variables utilizadas fueron el Índice de Recuento de la Pobreza Total por entidad federativa, el Índice de Theil y el ingreso per cápita para los años 2002, 2006, 2010 y 2014. Se construyó un escenario para cada permutación; así se obtuvieron seis para cada uno de los años seleccionados. Por ejemplo, se obtuvo una regionalización para la desigualdad del ingreso medida por el Índice de Theil con el ingreso per cápita como atributo espacialmente extensivo, para cada año.

Se identificó dentro de los seis escenarios aquel que mantuviera estabilidad espacial en los años seleccionados. El adoptado resultó ser homogéneo para el Índice de Recuento de la Pobreza Total con el Índice de Theil como atributo espacialmente extensivo. Con esto se obtuvo una regionalización homogénea para la pobreza y la desigualdad, y estable, para los años 2002, 2006, 2010 y 2014.

La regionalización adoptada a partir de la aplicación del algoritmo *Max-p* cuenta con cinco regiones homogéneas para la pobreza y la desigualdad: Golfo-Caribe (0), Centro (1), Frontera (2), Sur (3) y Occidente (4). El escenario se aprecia en el mapa de regionalización *Max-P*.

El algoritmo *Max-P* asegura que las regiones son altamente homogéneas para la pobreza y la desigualdad, es decir, se maximizan la homogeneidad intrarregional y la heterogeneidad interregional de manera simultánea para aquellas. Con base en dicho escenario de regionalización, se analiza la estructura económica de las regiones, su dinámica poblacional, la pobreza, la desigualdad y el crecimiento.

## 5. Pobreza, crecimiento y distribución regionales

Para evaluar el dinamismo diferencial que registran las regiones y los sectores en el periodo de estudio y cómo el comportamiento estructural reper-

cute en el crecimiento de las regiones, se recurre a la técnica del análisis de cambio-participación, la cual permite analizar el crecimiento económico por medio de la descomposición de la tasa de crecimiento mediante tres componentes: participación, sectorial y competitivo.

El primer elemento de la suma representa el componente participación; el segundo, el sectorial; y el último, el competitivo. El de participación explica las fuerzas que afectan a la región *j* derivadas de la composición sectorial a escala nacional, es decir, es la proporción del cambio atribuido al crecimiento nacional; el efecto sectorial es el cambio asignado al rendimiento de un sector en específico; el competitivo es la modificación atribuida a las influencias regionales y es el componente principal en el ámbito regional, ya que obedece a las características propias de la región y constituye un resultado de su competitividad a nivel regional:

$$\Delta q_i = q_i \left[ \frac{M^*}{M} - 1 \right] + q_i \left[ \frac{M^*}{M_i} - \frac{M^*}{M} \right] + q_i \left[ \frac{q_i^*}{q_i} - \frac{M_i^*}{M_i} \right]$$

Mapa



**Fuente:** elaboración propia con base en la ENIGH, ediciones 2002, 2006, 2010 y 2014 por medio del Módulo ClusterPy de QGIS para el algoritmo *Max-P*.

donde:

$q_i$  = PIB regional en el sector  $i$  en el momento inicial.

$q_i^*$  = PIB regional en el sector  $i$  en el momento final.

$M$  = PIB nacional.

$M_i$  = PIB nacional en el sector  $i$  en el momento inicial.

$M_i^*$  = PIB nacional en el sector  $i$  en el momento final.

El análisis cambio-participación se desprende de las gráficas 5, donde el componente participación opera de manera positiva en las regiones Golfo-Caribe, Frontera y Occidente; en contraste, la Sur se ve afectada por la dinámica nacional. Por otro lado, el sectorial (el cual mide el rendimiento de las actividades económicas) opera, en la mayoría de casos, de forma positiva, salvo en los sectores agropecuario, electricidad y servicios en la región Golfo-Caribe; en el de manufactura en la Centro y en la mayoría de los sectores de la Occidente. El competitivo es, en términos regionales, el más importante, ya que refleja la competitividad de la región; se aprecia que la Centro opera en sentido negativo mitigando los efectos del componente participación; por otro lado, en la Sur es el que impulsa el crecimiento sectorial, al igual que en el sector minería en la región Frontera

En la dimensión espacial, el modelo de cambio-participación (ver gráficas 6) es aplicable a nivel de entidades federativas. Así, es posible descomponer la tasa de crecimiento del producto regional entre las participaciones de cada estado; con ello se obtiene una estimación de las aportaciones estatales al crecimiento regional. Lo relevante de dicho análisis es la identificación del componente regional, el cual mide el rendimiento estatal dentro de las regiones. Este opera de manera negativa en la mayoría de las entidades federativas dentro de las regiones y se interpreta como la aportación de estas en la dinámica inter-estatal y es contradictorio al efecto competitivo, que se identifica con la interregional. Es de resaltar que, en el caso particular de Campeche y Ta-

basco, en la región Golfo-Caribe, los tres componentes operan de manera positiva.

La Familia de Índices Generalizados de Entropía (ver cuadro 4) muestra el mismo comportamiento, aunque con mayor diferenciación, pues cada uno oscila en un intervalo más amplio, pero en las regiones (1) y (2) presenta un repunte en el último año. Es importante notar que el índice  $GE(-1)$  para la (4) obtiene un valor de 3.5 en el 2006, lo cual indica que la desigualdad regional en ese año destacó del nacional; será importante explicar este comportamiento poco común. También, se aprecia que  $GE(0)$  aumenta para las regiones (1), (4) y (2) y disminuye para las (3) y (0), que coinciden como las más pobres. Además, se observa que cuando la desigualdad regional disminuye, también lo hace la pobreza y viceversa, por lo cual se sugiere que la relación entre pobreza y desigualdad regional es positiva.

Con base en el escenario de regionalización, el cual es homogéneo para la pobreza y la desigualdad, se muestra la incidencia de la pobreza de cada una de las regiones para los años seleccionados por medio de las curvas de pobreza (ver gráficas 7). Para el 2002, la TP total oscila entre 35.5 y 71.7 %, mientras que para el 2014, entre 40 y 68.9 por ciento. Se aprecia que la región (3) es la que presenta la TP más alta en todos los años de estudio, mientras que la (2) es la que cuenta con la menor. Las regiones (1) y (2) muestran incrementos en la TP entre el 2002 y 2014. Se presenta un comportamiento homogéneo entre las curvas de pobreza total. La urbana alcanza hasta el decil 8 en la región (3); la (0), alrededor del 6 y 7; mientras que las regiones (1), (2) y (4) se encuentran alrededor de los deciles 3 y 5.

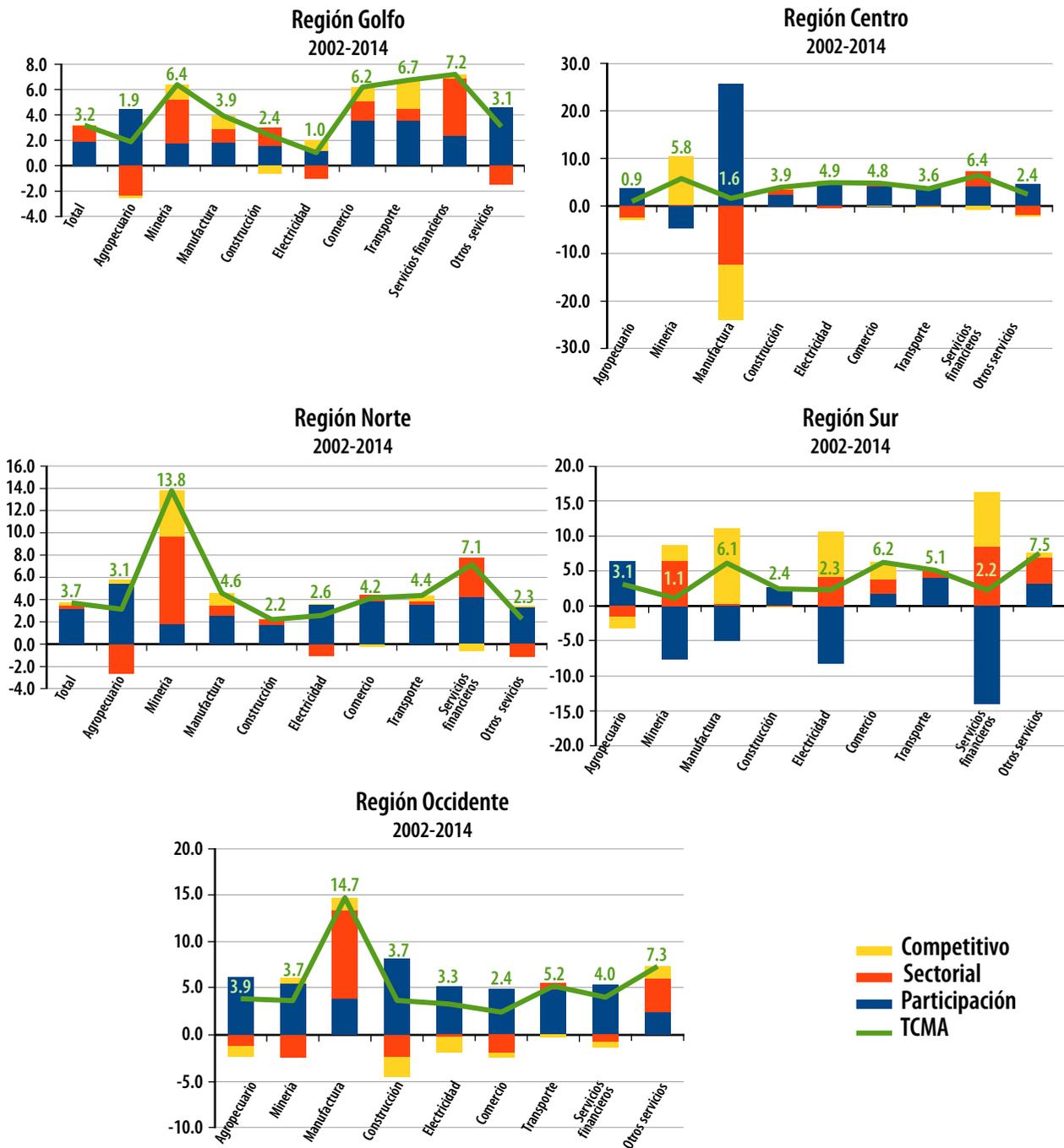
## 6. Conclusiones

Se identificó la metodología idónea para la construcción del ingreso total por miembro de hogar a la del Comité Técnico (2002) como la relevante para la presente investigación. Con base en el ingreso planteado por el Comité y las canastas ali-



Gráficas 5

### México: análisis cambio-participación sectorial, 2002-2014



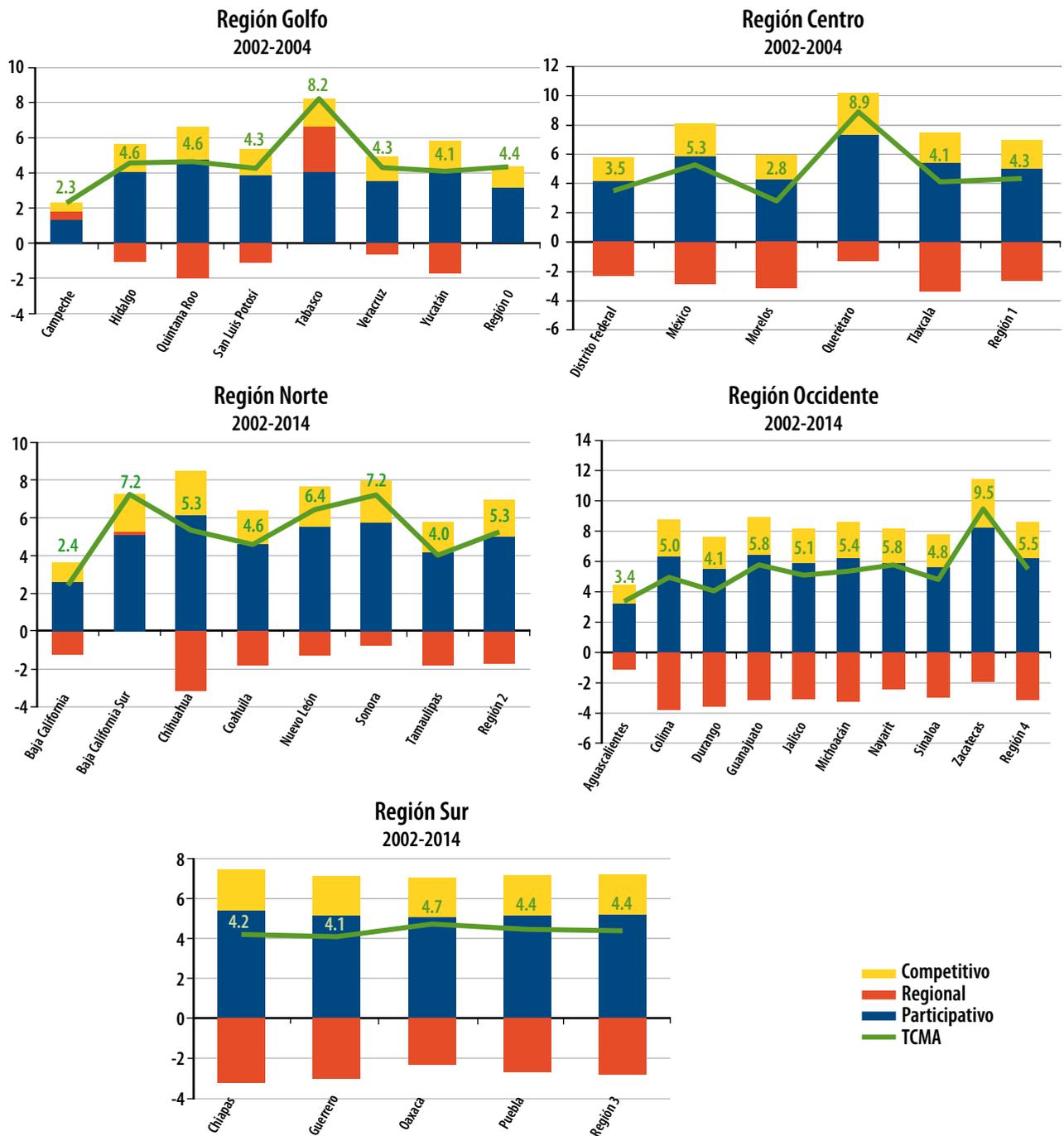
Fuente: elaboración propia con base en el Sistema de Cuentas Nacionales de México del INEGI.

mentaria y no alimentaria de Hernández Laos *et al.* (2004) y Cantú *et al.* (2004), se obtuvieron las tasas de pobreza, los coeficientes de Gini y la Familia de Índices Generalizados de Entropía por entidad federativa. Se esboza el problema regional de Méxi-

co relacionado con las diferencias en la estructura y la dinámica económica.

Con fundamento en la información obtenida a nivel estatal, y por medio de la metodología de

### México: análisis cambio-participación regional, 2002-2014



Fuente: elaboración propia con base en el Sistema de Cuentas Nacionales de México del INEGI.

Duque *et al.* (2012) y las recomendaciones de Rey y Sastré (2010), se construyó un escenario de regionalización homogéneo para la pobreza y la desigualdad mediante el algoritmo *Max-P*. Con dicho escenario, se realizó un análisis de creci-

miento, distribución y pobreza regional. Además, se construyeron las curvas de pobreza para identificar su intensidad y desigualdad; se aprecia que la pobreza total urbana alcanza hasta el decil 6 en algunas regiones. Por otro lado, se obtuvieron las

**Cuadro 4**

**Índice Generalizado de Entropía Regional, 2002-2014**

Región	2002	2006	2010	2014
3	0.435	0.436	0.413	0.402
0	0.423	0.428	0.383	0.367
1	0.401	0.411	0.390	0.470
4	0.374	0.398	0.331	0.332
2	0.328	0.345	0.341	0.399
<b>Nacional</b>	<b>0.436</b>	<b>0.426</b>	<b>0.396</b>	<b>0.428</b>

Fuente: elaboración propia con base en la ENIGH, ediciones 2002, 2006, 2010 y 2014.

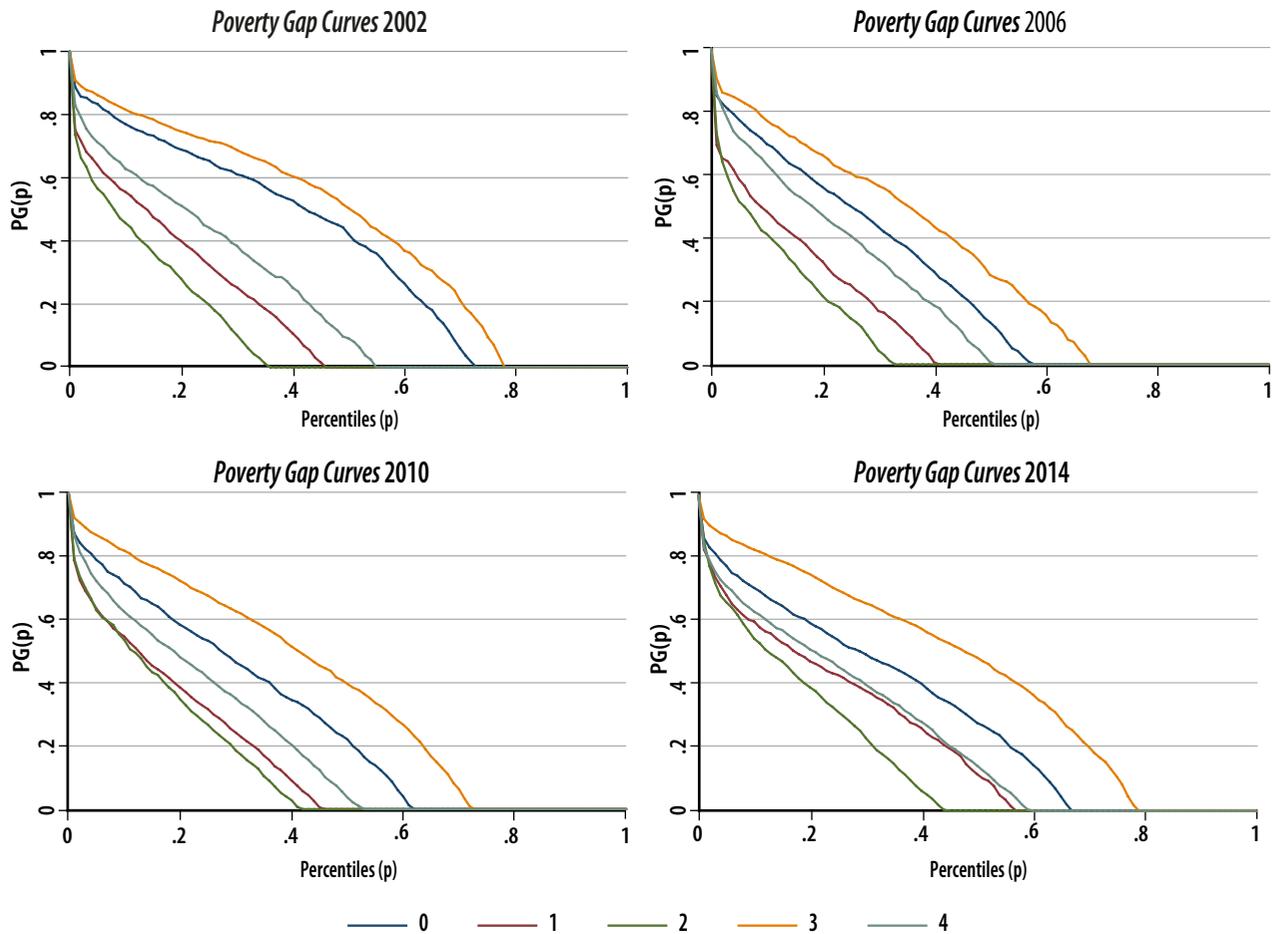
curvas de Lorenz generalizadas para identificar la dominancia en el grado de desigualdad regional; para identificar las disparidades entre las distribuciones regionales, se desarrollaron las funciones de distribución y del logaritmo del ingreso para

conocer las diferencias en el ingreso regional y su evolución en los años investigados.

Se estudió el crecimiento regional en función de las diferencias estructurales sectoriales con la diná-

**Gráficas 7**

**Curvas de pobreza regionales, 2002-2014**



Fuente: elaboración propia con base en la ENIGH, ediciones 2002, 2006, 2010 y 2014.

mica particular de las regiones; por medio del análisis cambio-participación se identificó la sectorial y sus aportaciones a la de la pobreza. Esto permitió corroborar que la dinámica regional de la pobreza, tal como sugiere la hipótesis planteada, se encuentra íntimamente relacionada con la sectorial de cada región y con las características idiosincráticas de la distribución del ingreso de los hogares, medido este por las disparidades en la distribución regional plasmadas tanto en la Familia de Índices Generalizados de Entropía como en las curvas de distribución del logaritmo del ingreso.

Este trabajo sienta las bases para un análisis de mayor profundidad que permita indagar los determinantes regionales de la pobreza, vistos desde la óptica del crecimiento regional y la distribución del ingreso de los hogares, además de brindar un escenario óptimo para el análisis regional de la pobreza en México.

## Fuentes

Bassols Batalla, Ángel. "La división económica regional de México", en: *Investigación Económica*. 24(95). 1964, pp. 387-413.

Bassols Batalla, Á., Delgadillo Macías, J., & Torres Torres, F. *El desarrollo regional en México: teoría y práctica*. Instituto de Investigaciones Económicas, UNAM, 1992.

Cantú, Arturo, Enrique Hernández Laos y Rodolfo de la Torre. *Construcción de una canasta básica no alimentaria para México*. Serie Documentos de Investigación. SEDESOL, 2004.

Chiquiar, Daniel. "Why Mexico's regional income convergence broke down", en: *Journal of Development Economics*. 77(1). 2005, pp. 257-275.

Cowell, Frank. *Measuring inequality*. Oxford University Press, 2011.

Campos-Vázquez, Raymundo M. y Luis A. Monroy-Gómez-Franco. "¿El crecimiento económico reduce la pobreza en México?", en: *Revista de Economía Mexicana*. (1). 2016, pp. 140-185.

Duque, Juan C., Luc Anselin y Sergio J. Rey. "The max-p-regions problema", en: *Journal of Regional Science*. 52(3). 2012, pp. 397-419.

Duque, Juan C., Richard L. Church y Richard S. Middleton. "The p-Regions Problem", en: *Geographical Analysis*. 43(1). 2011, pp. 104-126.

Duclos, Jean-Yves y Abdelkrim Araar. *Poverty and equity: measurement, policy and estimation with DAD*. Volumen 2. Springer, 2007.

Esquivel, Gerardo. "Convergencia regional en México, 1940-1995", en: *El Trimestre Económico*. 66 (264). 1999, pp. 725-762.

\_\_\_\_\_. *Geografía y desarrollo económico en México*. RES Working Papers. IADB, 2000.

Gutiérrez Flores, Luis. "La distribución del ingreso en México: un análisis regional, 1990- 2004", en: *Problemas del Desarrollo*. 39(152). 2008, pp. 139-163.

Hanson, Gordon H. y Ann Harrison. "Trade liberalization and wage inequality in Mexico", en: *Industrial & Labor Relations Review*. 52(2). 1999, pp. 271-288.

Hernández Laos, Enrique. *The sources of regional differences in efficiency: the case of mexican manufacturing*. Tesis doctoral. East Anglia University, 1977.

\_\_\_\_\_. "Desarrollo regional y distribución del ingreso en México", en: *Demografía y Economía*. 13(4). 1979, pp. 467-499.

\_\_\_\_\_. "La desigualdad regional en México (1900-1980)", en: Cordera R. y C. Tello (comp.). *La desigualdad en México*. México, Siglo XXI, 1984, pp. 155-192.

\_\_\_\_\_. "Crecimiento económico, distribución del ingreso y pobreza en México", en: *Comercio Exterior*. 57(10). 2000, pp. 863-873.

\_\_\_\_\_. "Crecimiento, distribución y pobreza (1992-2006)", en Aparicio, R., Villarespe, V., & Urzúa, C. *Pobreza en México: magnitud y perfiles*. México, Tecnológico de Monterrey, Campus Ciudad de México, 2009, pp. 43-97

Hernández Laos, Enrique y Araceli Benítez Lino. "La pobreza y el ciclo económico en México, 2005-2012", en: *Economía: Teoría y Práctica*. 40(1). 2014, pp. 61-102.

Hernández Laos, Enrique, Fernando Cortés y Minor Mora. *Elaboración de una canasta alimentaria para México*. Serie Documentos de Investigación. SEDESOL, 2004.

Jenkins, S. "The measurement of income inequality", en: *Economic Inequality and Poverty*. Routledge, 2017, pp. 3-38.

Jenkins, S. P., & P. J. Lambert. "Three 'I's of poverty curves, with an analysis of UK poverty trends", en: *Oxford Economic Papers*. 49(3). 1997, pp. 317-327.

Pérez Méndez, Marco Antonio. "Desarrollo económico regional sustentable en la huasteca hidalguense", en: *Tiempo Económico*. 3(9). 2008, pp. 53-63.

\_\_\_\_\_. "Un análisis de pobreza regional para la huasteca hidalguense", en: *Tiempo Económico*. 5(14). 2010, pp. 33-52.

\_\_\_\_\_. *Análisis exploratorio espacial del índice de marginación en México, 2010*. Tesis de maestría, Centro de investigaciones socioeconómicas, Universidad Autónoma de Coahuila, 2012.

Rey, Sergio J. y Myrna L. Sastre-Gutiérrez. "Interregional inequality dynamics in Mexico", en: *Spatial Economic Analysis*. 5(3). 2010, pp. 277-298.

Richardson, Harry Ward. *Regional growth theory*. Macmillan, 1977.

Sastré Gutiérrez, Myrna L. y Sergio J. Rey. "Polarización espacial y dinámicas de la desigualdad interregional en México", en: *Problemas del Desarrollo*. 39(155). 2008, pp. 181-204.

Sen, Amartya. "Sobre conceptos y medidas de pobreza", en: *Comercio Exterior*. 42(4). 1992, pp. 310-322.

# Desarrollo de ponderadores óptimos para indicadores cíclicos basado en el análisis multivariado espectral de series de tiempo

## *Development of Optimal Weights for Cyclical Indicators Based on Multivariate Spectral Time-Series Analysis*

**Víctor Alfredo Bustos y de la Tijera y Noemí López Delgado\***

En este trabajo revisamos un método propuesto por Bustos (1993) para desarrollar conjuntos de ponderadores óptimos para el desarrollo de indicadores cíclicos también óptimos. Para ello, recurrimos al análisis canónico de series de tiempo multivariadas en el dominio de las frecuencias siguiendo a Brillinger (1981). Para llevar a cabo comparaciones útiles, utilizamos los conjuntos de indicadores coincidentes y adelantados, en uso por el Sistema de Indicadores Cíclicos del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (SIC-INEGI), para el periodo enero del 2004 a marzo del 2020. La primera aplicación del procedimiento sugerido al conjunto de datos no resulta en un comportamiento óptimo. Mostraremos, sin embargo, como nuestra propuesta permite evaluar los indicadores candidatos a entrar en el análisis, lo que resultará en conjuntos refinados. A partir del resultado de

In this paper we review a method proposed by Bustos (1993) to develop sets of optimal weights for the development of cyclical indicators that are also optimal. For this purpose, we resort to the canonical analysis of multivariate time series in the frequency domain, following Brillinger (1981). To carry out useful comparisons, we use the sets of coincident and leading indicators, in use by the Cyclical Indicators System of the National Institute of Statistics and Geography (SIC-INEGI), for the period January 2004 to March 2020. The first application of the suggested procedure to the data set does not result in optimal behaviour. We will show, however, how our proposal allows evaluating the candidate indicators to enter the analysis, which will result in refined sets. Based on the result of this selection process, a new application of the

\* Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), [alfredo.bustos@inegi.org.mx](mailto:alfredo.bustos@inegi.org.mx) y [nohemi.delgado@inegi.org.mx](mailto:nohemi.delgado@inegi.org.mx), respectivamente.

este proceso de selección, se realiza una nueva aplicación de la metodología. Con base en criterios tales como la correlación cruzada a distintos rezagos o por la capacidad de hacer pronósticos del indicador coincidente a partir del adelantado, evaluamos la ganancia a la que conduce nuestra propuesta. Los resultados obtenidos de esta manera superan en más de un sentido el comportamiento de indicadores desarrollados mediante métodos tradicionales.

**Palabras clave:** indicadores compuestos; cíclicos; coincidente; adelantado; función de correlación cruzada; series multivariadas de tiempo; análisis espectral; dominio de las frecuencias; correlación canónica; pronósticos.

**Recibido:** 28 de enero de 2021.

**Aceptado:** 1 de junio de 2021.

methodology is carried out. Based on criteria such as the cross-correlation to different lags or by the ability to make forecasts of the coincident indicator from the leading one, we evaluate the gains to which our proposal leads. Results obtained in this way outperform in more than one sense the behaviour of indicators developed using traditional methods.

**Key words:** composite indicators; cyclical; coincident; leading; cross-correlation function; multivariate time series; spectral analysis; frequency domain; canonical correlation; forecasts.



Pexels/Phyabab

## Introducción

El ser humano ha desarrollado ingeniosos esquemas para anticipar el futuro. Entre estos se encuentran los sistemas de indicadores compuestos coincidentes (ICC) y adelantados (ICA), cuyo fin es determinar de forma oportuna las variaciones inherentes al comportamiento cíclico de una economía. A pesar de haber surgido hace ya casi un siglo, su metodología básica ha experimentado solamente cambios menores. Aunque no parece haberse explicitado de esta manera, a nuestro juicio, el principal propósito de los sistemas de indicadores cíclicos (SIC) es el de obtener pronósticos precisos de valores futuros del indicador compuesto coincidente a partir de la información disponible hoy en día para el cálculo del ICA. Las metodologías actualmente en uso para la elaboración de los SIC tienen su origen en el trabajo pionero de los señores Mitchell<sup>1</sup> y Burns<sup>2</sup>, del Buró Nacional de Investigación Económica (NBER, por sus siglas en inglés) de los Estados Unidos de América (EE. UU.), durante el primer tercio del siglo XX. Además de su discípulo Geoffrey Moore,<sup>3</sup> diversos organismos nacionales e internacionales han seguido sus pasos y realizado aportaciones que tienen el propósito de mejorar los resultados. A partir de 1995, y a la fecha, The Conference Board (ver TCB, 2001) ha continuado publicando resultados periódicos (ver TCB, 2020) tanto para los EE. UU. como para otros países. Sin embargo, los aspectos fundamentales de la propuesta original permanecen en todas ellas.

En efecto, permanece el reconocimiento de la incapacidad de un único indicador para proveer un adecuado resumen del comportamiento cíclico reciente de la economía de un país. Es por ello que, en todos los casos, se busca identificar un conjunto de indicadores, denominados coincidentes, cuya agregación se espera que cumpla mejor el papel de aproximar el mencionado comportamiento. En general, dicha identificación se lleva a cabo fe-

chando los cambios de dirección en la evolución de cada indicador y comparando el fechado con el de un indicador de referencia que recoge el comportamiento agregado de la producción en los sectores productivos, el Producto Interno Bruto (PIB) o, preferentemente, algún indicador mensual de la actividad industrial. Cuando los cambios de dirección en las crestas o en los valles coinciden con gran frecuencia, se considera estar frente a un indicador coincidente. De manera similar se llega a la identificación de un segundo conjunto de indicadores, denominados adelantados, cuyas crestas y valles ocurren en el tiempo, por lo general, antes que las del indicador de referencia.

La información contenida en cada uno de los conjuntos desarrollados como se ha descrito, o la de su crecimiento, se resume mediante la suma ponderada de los valores contemporáneos de los distintos indicadores para obtener los agregados. Con el paso del tiempo, los sistemas de ponderación han venido simplificándose. Originalmente, el fechado de crestas y valles, así como la determinación de los conjuntos de coeficientes, tenían lugar mediante reuniones de expertos durante las cuales se buscaba lograr acuerdos sobre sus valores. Al parecer, la ausencia de un criterio de optimalidad que indicara *para qué* se hacía lo que se hacía, y la consecuente dificultad para comparar entre propuestas y resultados, llevó a abandonar esta práctica. Hoy en día, aun sin un criterio tal, parece existir un acuerdo que indica que las mencionadas ponderaciones sean basadas en la variabilidad de cada uno de los indicadores con el fin de evitar otorgar un peso mayor a aquellas que muestran mayor inestabilidad durante el periodo de observación.

Una adición reciente a la metodología consiste en el uso de versiones de los indicadores cuya tendencia secular ha sido reducida o, de plano, eliminada. Para este fin, se ha recurrido a propuestas tales como el filtro de Hodrick y Prescott (Hodrick *et al.*, 1997) o, como en el caso de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE, 2012), a consideraciones del análisis espectral de series de tiempo; en este caso, se procede

1 [https://www.nber.org/people/wesley\\_mitchell?page=2&perPage=50](https://www.nber.org/people/wesley_mitchell?page=2&perPage=50)

2 [https://www.nber.org/people/arthur\\_burns?page=2&perPage=50](https://www.nber.org/people/arthur_burns?page=2&perPage=50).

3 [https://www.nber.org/people/geoffrey\\_moore?page=1&perPage=50](https://www.nber.org/people/geoffrey_moore?page=1&perPage=50).

reduciendo la potencia para una o más de las frecuencias más pequeñas mediante un filtro.

La experiencia en la aplicación de metodologías como la que hemos resumido en párrafos anteriores es, más bien, mixta. Ya que uno de sus propósitos más importantes es el de anticipar caídas indeseables en el desempeño económico con el fin de actuar con oportunidad para mitigar sus efectos negativos sobre las personas y las empresas, parecería sensato elegir de entre todas las opciones disponibles aquella que conduzca a un menor error de pronóstico. En el pasado reciente, esto hubiera sido de gran importancia frente a una crisis como la que se desató hacia finales del 2008 y cuyos efectos residuales son perceptibles aún hoy en día. Si juzgamos por la magnitud de lo ocurrido entonces, parecería que los pronósticos obtenidos no dieron cuenta de ella, o que quienes toman decisiones de política económica los ignoraron. En el caso mexicano, el INEGI determinó cambiar la metodología que había seguido hasta antes del 2009 (ver INEGI, 2015) a partir de esa experiencia (ver Yabuta, 2010).

Es posible encontrar en la literatura intentos que buscan la incorporación de herramientas más modernas del análisis econométrico de series de tiempo en la elaboración de indicadores coincidentes y adelantados. Por ejemplo, Stock *et al.* (1989) buscan dar respuesta a tres preguntas básicas; desde una perspectiva conceptual, se cuestionan si es posible desarrollar un modelo probabilístico formal que dé lugar a ICC y a ICA, y permita su evaluación; asimismo, se preguntan sobre el mejor conjunto de variables a ser incluidas en el ICA y, finalmente, indagan acerca de la mejor forma de combinar dichas variables para producir índices útiles y confiables. Su metodología se compone de dos etapas, y parte de la identificación de un conjunto de variables coincidentes a partir de las cuales se obtiene un solo factor dinámico, común a todas ellas, que será utilizado a manera de indicador coincidente. Acto seguido, y bajo la consideración de un conjunto amplio de condiciones de identificabilidad, modelan como una autorregresión vectorial al vector estocástico formado por el factor dinámico y las variables adelantadas, poniendo particular

atención en la ecuación para este. Exhiben ejemplos de la aplicación de su propuesta haciendo uso de la información disponible para la construcción de los indicadores coincidentes y adelantados elaborados por el NBER.

Nos ocuparemos de las que consideramos son las limitaciones más importantes de las metodologías actualmente en uso a lo largo del resto de la presente sección. Llama la atención que las que nacieron hace casi un siglo no hayan incorporado los desarrollos teóricos y metodológicos del análisis estadístico de series multivariadas de tiempo que han sido publicados desde entonces, ni el apreciable fortalecimiento de las tecnologías de información disponibles hoy en día. Puede ser que con propósitos normativos se requiera del fechado de crestas y valles con el fin de llevar a la administración pública a actuar para paliar las consecuencias de una caída, o a dejar de hacerlo cuando ya no se requiera. Sin embargo, prácticas razonables del análisis de series de tiempo sugerirían aprovechar favorablemente, además, la información que se presenta entre unas y otros a través de los patrones de autocorrelación y de correlación cruzada. Una consecuencia de proceder de esta manera sería que el fechado de los puntos de giro, tal vez la única posibilidad de relacionar dos indicadores tomando en cuenta las metodologías de cálculo disponibles a principios del siglo XX, perdería relevancia en un contexto actual.

Tampoco puede soslayarse la ausencia de un criterio de optimalidad que permita establecer mejores valores para los coeficientes de los indicadores. Hoy en día parecen determinarse los de un conjunto sin tomar en consideración la información contenida en el otro. El mencionado propósito de obtener un pronóstico indirecto (para distinguirlo de autoproyecciones) con precisión razonable parece tampoco tener relevancia para este fin.

Seguramente, cuando el objetivo es contrastar los valores de un indicador en un momento con los que presenta en otro, se hace necesario restringir la agregación de valores solo a los contemporáneos; por ejemplo, esa es la costumbre para los índices



de Laspeyres o de Paasche. Cabe preguntarse si cuando el propósito es diferente, como ha quedado establecido, es razonable o deseable mantener la restricción a valores contemporáneos. La popularización de los modelos ARIMA (Box y Jenkins, 1970), para el caso univariado, o las autorregresiones vectoriales<sup>4</sup> (VAR, por sus siglas en inglés), para el multivariado, se debe a que mejoran la precisión de los pronósticos a través de la consideración de rezagos diferentes de cero.

La propuesta resumida en Bustos (1993) ya ofrecía respuestas a varias de las anteriores inquietudes y limitaciones. Su principal fuente de inspiración es Brillinger (1980, Ch. 10), específicamente su tratamiento del análisis canónico de series de tiempo, aprovechando la perspectiva del dominio de las frecuencias. El razonamiento básico detrás de la propuesta era que, cuando se estudia el ciclo de negocios o el económico, resulta natural aproximar las series de tiempo que lo representan mediante sumas ponderadas de funciones periódicas con coeficientes estocásticos, en un rango de frecuencias, es decir, sus transformadas de Fourier. Algunas aplicaciones recientes de este enfoque al análisis econométrico pueden ser encontradas en Pollock (2014a, 2014b y 2018).

Son diversas las ventajas de proceder de esta manera. En primer lugar, se tiene que este enfoque no da lugar a pérdidas de información; simplemente, corresponde a un análisis complementario de esta desde una perspectiva diferente. Además, en el caso estacionario se tiene que los segundos momentos se simplifican. En particular, lo anterior concede la posibilidad de trasladar algunas técnicas multivariadas del análisis estadístico de vectores aleatorios, aplicándolas frecuencia a frecuencia. De forma similar, la tendencia secular común a todas las series puede ser removida mediante la reducción de la potencia en las frecuencias bajas del espectro de la primera componente principal, obtenido a partir de la

totalidad de las series bajo consideración. Versiones estacionarias de los indicadores originales se obtienen a partir del conjunto de componentes principales modificado.

Otra consecuencia de lo anterior es que, contra la costumbre, se introducen criterios explícitos para evaluar la calidad del resultado; por ejemplo, el análisis canónico busca determinar vectores de coeficientes que maximizan el cuadrado de la norma de las coherencias en cada frecuencia. Cabe esperar que, al regresar al dominio del tiempo, los resultados también exhiban correlaciones cruzadas óptimas para uno o más rezagos. Es de esperarse, en consecuencia, que los pronósticos aportados por el ICA para el ICC resulten ser óptimos en algún sentido.

Otra limitación que aquella propuesta buscaba estudiar se refiere al supuesto, no siempre corroborado, de que un único indicador compuesto para cada conjunto resume toda la información relacionada con el ciclo, contenida en los datos originales. Es así como, al dar lugar a más de un conjunto de parejas, el enfoque sugerido permite apreciar la reducción óptima de las dimensiones.

El resto de este trabajo procede de la siguiente manera. En la sección que continúa se elabora un breve esbozo de la metodología propuesta, así como de algunos resultados relevantes. Procederemos entonces a aplicar nuestra propuesta a la información utilizada en la construcción del SIC-INEGI. De este modo, podremos llevar a cabo una comparación entre ambos conjuntos de resultados, introduciendo para este fin los criterios que consideramos adecuados. Enseguida, y aprovechando estos, propondremos una estrategia para eliminar indicadores indeseables del conjunto de los coincidentes. Algo semejante ocurrirá con el de los adelantados. Finalmente, con el resultado del anterior proceso de selección, se realizará una nueva aplicación de nuestra metodología y su resultado será comparado con el del procedimiento actualmente en uso por el INEGI. Concluiremos con un breve resumen de nuestros resultados y con la discusión de algunos planteamientos para inves-

<sup>4</sup> Es frecuente encontrar el uso del término vectores autorregresivos en referencia a estos modelos. Tal denominación es resultado de una traducción deficiente del inglés *Vector Auto-Regression*.

tigación futura que permitan aprovechar cabalmente la información disponible.

## Análisis canónico de series multivariadas de tiempo

Como se mencionó, el principal propósito de los SIC es el de obtener pronósticos precisos de valores del indicador compuesto coincidente  $k > 1$  periodos en el futuro a partir de información actualmente disponible para el cálculo del ICA. A partir de este planteamiento se sigue naturalmente la idea de utilizar el análisis canónico de series multivariadas de tiempo. Un bosquejo de la propuesta para el cálculo de un SIC se encuentra en el diagrama 1. En él pueden identificarse dos partes para llevar a cabo el análisis. En primer lugar, partiendo de la información original del conjunto de  $n$  series  $\{\underline{X}_t\}_{t=1}^T$ , así como de estimadores de sus segundos momentos  $\{\hat{F}_x(k)\}_{k=0}^{T-1}$ , se realiza el análisis por componentes principales (PCA, por sus siglas en inglés) en el dominio de las frecuencias, usando sus transformadas de Fourier. Enseguida, a partir de la información derivada del análisis anterior o de la misma información original, tiene lugar el análisis canónico propiamente dicho, también en el dominio de las frecuencias.

En todos los casos se encuentran sus versiones equivalentes en el dominio de las frecuencias, el vector  $\underline{v}_x(\lambda)$  y la matriz  $\Phi_x(\lambda)$ ; en esencia, sus transformadas de Fourier, finitas y discretas. Para cada una de las frecuencias  $\lambda_j = 2\pi j/T, j = 0, \dots, T-1$ , partiendo de la diagonalización de la matriz espectral Hermitiana  $\Phi_x(\lambda_j)$ , se realiza el mencionado análisis de componentes principales. En otras palabras, mediante la matriz  $\mathbf{B}$ , cuyas columnas son los vectores característicos de la matriz espectral, se obtiene un nuevo conjunto de coeficientes de Fourier, cuya matriz espectral resulta ser diagonal. A través de la transformada inversa de Fourier se tiene un nuevo conjunto de series  $\{\underline{Y}_t\}_{t=1}^T$ , así como su estructura de covarianza,  $\{\hat{F}_y(k)\}_{k=0}^{T-1}$ , la cual está formada, aproximadamente, por matrices diagonales. Se consigue de esta manera que este conjunto tenga correlaciones cruzadas nulas, a semejanza

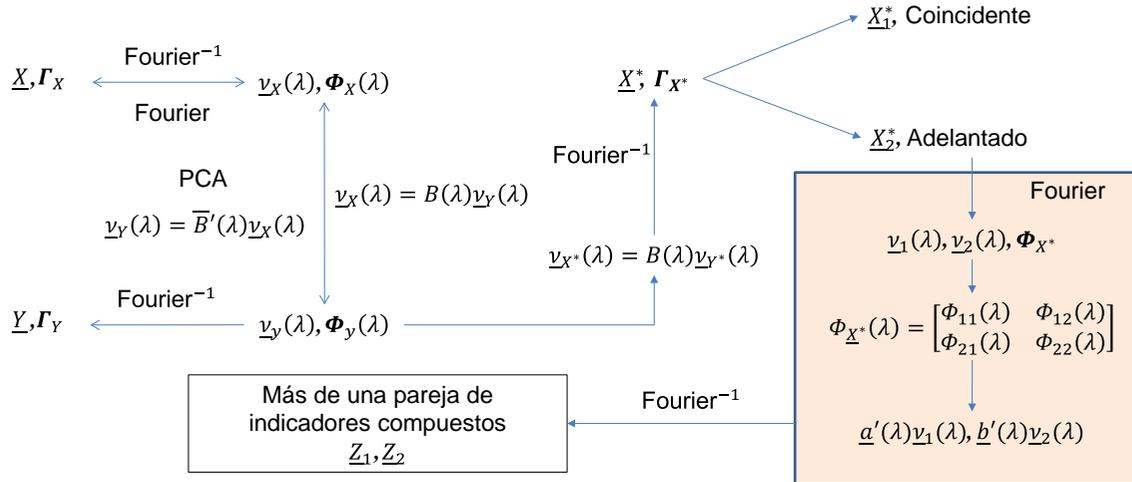
de lo que ocurre en el análisis de componentes principales de vectores aleatorios independientes.

En el diagrama, la anterior secuencia se encuentra dentro del cuadrado definido por las flechas bidireccionales, las cuales son así ya que, como se indica en el exterior de dicho cuadro, es posible recorrer la secuencia en sentido contrario para pasar de  $\{\underline{Y}_t\}_{t=1}^T$  a  $\{\underline{X}_t\}_{t=1}^T$  nuevamente. Ello permite, además, producir diferentes versiones de las series originales a través de la manipulación del conjunto de componentes principales; por ejemplo, de la modificación de algunas y/o de la eliminación de otras. En otras palabras, pasar de  $\{\underline{Y}_t\}_{t=1}^T$  a  $\{\underline{Y}_t^*\}_{t=1}^T$  donde posiblemente tendencias o influencias estacionales han sido removidas del conjunto de series  $\{\underline{Y}_t\}_{t=1}^T$  para dar lugar al de  $\{\underline{Y}_t^*\}_{t=1}^T$ , así sea solo para las primeras componentes principales. En efecto, ya que PCA tiene lugar frecuencia a frecuencia, podemos decidir cómo reducir el contenido de frecuencia en la parte baja del espectro para, por ejemplo, la primera componente principal, lo que, en general, dará lugar a nuevas versiones o *proxies* de las series originales, cuyas tendencias serán apenas perceptibles. Este tratamiento recuerda al descrito en OCDE (2012, Anexo A), con la diferencia de que, en su caso, la eliminación de las frecuencias bajas tiene lugar serie a serie.

El nuevo conjunto de indicadores dará lugar, a su vez, a por lo menos dos subconjuntos de series. En primera instancia se tendrá al conjunto de coincidentes integrado por series cuyo comportamiento cíclico es semejante en más de un sentido al de un indicador de referencia; por ejemplo, la mensual de producción industrial. Por otro lado, se tendrá al conjunto de series adelantadas cuyo comportamiento cíclico antecede al de la de referencia. En este caso, con el fin de hacer un uso eficiente de toda la información disponible, la determinación de los conjuntos de series coincidentes o adelantados tiene lugar atendiendo al comportamiento de las estructuras de correlación cruzada de todos y cada uno de los candidatos con un indicador de referencia. En breve, lo que esto significa es que ni los puntos de giro en crestas y valles ni su fechado forman parte relevante de nuestro enfoque.

Diagrama

**Proceso de cálculo de parejas de indicadores coincidentes y adelantados**



Una vez determinados los tamaños de cada subconjunto, denotados por  $\rho_1$  y  $\rho_2$ , se estima la matriz espectral del vector, cuyas primeras  $\rho_1$  componentes están formadas por las series coincidentes; las restantes  $\rho_2$  las ocupan las adelantadas. La estimación se lleva a cabo como se indica en (1):

$$\Phi_X(\lambda) = \sum_{j=-P}^P \frac{P-|j|}{P} \hat{\Gamma}_j e^{-i\lambda j} \quad (1)$$

Dicha matriz es particionada conformablemente en bloques, según las dimensiones  $p_1$  y  $p_2$ , como se indica en la expresión (2):

$$\Phi_X(\lambda) = \begin{bmatrix} \Phi_{11}(\lambda) & \Phi_{12}(\lambda) \\ \Phi_{21}(\lambda) & \Phi_{22}(\lambda) \end{bmatrix} \quad (2)$$

Con base en ella, y para cada una de las frecuencias  $\lambda_j$ , se plantean los problemas de optimización indicados en (3), de cuyas soluciones se obtendrán los vectores de coeficientes  $\underline{a}(\lambda_j), \underline{b}(\lambda_j)$  que conducen a los pares canónicos espectrales (ver Brillinger, 1981, Teorema 10.3.2), en directa generalización del caso en el que se está en presencia de vectores independientes (ver, por ejemplo, Morri-son, 1967, Cap. 6):

$$\begin{aligned} & \text{Max}_{\underline{a}(\lambda), \underline{b}(\lambda)} | \text{Corr}\{\underline{a}'(\lambda)\underline{v}_1(\lambda), \bar{b}'(\lambda)\underline{v}_2(\lambda)\} |^2 \\ & = \text{Max}_{\underline{a}(\lambda), \underline{b}(\lambda)} \left| \frac{\{\bar{a}(\lambda)\Phi_{12}b(\lambda)\}}{\sqrt{(\bar{a}(\lambda)\Phi_{11}a(\lambda))(\bar{b}(\lambda)\Phi_{22}b(\lambda))}} \right|^2 \quad (3) \end{aligned}$$

Se tiene que  $\underline{a}(\lambda)$  y  $\underline{b}(\lambda)$  maximizan el cuadrado de la norma de la coherencia dentro del par canónico. Observamos que es posible obtener nuevas parejas de vectores al imponer condiciones de nula correlación entre diferentes pares canónicos para resolver problemas de optimización similares a (3). Lo anterior puede llevarse a cabo hasta un número de veces igual al menor de los valores  $\rho_1$  y  $\rho_2$ . Más aún, bajo la condición de identificabilidad de que los vectores de coeficientes obtenidos de esta manera tengan una norma igual a 1, se tiene que dichos vectores son, a su vez, soluciones no nulas a los sistemas de ecuaciones presentados en (4). En otras palabras,  $\underline{a}(\lambda)$  y  $\underline{b}(\lambda)$  son vectores característicos de las matrices que aparecen en la expresión (4). Rescribiéndolos como  $\underline{a}(\lambda) = \Phi_{11}^{-1/2} \underline{c}(\lambda)$  y  $\underline{b}(\lambda) = \Phi_{22}^{-1/2} \underline{d}(\lambda)$ , y haciendo uso de la desigualdad de Schwartz puede probarse que el máximo valor característico coincide con el óptimo del criterio (3):

$$\left. \begin{aligned} \Phi_{11}^{-1}(\lambda)\Phi_{12}(\lambda)\Phi_{22}^{-1}(\lambda)\Phi_{21}(\lambda)\underline{a}_j(\lambda) &= \rho_j(\lambda)\underline{a}_j(\lambda) \\ \Phi_{22}^{-1}(\lambda)\Phi_{21}(\lambda)\Phi_{11}^{-1}(\lambda)\Phi_{12}(\lambda)\underline{b}_j(\lambda) &= \rho_j(\lambda)\underline{b}_j(\lambda) \end{aligned} \right\} \\ j = 1, \dots, \min\{\rho_1, \rho_2\} \quad (4)$$

A partir de cada una de estas soluciones, se definen nuevos conjuntos de coeficientes de Fourier. Nuevamente, la transformada inversa de Fourier de estos resultados dará lugar a nuevas series de indicadores cuya correlación cruzada, se espera, resultará máxima para algún rezago. Se forma un nuevo vector de series  $\{Z_t\}_{t=1}^T$ , en cuyas primeras  $\rho_1$  componentes se concentran los indicadores coincidentes y en los subsecuentes  $\rho_2$ , los adelantados. Por construcción, el cálculo de los indicadores resultantes puede contemplar, además de los valores contemporáneos, los rezagados de las series originales. De este modo, dejan de tener vigencia las restricciones implícitas en el cálculo de índices, que suponen que los valores de los coeficientes para dichos rezagos son iguales a cero. Por ello, cabe pensar que el criterio de optimalidad alcanzará mejores niveles.

Para el caso de los ejemplos numéricos que se presentan a continuación, obtenidos del sitio de INEGI,<sup>5</sup> las tendencias, así como la estacionali-

dad, han sido removidas. Más aún, todas las series han sido también suavizadas y clasificadas como coincidentes o adelantadas. Consecuentemente, nuestra discusión se centra en la parte metodológica enmarcada en la esquina inferior derecha del diagrama.

## Ejemplo de aplicación de la metodología y comparación de sus resultados con los del SIC-INEGI

Como se mencionó, usamos indicadores cuya tendencia ha sido removida con el fin de que la comparación se centre solo en la determinación de las ponderaciones que llevan a los indicadores agregados. En el cuadro 1 se enlistan, junto con sus mnemónicos, las series que forman parte de cada uno de los conjuntos coincidente y adelantado, seleccionadas de acuerdo con lo que se indica en INEGI (2015). Según esta publicación, a los indicadores originales se les removió una tendencia y se les suavizó mediante la doble aplicación del filtro de Hodrick y Prescott. Tampoco es aparente patrón estacional alguno. El periodo contemplado cubre 195 observaciones, a partir de enero del 2004 y hasta marzo del 2020.

Por principio de cuentas, se comentan primeramente los resultados obtenidos por el INEGI me-

<sup>5</sup> Disponibles en: [#D10000215](https://www.inegi.org.mx/app/indicadores/?tm=0&t=10000215)

Cuadro 1

### Series que intervienen en la formación del SIC-INEGI

Coincidentes	Adelantadas
1. Indicador Global de la Actividad Económica, IGAE.	1. Tendencia del Empleo en las Manufacturas, EMPMANUF.
2. Indicador de la Actividad Industrial, ACTIND.	2. Indicador de Confianza Empresarial, CONFEMP.
3. Índice de Ingresos por Suministro de Bienes y Servicios al por Menor, INGXBYS.	3. Índice de Precios y Cotizaciones de la Bolsa Mexicana de Valores en términos reales, IPC-BMV.
4. Número de Asegurados Permanentes en el IMSS, IMSS.	4. Tipo de Cambio Real Bilateral México-EE. UU., TICAM.
5. Tasa de Desocupación Urbana, TDOU.	5. Tasa de Interés Interbancaria de Equilibrio, TIIE.
6. Importaciones Totales, IMPORT.	6. Índice Standard & Poor's 500 (Índice Bursátil de EE. UU.), S&P500.

dian­te su propuesta metodológica (ver INEGI, 2015). En la gráfica 1 se muestra la única pareja resultado de agregar las series que forman cada uno de los conjuntos en el cuadro 1, según dicha metodología. Como puede observarse, el ICA tiene un comportamiento deseable en cuanto a crestas y valles hacia el principio del periodo; sin embargo, hacia el final de este, parece perder la mencionada cualidad. Parece claro que, en tanto el ICC ha venido descendiendo por espacio de casi dos años, aquel indicador presenta un ligero incremento durante el inicio de ese lapso, y solo para los meses más recientes exhibe una tendencia negativa.

A pesar de lo anterior, según se muestra en la gráfica 2, la estructura de correlación cruzada entre ambos indicadores muestra que el adelanto entre uno y otro es, en promedio, de alrededor de cinco meses a lo largo de todo el periodo contemplado. El valor de la correlación cruzada a ese rezago es igual a 0.7921, siendo significativamente diferente de cero cualquiera que sea el criterio de prueba. Este valor representa la cota contra la cual habremos de medir el desempeño de alternativas.

Como ya fue señalado, y con el fin de aprovechar de manera eficiente la información disponible,

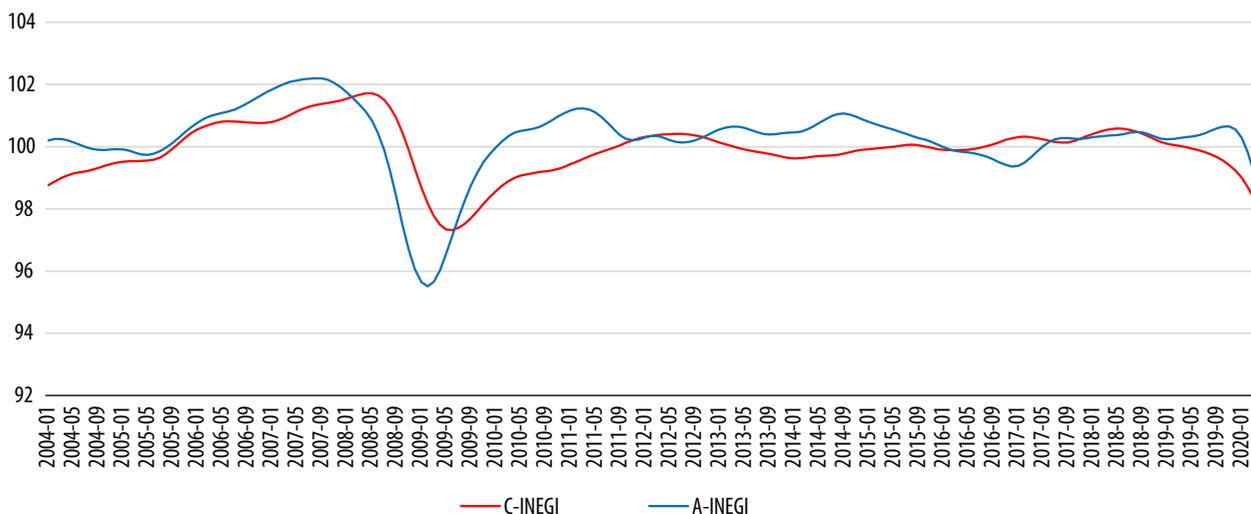
para nuestra propuesta resulta más relevante la consideración de los patrones de correlación cruzada entre las series consideradas. Por ello, en las gráficas 3 y 4 se resumen estos para, por un lado, el IGAE, como serie de referencia, y por el otro, cada una de las series restantes.

A partir de la primera de ellas se vuelve aparente que tanto las series de actividad industrial como de importaciones, así como la Tasa de Desocupación Urbana son, en promedio, series en efecto coincidentes. No es igualmente claro que lo sean las que se refieren al registro de asegurados en el Instituto Mexicano del Seguro Social (IMSS), y a los ingresos por suministro de bienes y servicios. La primera de ellas muestra una correlación máxima con el IGAE de 0.8579 a un rezago de tres meses, en tanto que la segunda presenta una relación más débil de alrededor de 0.68 a rezagos de uno, dos y tres meses.

Algo similar ocurre con el conjunto de series adelantadas, entre las cuales cuatro de ellas (EMPMANUF, IPC-BMV, CONFEMP y S&P500) aportan evidencia de un comportamiento adelantado con respecto al IGAE, con correlaciones máximas desde poco más de 0.6 hasta casi 0.9. Entre las restantes, el TICAM daría la impresión de ser un indicador coincidente, aunque con una correlación

Gráfica 1

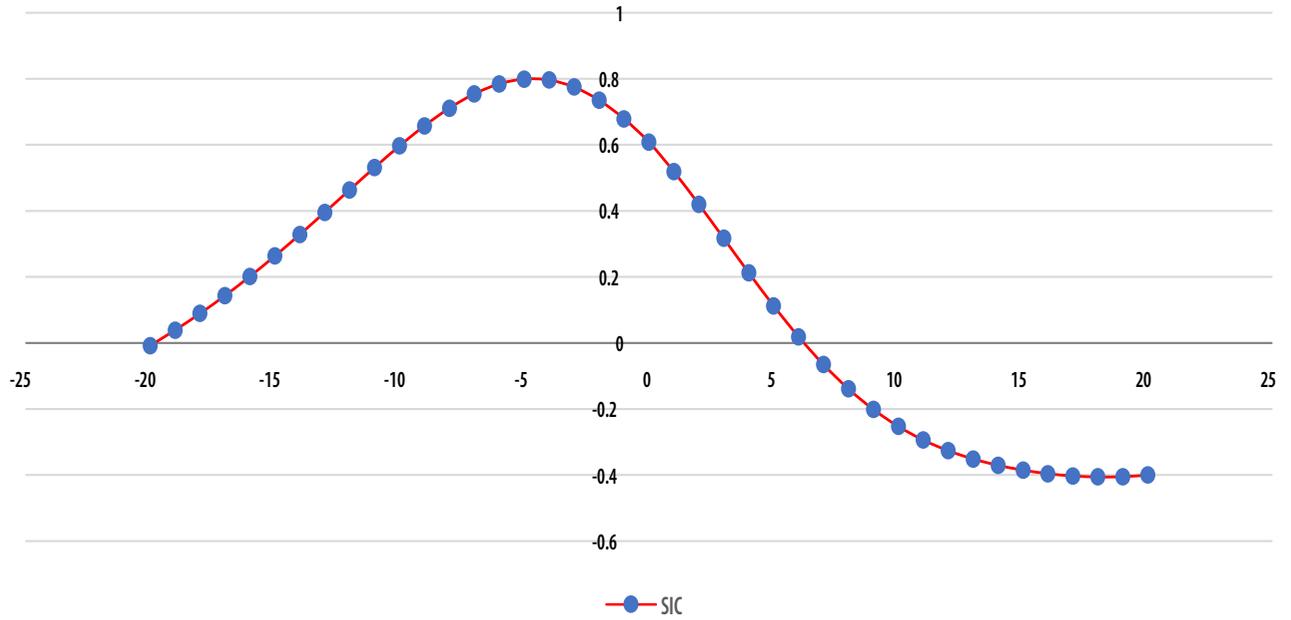
### Indicadores coincidente y adelantado, ene. 2004-mar. 2020, SIC-INEGI



Fuente: base de datos en <https://www.inegi.org.mx/app/reloj/#>

Gráfica 2

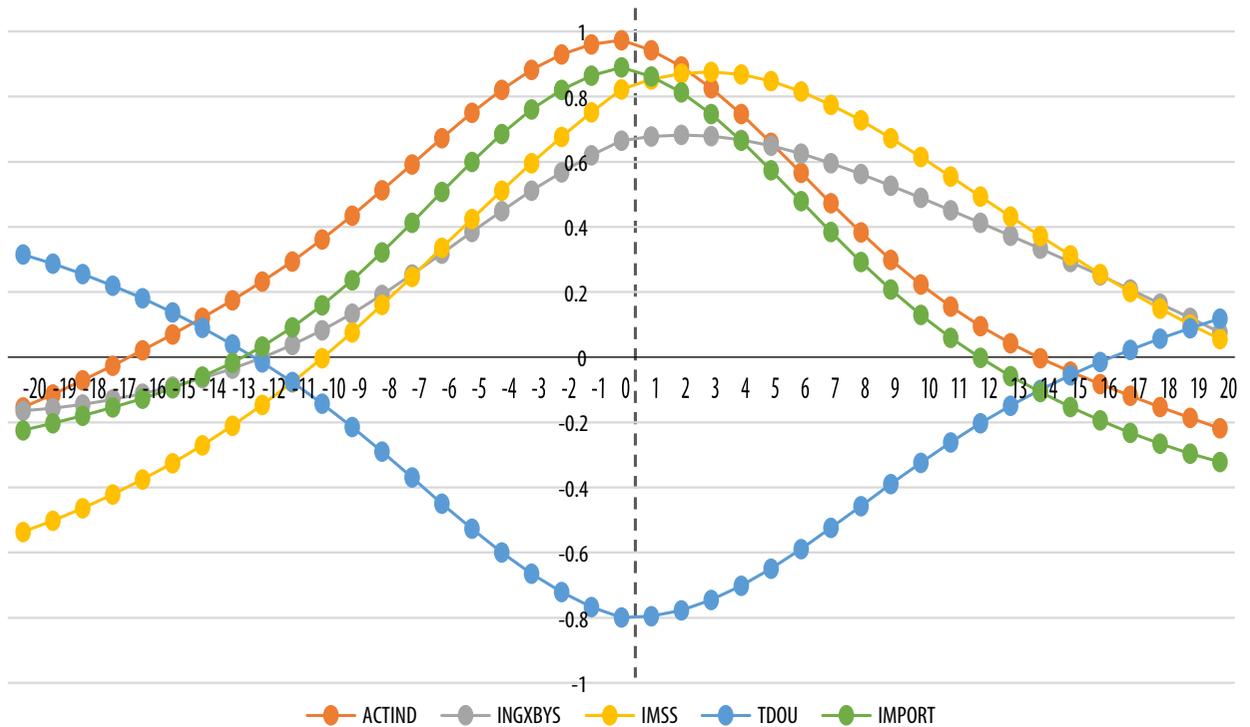
### Correlaciones cruzadas, SIC-INEGI



Fuente: cálculos propios a partir de base de datos en <https://www.inegi.org.mx/app/reloj/#>

Gráfica 3

### Correlaciones cruzadas entre IGAE y otras cinco series coincidentes



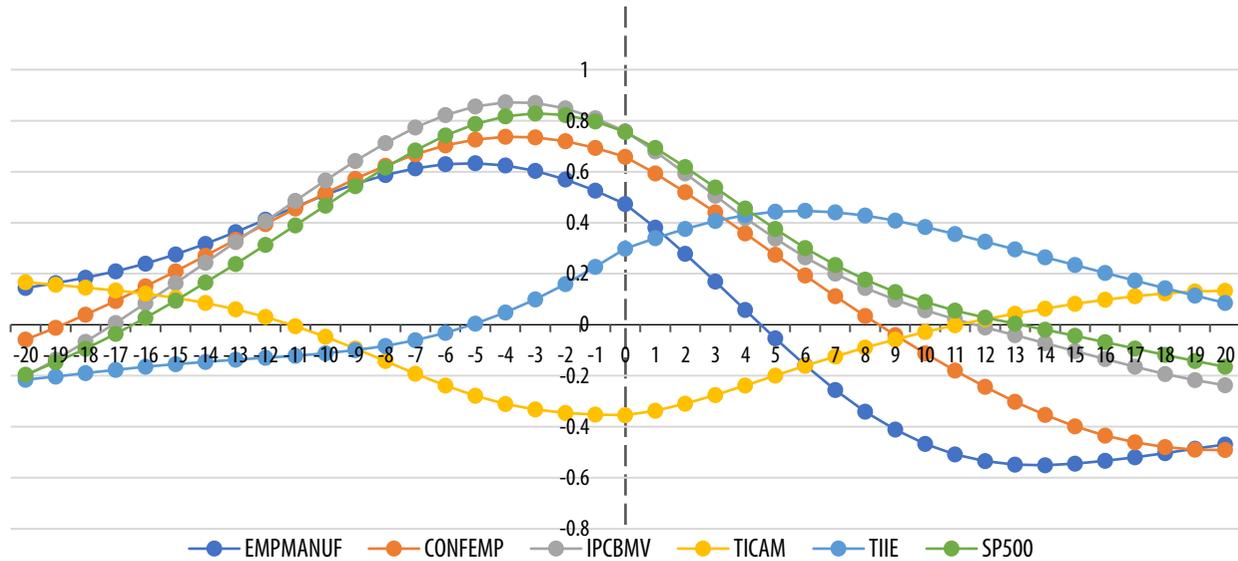
Fuente: cálculos propios a partir de base de datos en <https://www.inegi.org.mx/app/reloj/#>

contemporánea débil; la TIIE tiene una apariencia de ser rezagado con respecto al de referencia, mostrando también una débil correlación de casi 0.45 a un rezago de seis meses.

Por su parte, la gráfica 5 muestra los valores propios para cada una de las frecuencias armónicas  $0 \sim \lambda < \pi$ , para tres de los seis pares de series canónicas que es posible obtener, así como el que corres-

Gráfica 4

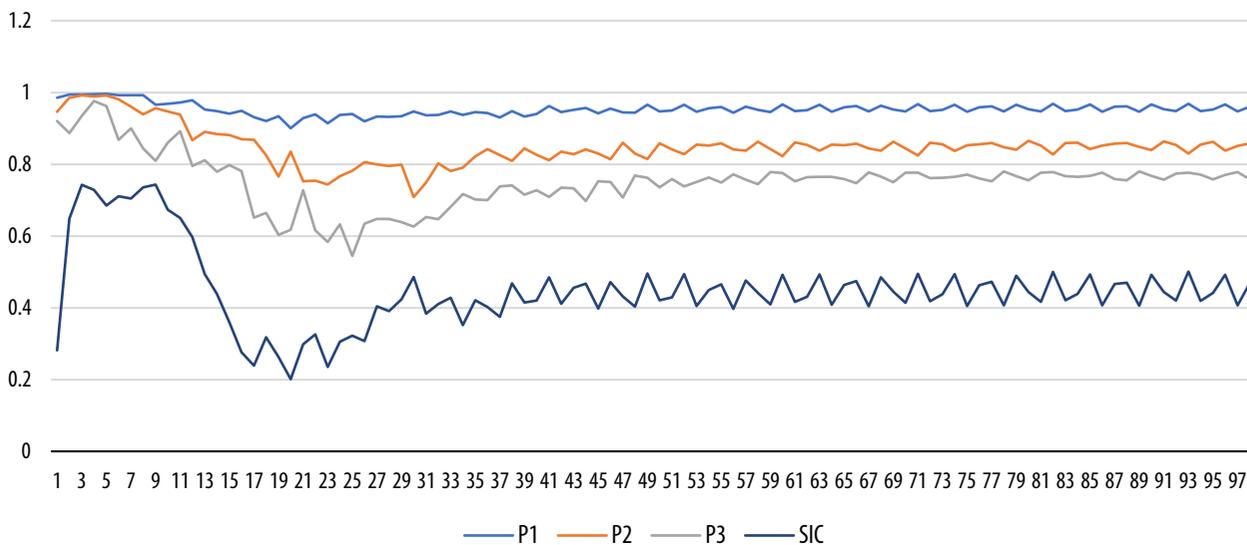
### Correlaciones cruzadas entre IGAE y las seis series adelantadas



Fuente: cálculos propios a partir de base de datos en <https://www.inegi.org.mx/app/reloj/#>

Gráfica 5

### Valores característicos para los tres primeros pares canónicos y para el SIC-INEGI, $0 \leq \lambda < \pi$



Fuente: cálculos propios a partir de base de datos en <https://www.inegi.org.mx/app/reloj/#>

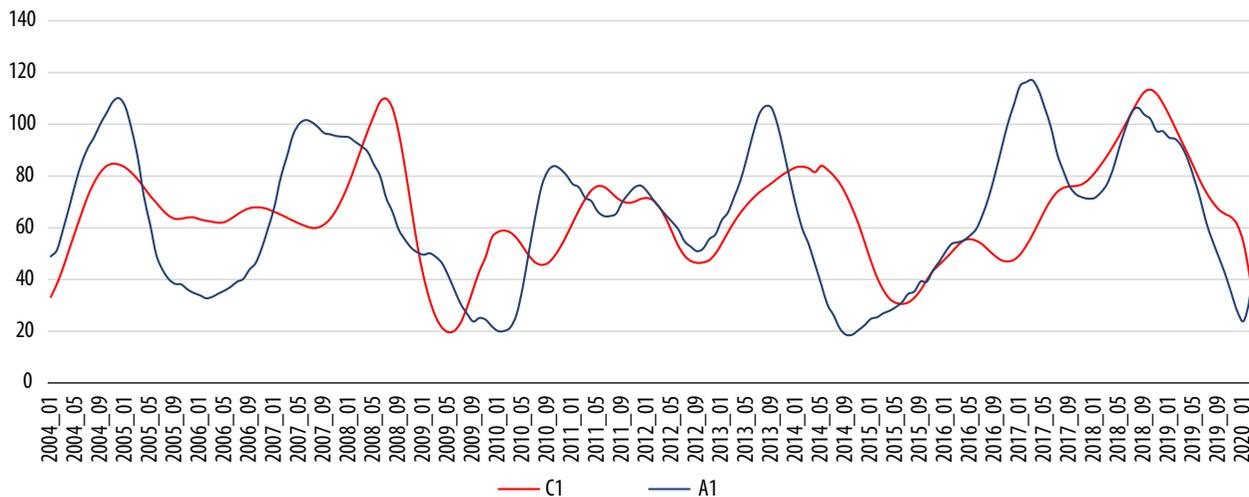
ponde, cuando se aplica la metodología descrita, a los indicadores univariados coincidente y adelantado del SIC-INEGI. Es claro que el primer par canónico es óptimo, en términos del criterio establecido, sobre cualesquiera filtros lineales calculados a partir de las series coincidentes y adelantadas, incluidos los considerados en este trabajo. Debe ser claro, sin embargo, que algunos de los pares canónicos res-

tantes también contienen información útil y, por construcción, casi ortogonal a la aportada por el primer par; es decir, en el estudio del ciclo no es necesario restringirse a una única pareja de indicadores.

Una parte del resultado de aplicar nuestra propuesta se ilustra en las gráficas 6 y 7, donde se muestran, respectivamente, el primer y segundo

Gráfica 6

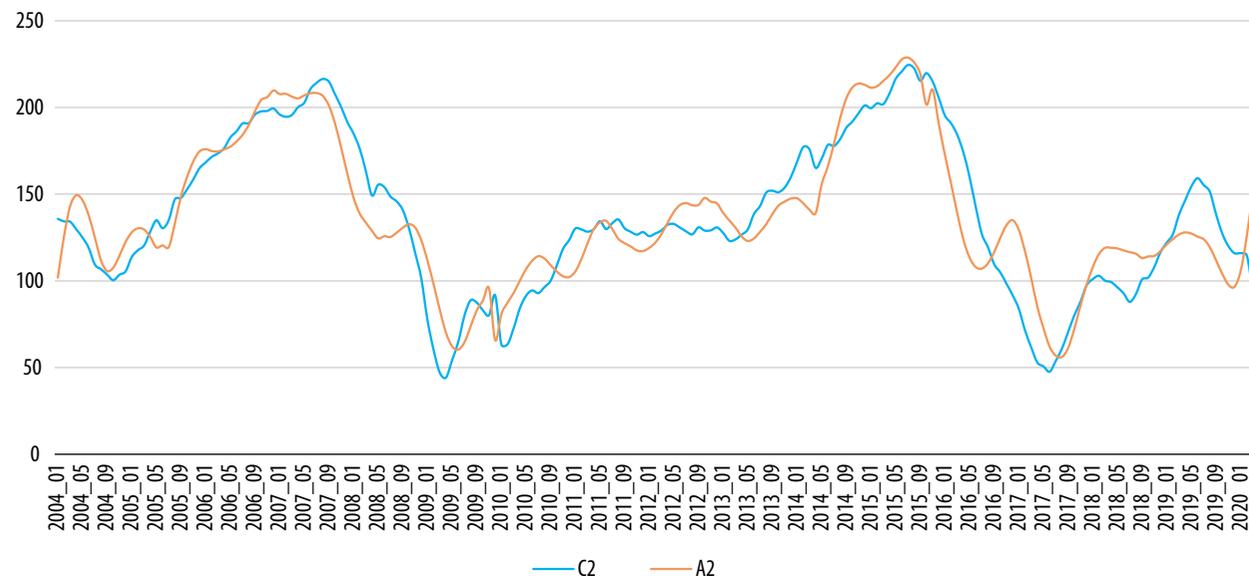
**Primer par canónico: indicadores coincidente (C1) y adelantado (A1)**



Fuente: cálculos propios a partir de base de datos en <https://www.inegi.org.mx/app/reloj/#>

Gráfica 7

**Segundo par canónico: indicadores coincidente (C2) y adelantado (A2)**



Fuente: cálculos propios a partir de base de datos en <https://www.inegi.org.mx/app/reloj/#>



pares canónicos. En el primer caso, por principio de cuentas, no parece quedar clara la relación entre indicador coincidente con la serie de referencia. Asimismo, tampoco es del todo claro que el adelantado, en efecto, adelante al coincidente, ni por cuántos meses.

Por lo que toca al segundo par canónico, de manera contraintuitiva se obtiene una pareja de indicadores que muestran una relación más estrecha. El ICA adelanta a su pareja al inicio de los periodos de recuperación, pero lo opuesto ocurre al de los de decremento. Cabe señalar que el comportamiento cíclico exhibido por esta pareja parece tener referencia a un ciclo de más largo plazo con una duración aproximada de cinco años, que solo puede ser aproximadamente establecida ante lo corto del periodo de observación.

Las estructuras de correlaciones cruzadas que se muestran en la gráfica 8 parecen ratificar las consideraciones hechas anteriormente en relación con los dos primeros pares canónicos. En efecto, el patrón para la primera pareja, denotado por  $P1$ , indica un débil adelanto contra el que sería de esperarse; el indicador adelantado parece adelantar

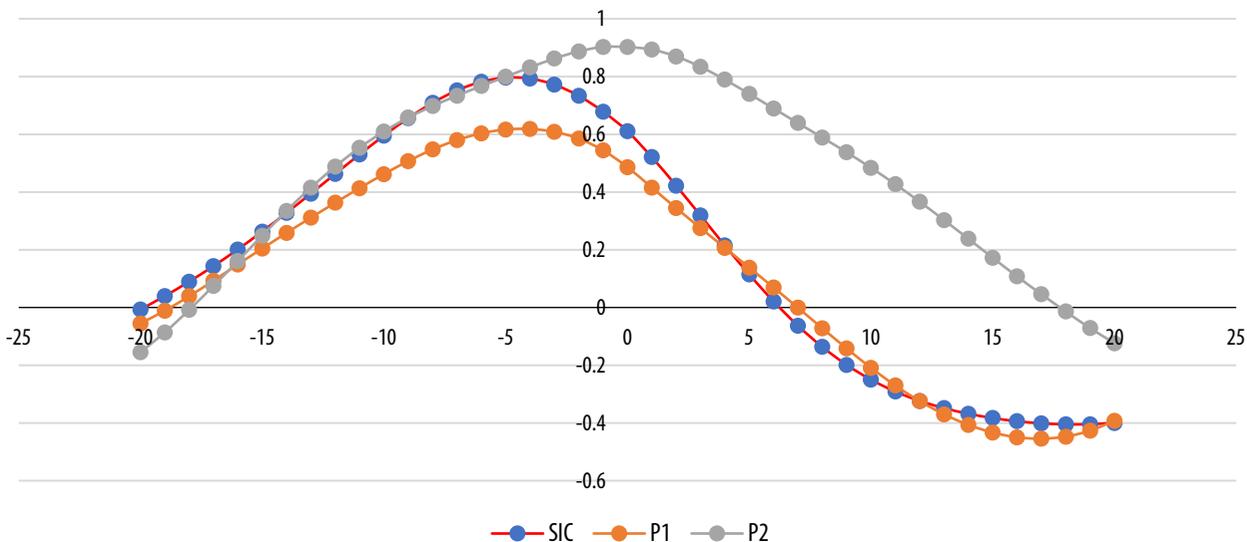
al coincidente, con una correlación de 0.62 a entre cuatro y cinco meses. Por lo que toca al correspondiente al segundo par canónico, tenemos ahora una situación más clara. Su correlación máxima a rezago cero, que parece confirmar la alternancia en adelantos descrita, alcanza el valor de 0.902, mayor que la exhibida por la pareja del SIC. Es evidente que la optimalidad del criterio en el dominio de las frecuencias no se traduce siempre en resultados óptimos en el dominio del tiempo.

## Complementación de la propuesta

Los anteriores e insatisfactorios resultados nos han llevado a plantear algunas hipótesis, las cuales esperamos nos conduzcan a situaciones más favorables. La primera de ellas se refiere al cumplimiento de diversos supuestos, en particular, al que tiene que ver con los datos. De manera muy simple, es posible resumirla como “las series coincidentes coinciden con el indicador de referencia, y las adelantadas, lo adelantan”. Las gráficas 1 y 2 nos dicen que, en términos de los segundos momentos que son centrales al procedimiento, no todas las series seleccionadas parecen satisfacer dicho supuesto.

Gráfica 8

### Correlaciones cruzadas, primeros dos pares canónico y SIC



Fuente: cálculos propios a partir de base de datos en <https://www.inegi.org.mx/app/reloj/#>

Lo anterior nos obliga a echar una mirada más cuidadosa a nuestros insumos. Además de su relación con la serie de referencia, nos interesa saber cuál es la que guardan las coincidentes con las adelantadas. Para este fin, proponemos aplicar el procedimiento sugerido al caso en el que el conjunto de series coincidentes está formado por una sola de ellas a la vez; el de las adelantadas puede contener a las seis originales o a algún subconjunto de ellas. Al primer caso, lo denotaremos por 1X6.

Este ejercicio recuerda al denominado Indicador Oportuno de la Actividad Económica (IOAE), dado a conocer recientemente por el INEGI. En este ejercicio se recurre a modelos empíricos de *nowcasting* para estimar tanto la variación porcentual anual como los niveles del IGAE y de dos grandes actividades económicas. El modelo utiliza<sup>6</sup> "... un amplio conjunto de indicadores oportunos y de alta frecuencia, por ejemplo: variables obtenidas de encuestas económicas, series de tiempo financieras, indicadores extraídos de fuentes no tradicionales, entre otros...". En estricto sentido, el indicador no pronostica al IGAE, sino es una estimación para este obtenida a partir de información cuya publicación tiene lugar de manera más oportuna y co-

6 <https://www.inegi.org.mx/investigacion/ioae/>

responde al mismo mes para el que se estima el valor del IGAE (i. e.,  $k = 0$ ), que será difundido con posterioridad.

Las gráficas 9 dan cuenta de la comparación a lo largo del tiempo de la evolución de las series coincidentes con combinaciones de las seis adelantadas. En cada uno de los seis paneles que componen dichas gráficas, la serie coincidente, cuyo comportamiento se busca adelantar, aparece en color rojo, en tanto que su correspondiente indicador adelantado se muestra en azul. Antes de recurrir a otras estadísticas para evaluar el resultado de estos ajustes, ya es aparente, a simple vista, que para las tres series coincidentes (IGAE, ACTIND e IMPORT) se obtiene un indicador adelantado con las características deseables; las tendencias se siguen de manera cercana, pero mostrando un adelanto, en particular en las crestas y los valles, de al menos un par de meses, en general. De forma similar, las dos series que de una u otra manera tienen que ver con la ocupación (IMSS, TDOU) no exhiben un comportamiento igualmente afortunado. Aun cuando versiones suavizadas de estas dos series y de sus correspondientes indicadores adelantados exhibirían similitudes importantes, las oscilaciones que algunas de ellas presentan hacen pensar en la dificultad de obtener buenos

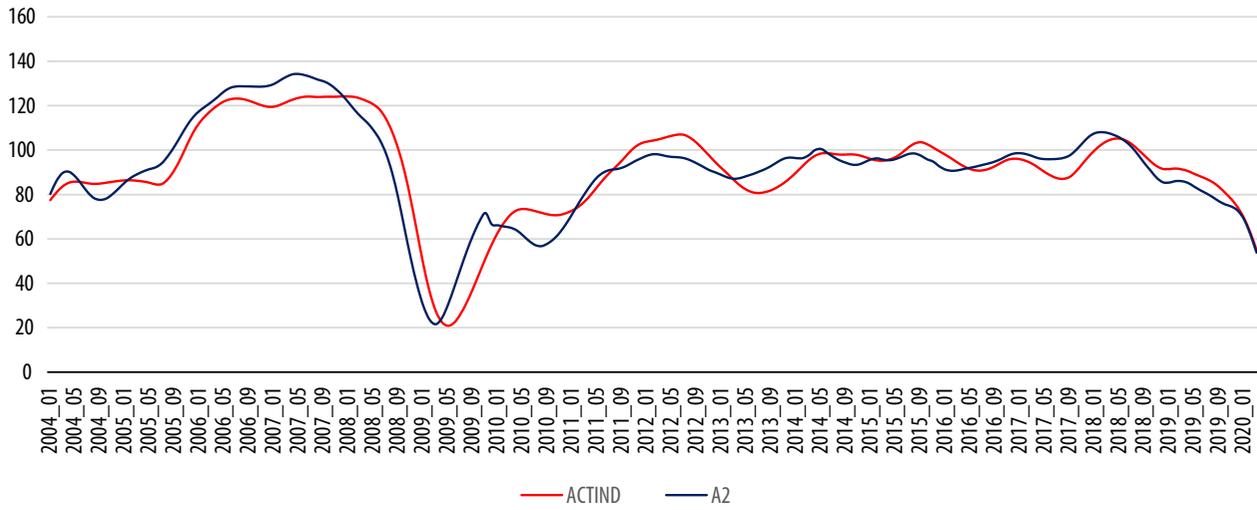
Gráficas 9

### Indicadores Coincidente y Adelantado, seis ejercicios 1X6

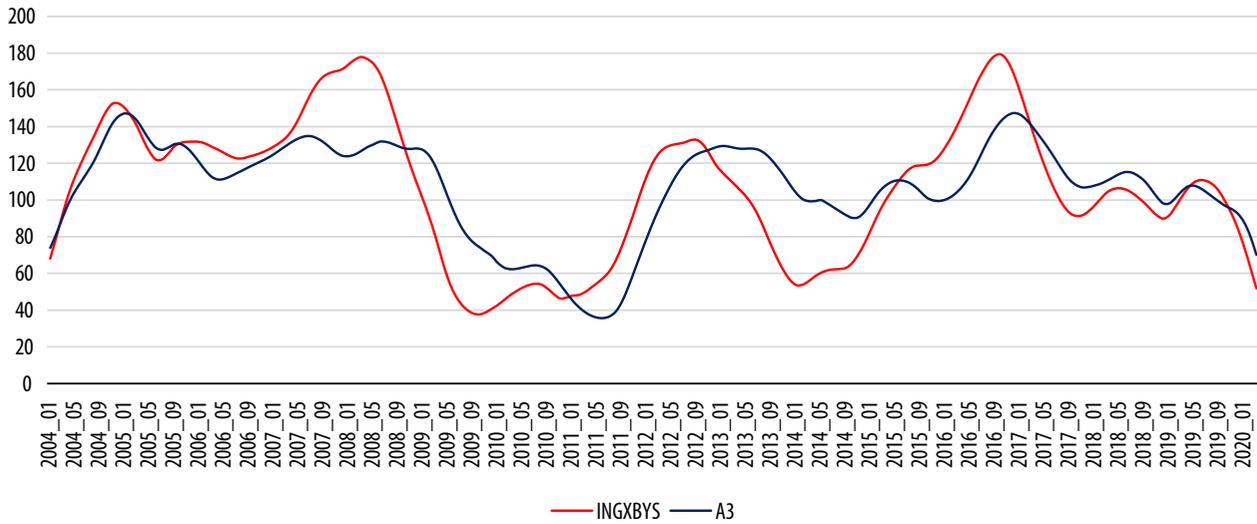
9.1 Coincidente: IGAE; seis series adelantadas



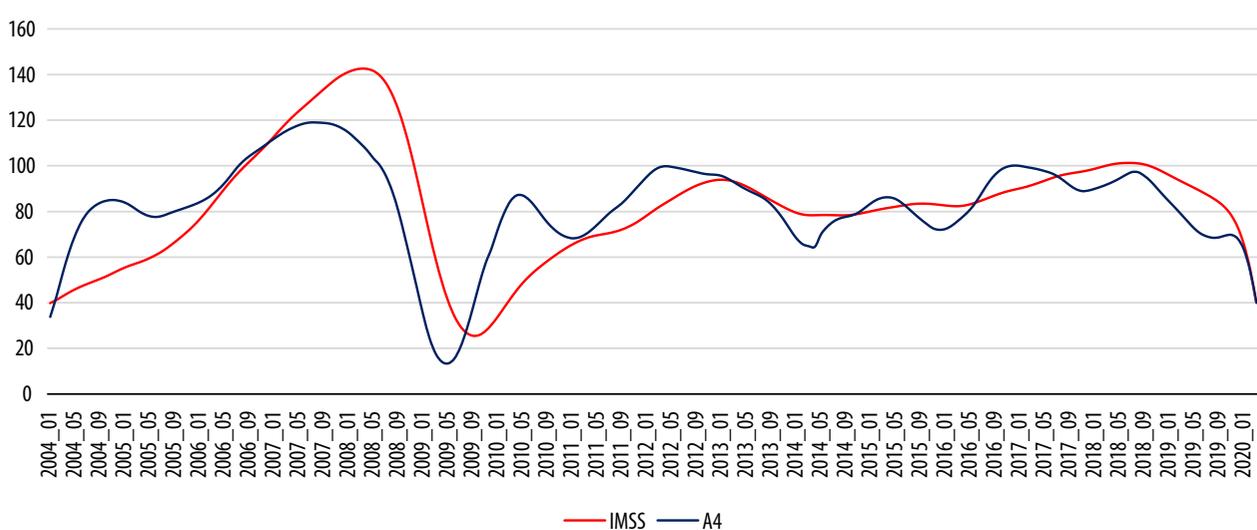
9.2 Coincidente: ACTIND; seis series adelantadas

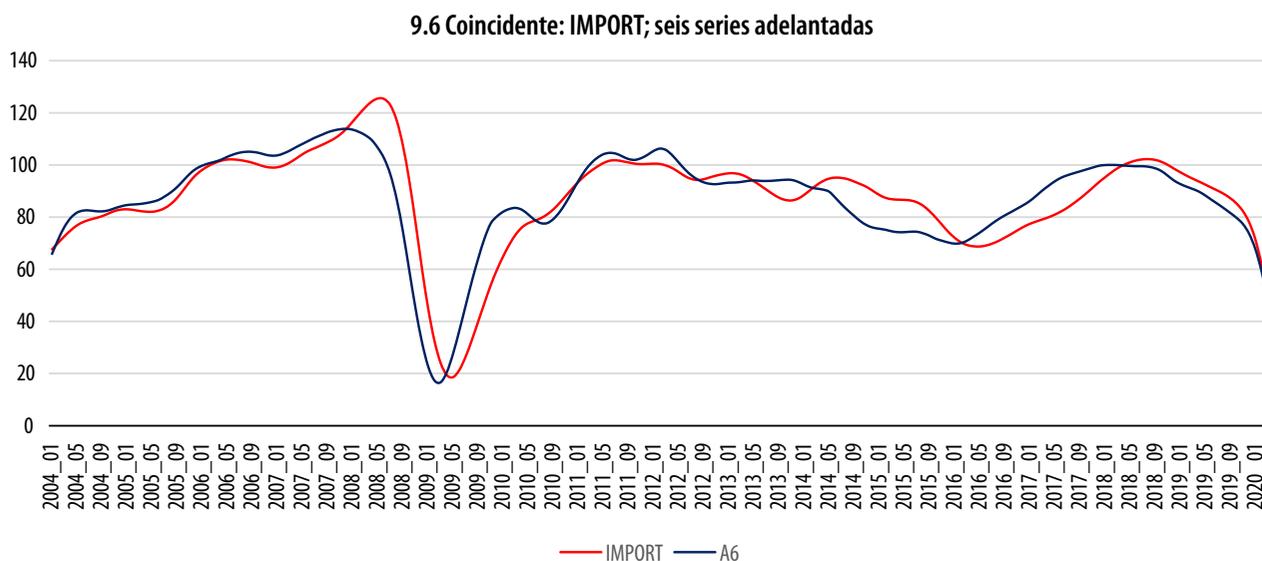
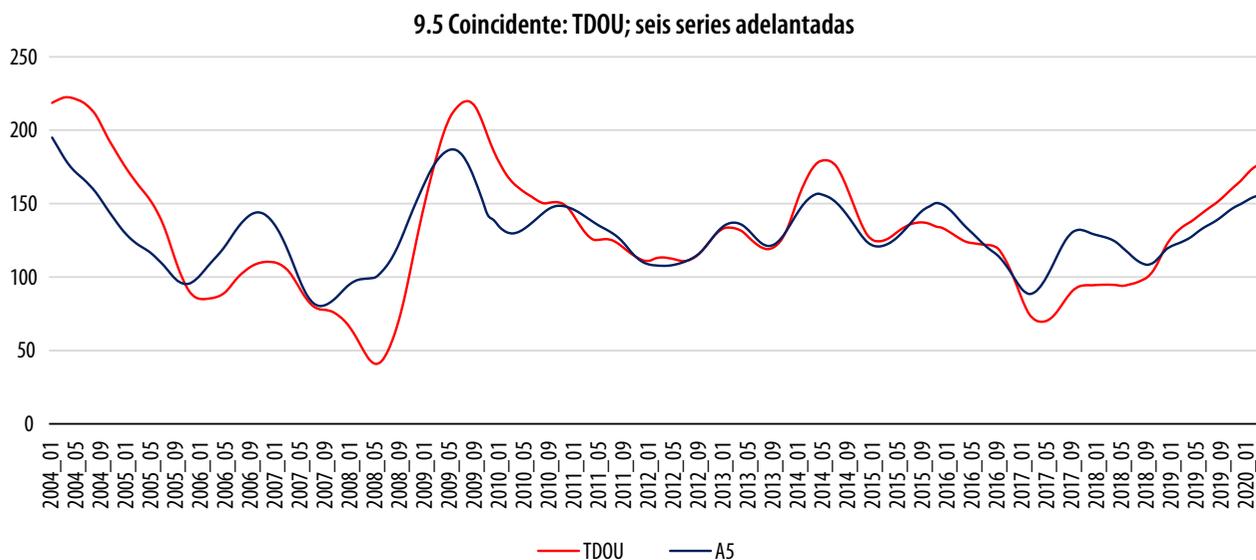


9.3 Coincidente: INGXBYS; seis series adelantadas



9.4 Coincidente: IMSS; seis series adelantadas





**Fuente:** cálculos propios a partir de base de datos en <https://www.inegi.org.mx/app/reloj/#>

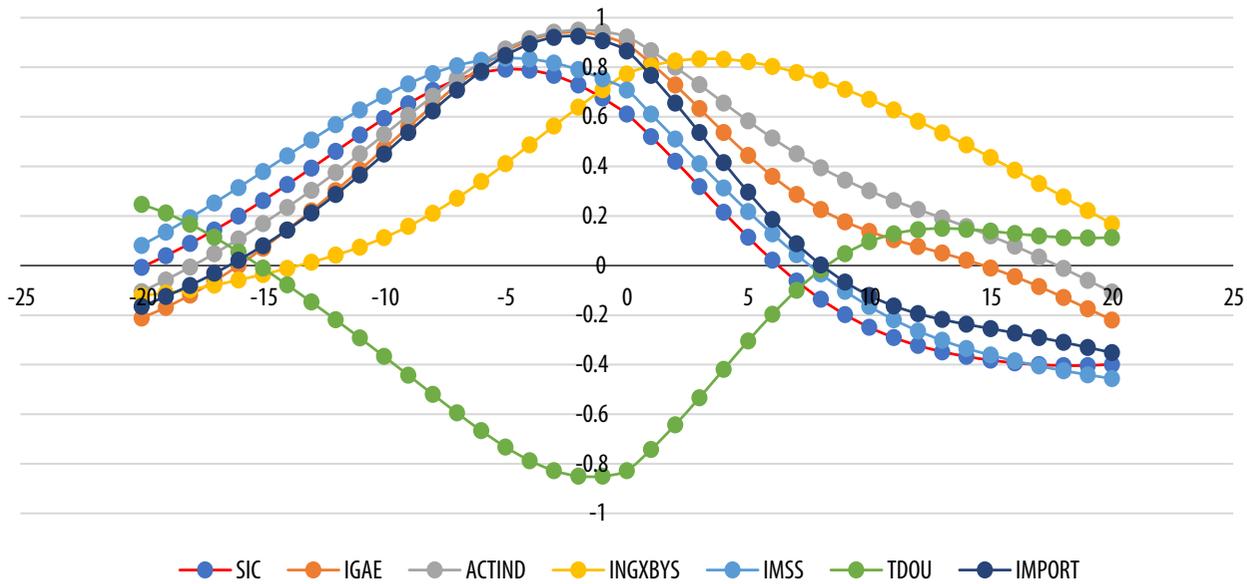
pronósticos de una a partir de la otra. En el otro extremo se encuentra el caso de la serie INGXBYS, para la cual el indicador adelantado parece ir, de hecho, rezagado.

En la gráfica 10 se resumen todas las estructuras de correlación cruzada para cada uno de los anteriores ejercicios; para fines de comparación, se incluye también a la de SIC-INEGI. En ella encontramos evidencia que ratifica algunos de nuestros hallazgos anteriores. Para las series IGAE, ACTIND e IMPORT, se tiene que las tres parejas formadas muestran una correlación máxima superior a 0.9

para un rezago de dos meses. Tanto para estas como para la denominada IMSS, las correlaciones máximas son superiores en magnitud a nuestro *benchmark*, el SIC-INEGI, cuya correlación máxima a un rezago de cinco meses no rebasa el valor de 0.8. Para esta cuarta serie, la máxima correlación con su indicador adelantado ocurre para un rezago de cinco meses; en otras palabras, y contra lo que pudiera pensarse a partir de su autocorrelación con el IGAE, dicho indicador adelantado podría aportar una predicción con un adelanto de cinco meses, en promedio. Es, de hecho, la serie para la cual se tiene el mayor adelanto. En el caso

Gráfica 10

### Estructuras de correlación cruzada, seis ejercicios 1X6



Fuente: cálculos propios a partir de base de datos en <https://www.inegi.org.mx/app/reloj/#>

de la serie TDOU, en cambio, se tiene que el adelanto más correlacionado ocurre a un rezago de solamente un mes, con un valor de -0.85, que sigue siendo mejor que el mencionado *benchmark*. Finalmente, se ratifica que la serie INGXBYS marcha adelante del indicador adelantado que busca aproximarla.

Ahora bien, si entendemos el propósito general de nuestro ejercicio como el de obtener buenas aproximaciones para valores futuros de una o más series a partir de los valores presentes y rezagados de otras, vale la pena introducir un criterio que nos permita determinar el éxito o no con el que se alcanza este propósito, el cual, por supuesto, debe tomar en cuenta las sumas de cuadrados de los errores de aproximación que resultan para cada modelo y rezago. Sin embargo, ya que las escalas con las que se presentan los resultados del SIC son diferentes de las de los obtenidos de la aplicación de nuestra propuesta, decidimos estandarizar las mencionadas sumas de cuadrados dividiéndolas entre la suma de las varianzas de cada serie:

$$SC_k = \frac{\sum_{t=1}^{T-k} (IA_t - IC_{t+k})^2}{Var(IA_t) + Var(IC_t)}, \quad (5)$$

donde  $IA_t$  es el indicador adelantado e  $IC_t$ , el coincidente.

El cuadro 2 resume los valores del anterior criterio, tanto para el SIC-INEGI como para cada uno de los 1X6 ejercicios anteriormente mencionados, para cada uno de los primeros 10 rezagos. En su primera columna muestra lo que ocurre con el SIC-INEGI, alcanzando su valor mínimo para un rezago de cinco meses; cabe destacar que dicho valor se encuentra por arriba de 50. Por lo que toca a las series coincidentes, entre todas ellas destaca el pobre desempeño del pronóstico que busca aproximar valores futuros para la serie TDOU, lo que la ubica en una clase aparte; los del criterio incluidos presentan una tendencia a decrecer, pero para los rezagos mostrados no es perceptible que se alcance un valor mínimo. Tampoco observa un comportamiento deseable el pronóstico para

la serie INGXBYS que, como se recordará, parece adelantar a su indicador adelantado; tal vez por ello muestran una tendencia decreciente hacia valores negativos del rezago. De manera consistente con los patrones de correlación cruzada mostrados en la gráfica 10, el menor valor del criterio se ubica a un rezago de cinco meses. Ahora, contra lo que ocurre para el caso del SIC-INEGI, dicho valor ya se encuentra por debajo de 50. De esta forma

llegamos a identificar las tres series con mejores valores para el error de pronóstico: IGAE, ACTIND e IMPORT. Para las dos primeras, los óptimos se dan a un rezago de dos meses, en tanto que para la tercera ocurre casi un empate para los rezagos a dos y tres meses. Vale la pena destacar, sin embargo, que los valores del criterio a rezago cinco meses se encuentran todos por debajo de 50 para estas series y para la del IMSS.

Cuadro 2

**Suma de cuadrados estandarizada de residuales de pronóstico, 1X6**

REZAGO = $k$	SIC-INEGI	IGAE	ACTIND	INGXBYS	IMSS	TDOU	IMPORT
0	91.28	21.33	15.41	<b>61.71</b>	69.06	482.46	26.97
1	77.72	12.85	9.46	71.99	57.06	477.32	16.16
2	66.86	<b>8.87</b>	<b>7.14</b>	84.24	47.50	468.08	10.92
3	58.87	9.36	8.34	97.60	40.22	455.14	<b>10.87</b>
4	54.02	14.10	12.89	111.34	35.31	439.31	15.54
5	<b>52.50</b>	22.64	20.52	124.86	<b>32.85</b>	421.35	24.30
6	54.28	34.36	30.81	137.72	32.89	402.03	36.40
7	59.07	48.49	43.18	149.48	35.32	382.20	50.97
8	66.43	64.21	57.02	159.87	39.93	362.48	67.10
9	75.84	80.78	71.72	168.65	46.43	343.55	83.96

Fuente: cálculos propios a partir de base de datos en <https://www.inegi.org.mx/app/reloj/#>

Cuadro 3

Continúa

**Suma de cuadrados estandarizada de residuales de pronóstico, seis ejercicios 1X5. Se elimina TIIE**

REZAGO = $k$	SIC-INEGI	IGAE	ACTIND	INGXBYS	IMSS	TDOU	IMPORT
0	91.28	32.48	17.56	33.26	53.07	505.11	42.32
1	77.72	21.68	13.03	<b>32.26</b>	41.19	502.88	30.93
2	66.86	15.27	<b>12.12</b>	34.46	31.97	496.58	24.36
3	58.87	<b>13.56</b>	14.75	39.37	25.45	486.21	<b>22.47</b>
4	54.02	16.49	20.83	46.47	21.65	472.20	25.09
5	<b>52.50</b>	23.69	30.05	55.21	<b>20.57</b>	455.14	31.82

Cuadro 3

Concluye

**Suma de cuadrados estandarizada de residuales de pronóstico, seis ejercicios 1X5. Se elimina TIIE**

REZAGO = <i>k</i>	SIC-INEGI	IGAE	ACTIND	INGXBYS	IMSS	TDOU	IMPORT
6	54.28	34.50	41.90	65.11	22.16	435.85	42.06
7	59.07	48.08	55.71	75.65	26.26	415.39	55.00
8	66.43	63.60	70.73	86.44	32.58	394.78	69.76
9	75.84	80.30	86.30	97.12	40.77	<b>375.10</b>	85.58

Fuente: cálculos propios a partir de base de datos en <https://www.inegi.org.mx/app/reloj/>

Cuadro 4

**Suma de cuadrados estandarizada de residuales de pronóstico, seis ejercicios 1X4. Se eliminan TIIE y TICAM**

REZAGO = <i>k</i>	SIC-INEGI	IGAE	ACTIND	INGXBYS	IMSS	TDOU	IMPORT
0	91.28	40.57	29.81	110.59	71.19	487.58	33.02
1	77.72	30.27	22.74	99.84	60.13	486.21	23.39
2	66.86	23.88	18.85	90.48	51.52	481.23	18.03
3	58.87	<b>21.74</b>	<b>18.17</b>	82.20	45.42	472.63	<b>16.87</b>
4	54.02	23.82	20.75	74.69	41.83	460.71	19.70
5	<b>52.50</b>	29.72	26.42	67.91	<b>40.73</b>	445.88	26.11
6	54.28	38.85	34.77	62.03	42.06	428.71	35.55
7	59.07	50.46	45.20	57.16	45.67	410.03	47.39
8	66.43	63.86	57.13	53.42	51.32	390.70	60.97
9	75.84	78.43	70.08	<b>50.68</b>	58.66	<b>371.72</b>	75.68

Fuente: cálculos propios a partir de base de datos en <https://www.inegi.org.mx/app/reloj/#>

Cuadro 5

Continúa

**Suma de cuadrados estandarizada de residuales de pronóstico, ejercicios 4X4, 4X5 y 4X6**

REZAGO = <i>k</i>	SIC-INEGI	4X4	4X5	4X6
0	91.28	51.54	115.94	201.12
1	77.72	38.34	102.23	192.63
2	66.86	30.85	91.85	185.09
3	58.87	<b>28.98</b>	84.75	178.62
4	54.02	32.26	80.93	172.87
5	<b>52.50</b>	39.96	<b>80.36</b>	167.48

**Suma de cuadrados estandarizada de residuales de pronóstico, ejercicios 4X4, 4X5 y 4X6**

REZAGO = $k$	SIC-INEGI	4X4	4X5	4X6
6	54.28	51.17	82.66	162.28
7	59.07	64.86	87.58	157.24
8	66.43	80.10	95.07	152.58
9	75.84	96.04	105.01	<b>148.52</b>

Fuente: cálculos propios a partir de base de datos en <https://www.inegi.org.mx/app/reloj/#>

A partir de la discusión anterior, las series coincidentes INGXBYS y TDOU son candidatas para salir del análisis, por lo menos cuando el indicador adelantado considera a las seis así identificadas. Se llega a conclusiones semejantes cuando se excluyen en sucesión, de entre las adelantadas, a la TIIE y al TICAM (cuadros 3 y 4, respectivamente). A partir de ellas conviene señalar que los valores del criterio relacionado con residuales de pronóstico parecen crecer a medida que el tamaño del conjunto de series adelantadas se reduce.

A pesar de lo anterior, para los ejercicios que simultáneamente contemplan a las mencionadas cuatro series coincidentes, los residuales de pronóstico tienden a ser menores en magnitud a me-

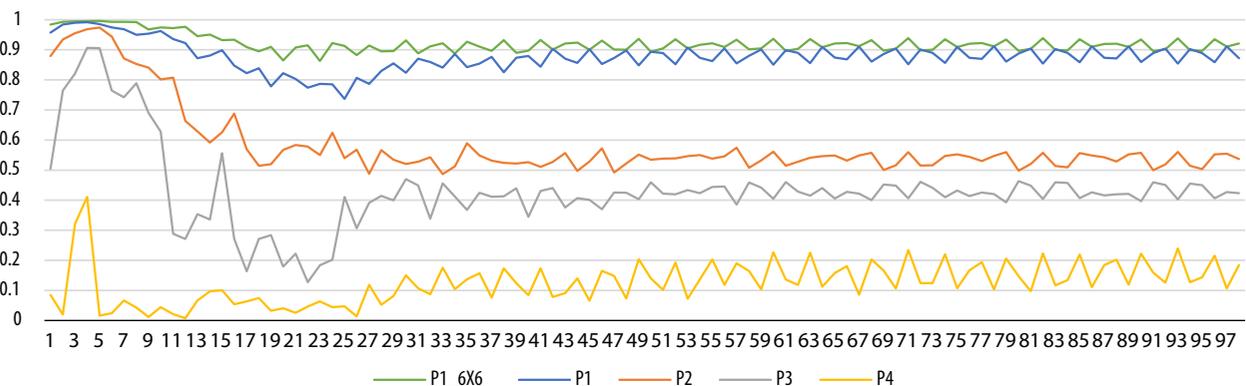
didada que el número de las adelantadas se reduce. El cuadro 5 da cuenta de este comportamiento.

### Propuesta para el sistema de indicadores compuestos, coincidentes y adelantados

A partir de los resultados discutidos en la sección anterior, concluimos que los mejores se obtienen cuando se eligen dos conjuntos de series, cada uno consistente en cuatro de ellas. El ejercicio 4X4 que presentaremos enseguida contempla a IGAE, ACTIND, IMSS, e IMPORT como el conjunto de las coincidentes; por su parte, entre las adelantadas se incluye a EMPMANUF, CONFEMP, IPCBMV y SP500.

Gráfica 11

### Cuadrado de la norma de las coherencias para los cuatro pares canónicos en ejercicio 4X4 y los del primer par canónico del 6X6



Fuente: cálculos propios a partir de base de datos en <https://www.inegi.org.mx/app/reloj/#>



Observamos a partir de la gráfica 11 que la eliminación de información da lugar a un decremento ligero en los valores del cuadrado de la norma de las coherencias para la primera pareja canónica en distintas frecuencias. En otras palabras, en términos de este criterio, los resultados que se presentan serían considerados subóptimos. La pérdida es más notoria para un conjunto de ciclos con una duración de entre siete y 20 meses, aproximadamente. En general, las restantes parejas canónicas muestran valores alejados del comportamiento óptimo; es decir, para este ejemplo es poco probable que contribuyan de manera importante al estudio del comportamiento cíclico de la economía.

La evolución conjunta de ICC e ICA, es decir, de los elementos del primer par canónico, se muestra en la gráfica 12. Como podrá observarse, la relación que guardan ambos es cercana a lo que se espera de ellos. Por supuesto, destaca su comportamiento deseable entre el 2008 y 2009. Hacia el final del periodo, los dos exhiben una tendencia decreciente que se inicia en octubre del 2018,

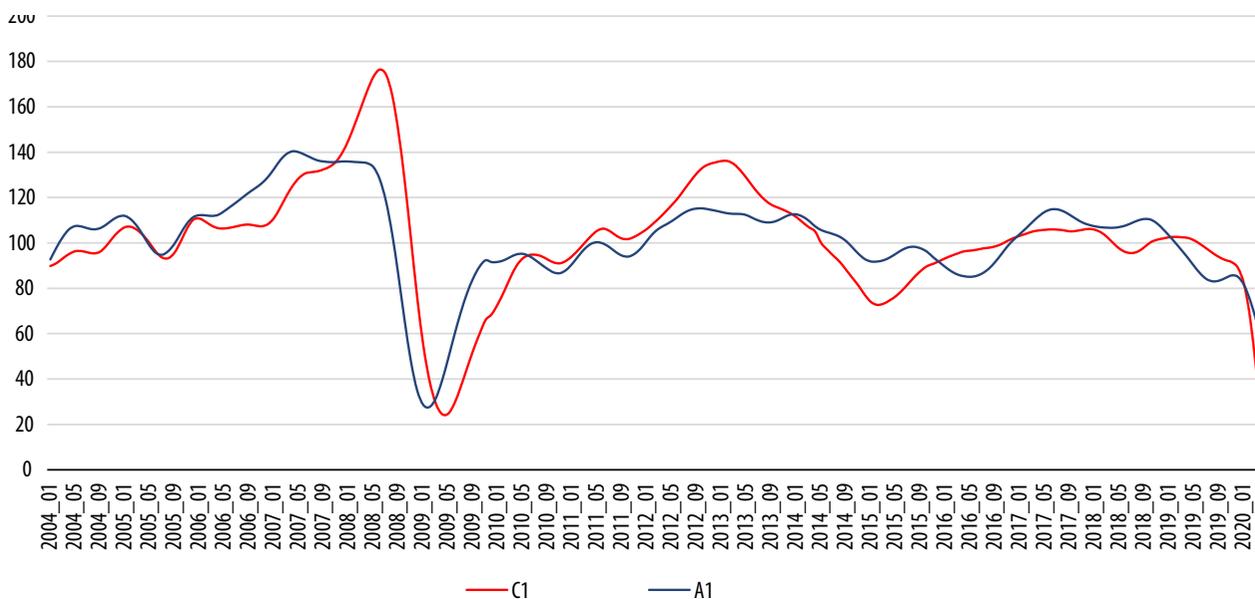
para el ICA, en tanto que el ICC comienza su caída entre diciembre de ese año y enero del siguiente.

Las estructuras de correlación para las cuatro parejas canónicas obtenidas en este ejercicio, así como para el SIC-INEGI, incluido con fines de comparación, se recogen en la gráfica 13. La débil relación lineal entre los elementos de los pares canónicos segundo, tercero y cuarto es puesta de manifiesto en dicha gráfica. Esta vez, sin embargo, la asociación entre los elementos de la primera pareja alcanza un valor máximo cercano a 0.85 para un rezago de tres meses, el cual resulta superior a los exhibidos por el SIC-INEGI a lo largo de los rezagos incluidos, todos ellos inferiores a 0.8.

Por lo que toca al criterio referente a la capacidad de pronóstico del indicador adelantado en relación con el coincidente, se tiene también que el nuevo sistema de indicadores es superior al SIC-INEGI, con un adelanto óptimo de tres meses. Solo, en la medida en la que nos alejamos de los respectivos óptimos, queda claro que nuestra propuesta no es uniformemente mejor.

Gráfica 12

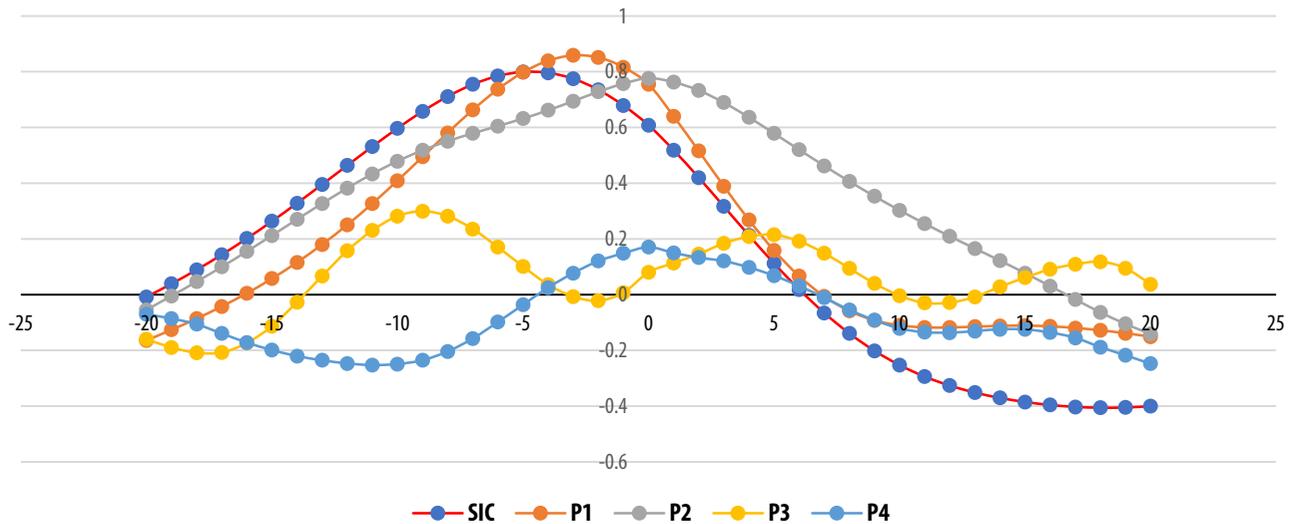
### Primer par canónico, 4X4



Fuente: cálculos propios a partir de base de datos en <https://www.inegi.org.mx/app/reloj/#>

Gráfica 13

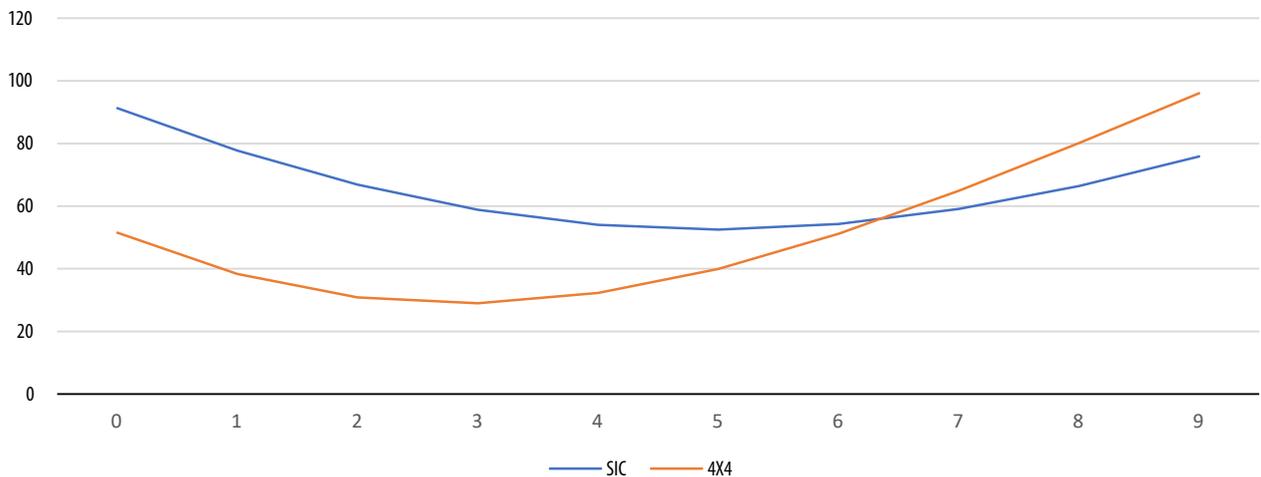
### Estructuras de correlación cruzada, SIC y cuatro pares canónicos



Fuente: cálculos propios a partir de base de datos en <https://www.inegi.org.mx/app/reloj/#>

Gráfica 14

### Suma de cuadrados estandarizada de residuales de pronóstico



Fuente: cálculos propios a partir de base de datos en <https://www.inegi.org.mx/app/reloj/#>

## La optimalidad en el dominio de las frecuencias no se traduce automáticamente en correlaciones cruzadas óptimas

Cuando discutimos las limitaciones del procedimiento propuesto, mostradas en el ejercicio 6X6, hicimos referencia a más de una hipótesis que las

explicara. Hasta ahora, nos hemos concentrado en los datos y sus limitaciones. Sin embargo, conocemos una segunda causa para la cual, sin embargo, no tenemos aún una respuesta adecuada. Nuestra propuesta procede resolviendo un problema de optimización, frecuencia a frecuencia. Como ya hemos indicado, la optimización correspondiente para cada frecuencia no parece conducir

necesariamente a comportamientos óptimos en el agregado representado por las inversas de Fourier. Esta vez, la sospecha recae en los mismos vectores propios que son solución a cada problema de optimización.

Los vectores propios son únicos, salvo por su multiplicación por un complejo de norma uno. Es fácil ver que, para la matriz Hermitiana  $\Phi_X(\lambda)$ , se debe tener que, en vista de la conmutatividad del producto de matrices diagonales, las igualdades en (6) son satisfechas. En ellas, las columnas de la matriz  $B(\lambda)$  son sus vectores característicos, la matriz diagonal  $\Delta(\lambda)$  está formada por los valores característicos correspondientes y  $E(\lambda)$  es una matriz diagonal arbitraria, cuyos elementos no nulos tienen la forma  $e^{i\theta_j(\lambda)}$ :

$$\begin{aligned} \Phi_X(\lambda) &= B(\lambda)\Delta(\lambda)\bar{B}^t(\lambda) \\ &= B(\lambda)E(\lambda)\Delta(\lambda)\bar{E}^t(\lambda)\bar{B}^t(\lambda). \end{aligned} \quad (6)$$

Dicha expresión da lugar a representaciones espectrales equivalentes para la matriz  $\Phi_X(\lambda)$ . Sin embargo, cuando dichos vectores característicos reciben un uso diferente, como en el caso que nos ocupa, los resultados pueden no ser tan favorables. No queda claro que el par de series canónicas  $\zeta_j(t)$  y  $\eta_j(t)$ , definidas en (7.1) y en (7.2), resulten ser invariantes cuando las fases para cada frecuencia pueden ser modificadas a capricho:

$$\begin{aligned} \zeta_j(t) &= \int_0^{2\pi} \overline{A_j(\lambda)}^t e^{i\lambda t} dZ_X(\lambda) \\ &\neq \int_0^{2\pi} \overline{A_j(\lambda)}^t e^{i(\lambda t - \theta_j(\lambda))} dZ_X(\lambda) \end{aligned} \quad (7.1)$$

$$\begin{aligned} \eta_j(t) &= \int_0^{2\pi} \overline{B_j(\lambda)}^t e^{i\lambda t} dZ_Y(\lambda) \\ &\neq \int_0^{2\pi} \overline{B_j(\lambda)}^t e^{i(\lambda t - \theta_j(\lambda))} dZ_Y(\lambda) \end{aligned} \quad (7.2)$$

En nuestro intento por traducir las rutinas al lenguaje R, hemos encontrado que los resultados pueden ser muy diferentes, tal vez por la misma razón. Los resultados discutidos con anterioridad fueron obtenidos haciendo uso de la rutina DEVCHF,

parte de la librería IMSL, originalmente escrita en Fortran, la cual resulta en vectores ortonormales y, aparentemente, impone la restricción de que la entrada con mayor norma del *eigenvector* sea forzada a tomar un valor real. En el caso de R, hemos recurrido a la función EIGEN, la cual, en adición a la condición de ortonormalidad, fuerza a la primera de las entradas de cada vector a ser un número real. En ambos casos, la operación es equivalente a multiplicar al vector por un complejo sobre la circunferencia unitaria. Esta parece ser la razón principal para la diferencia entre los resultados.

## Comentarios finales y conclusiones

Hemos mostrado una aplicación del procedimiento descrito por Brillinger al problema de desarrollar ponderadores óptimos para un sistema de indicadores cíclicos. A partir de nuestra discusión, queda claro que la optimalidad en el dominio de las frecuencias no se hereda de manera directa al del tiempo. Hemos descrito, también, cómo aprovechar la misma metodología para realizar una selección, de entre un grupo de indicadores candidatos, de los que pasarán a formar parte de la propuesta final. A pesar de lo anterior, arribamos a indicadores compuestos que se comparan favorablemente con las propuestas en operación hoy en día, con base en un conjunto de criterios deseables. En consecuencia, el procedimiento debe ser reemplazado, por lo pronto, por soluciones subóptimas, hasta en tanto se encuentren las condiciones que conduzcan desde la solución óptima en el dominio de las frecuencias, a la mejor en el del tiempo. Dichas condiciones habrán de reflejarse en propuestas de modificación de los resultados de diversas rutinas para el cálculo numérico de valores y vectores característicos. Nos encontramos explorando algunas alternativas prometedoras que esperamos poder reportar pronto.

El camino seguido para alcanzar los resultados presentados ilustra una forma para realizar una selección de los candidatos a integrar cada conjunto. En efecto, aun cuando las crestas y los valles mostrados por una serie anticipen o coincidan con

los de la de referencia, parece útil considerar otros aspectos, como los aquí discutidos antes de tomar una decisión. Por otro lado, en condiciones de alta volatilidad de los indicadores, parece necesario revisar la exclusión de algunas series o la inclusión de otras más.

Nuestra presentación se ha concentrado en aspectos econométricos y estadísticos de los sistemas de indicadores cíclicos. Ignoramos cuáles serían los resultados del SIC si en este momento se hiciera una selección semejante de los datos de entrada. Parece haber conciencia de que algunos de los indicadores considerados por este sistema han perdido, en el pasado reciente, su carácter de coincidentes o adelantados. Sin embargo, no se han tomado acciones para eliminarlos o reemplazarlos por otros. Ello no parece deberse a la deseabilidad de mantener la comparabilidad tanto en el tiempo como con otros países. En el primer caso, la eliminación de la tendencia mediante el uso del filtro de Hodrick-Prescott conduce a modificaciones de los valores de los indicadores aun en el pasado remoto, mes a mes; es decir, se actúa como si la comparabilidad a lo largo del tiempo se sigue dando a pesar de los mencionados cambios, pues se aplica el mismo procedimiento durante todo el periodo de observación, y ello nos parece razonable. En el segundo, se tiene que la selección de los indicadores básicos se realiza de manera independiente en cada país, por lo que tampoco parece preocupar la comparabilidad.

## Fuentes

- Box, G. E. P. y Jenkins, W. *Time Series Analysis: Forecasting and Control*. San Francisco, Holden-Day, 1970.
- Burns, A. F. y Mitchell, W. *Measuring Business Cycles*. National Bureau of Economic Research. Studies in business cycles, First Edition. 1964 (DE) consultado el 11 de noviembre de 2020 en: <https://www.nber.org/booksbyseries/SBC.html>
- Bustos, A. "Statistical Methodology for Leading Indicator Systems", en: *Bulletin of the International Statistical Institute*. Contributed Papers, Book I. 49th session. Florence, Italy, 1993, pp. 189-190.
- Brillinger, D. R. *Time Series, Data Analysis and Theory*. San Francisco, Holden Day, Inc., 1981.
- The Conference Board, *Business Cycle Indicators Handbook*, The Conference Board, 2001 (DE) consultado el 11 de nov. del 2020 en: <https://www.conference-board.org/publications/publicationdetail.cfm?publicationid=852>
- \_\_\_\_\_. U.S. *Business Cycle Indicators*. THE CONFERENCE BOARD LEADING ECONOMIC INDEX (LEI) FOR THE UNITED STATES AND RELATED COMPOSITE ECONOMIC INDEXES FOR SEPTEMBER. 2020 (DE) en: [https://conference-board.org/pdf\\_free/press/US%20LEI%20-%20Tech%20Notes%20OCTOBER%202020.pdf](https://conference-board.org/pdf_free/press/US%20LEI%20-%20Tech%20Notes%20OCTOBER%202020.pdf)
- Hannan, E. J. *Multiple Time Series*. New York, John Wiley & Sons, Inc., 1970.
- Hodrick, R. J. and E. C. Prescott. "Postwar U.S. Business Cycles: An Empirical Investigation", en: *Journal of Money, Credit and Banking*. Vol. 29, No. 1, Feb. Blackwell Publishing, 1997, pp. 1-16.
- INEGI. *Metodología para la construcción del sistema de indicadores cíclicos*, Instituto Nacional de Estadística y Geografía. 2.ª ed. México, INEGI, 2015 (DE) consultado el 11 de noviembre de 2020 en: [http://internet.contenidos.inegi.org.mx/contenidos/productos/prod\\_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/nueva\\_estruc/702825073961.pdf](http://internet.contenidos.inegi.org.mx/contenidos/productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/nueva_estruc/702825073961.pdf)
- Lahiri, K. and Moore, G. *Leading Economic Indicators*. Cambridge University Press, 1993.
- Mitchell, W. and Burns, A. F., "Statistical indicators of cyclical revivals", en: *Bulletin* 39. New York, NBER, 1938 (DE) consultado el 11 de noviembre de 2020 en: <https://www.nber.org/books-and-chapters/statistical-indicators-cyclical-revivals/statistical-indicators-cyclical-revivals>
- Morrison, D. F. *Multivariate Statistical Methods*. New York, McGraw-Hill Inc., 1967.
- OCDE. *OECD System of Composite Leading Indicators*. Paris, OECD, 2012 (DE) consultado el 11 de noviembre de 2020 en: <http://www.oecd.org/sdd/leading-indicators/41629509.pdf>
- Pollock, D. S. G. Trends, Cycles and Seasons: *Econometric Methods of Signal Extraction*. Working Paper No. 14/04, February. UK, University of Leicester, 2014a.
- \_\_\_\_\_. *Econometric Filters*. Working Paper No. 14/07. UK, University of Leicester, 2014b.
- \_\_\_\_\_. "Filters, Waves and Spectra", en: *Econometrics*. 6, 35, 2018 (DE) consultado el 11 de noviembre de 2020 en: <https://www.mdpi.com/2225-1146/6/3/35>
- Stock, J. H. y M. W. Watson. "New Indexes of Coincident and Leading Economic Indicators", en: Blanchard and Fischer (eds.). *NBER Macroeconomics Annual*. Volume 4. MIT Press, 1989.
- Yabuta, Y. *New tools for tracking the Mexican Business Cycle*, ESA/STAT/AC. 223/S3.5. Third International Seminar on Early Warning and Business Cycle Indicators, 17-19 November 2010, Moscow, Russian Federation, 2010 (DE) Consultado el 11 de noviembre de 2020 en: <https://unstats.un.org/unsd/nationalaccount/workshops/2010/moscow/AC223-S35.PDF>

# Una aproximación sistémica y geoespacial a las políticas territoriales de género

*A Systemic and Geospatial Approach  
to Territorial Gender Policies*

**María Margarita Parás Fernández\*** y **Claudia Tello de la Torre\*\***

\* Investigadora invitada Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI)-CentroGeo, mparas@centrogeo.edu.mx

\*\* Cátedra CONACYT-CentroGeo, ctello@centrogeo.edu.mx

**Nota:** reconocemos a Paulina Grobet Vallarta, coordinadora del Centro Global de Excelencia en Estadísticas de Género por sus valiosos comentarios al texto y agradecemos a ONU Mujeres y al INEGI su apoyo en esta colaboración.

<a href="https://www.freepik.es/fotos/negocios">Foto de Negocios creado por rawpixel.com - www.freepik.es</a> / rawpixel.com/ Freepik



En este artículo se destacan los aportes conceptuales, teóricos y temáticos de una propuesta metodológica para el análisis geoespacial de las políticas territoriales con perspectiva de género partiendo de ejes de conocimiento sistémico e información interdisciplinaria y transversal desarrollados desde tres puntos de partida: un enfoque sistémico territorial y de género, que implica la elaboración de metodologías trans e interdisciplinarias; un modelo de gestión de conocimiento e información y herramientas geoespaciales, orientado al diseño de políticas territoriales de género; y la experiencia de la integración de modelos, recursos de análisis, datos y comunicación para hacer visible hacia las personas interesadas y usuarios la dimensión de género en el territorio.

**Palabras clave:** género; modelo sistémico de información y conocimiento geoespacial; políticas territoriales; inter y transdisciplina

Recibido: 30 de marzo de 2021.

Aceptado: 14 de junio de 2021.

## Introducción

Las recientes iniciativas del Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) en alianza con ONU Mujeres proponen soluciones integradas para dar respuesta a los complejos desafíos que implican el impulso y la medición del progreso hacia el logro de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) propuestos en el 2015 por la Organización de las Naciones Unidas (ONU). Ello demanda la transformación de los sistemas económico-financieros, sociales y políticos, así como de acciones de todos los grupos de interés para garantizar los derechos humanos.

El enfoque territorial como marco conceptual se ha hecho más explícito en las propuestas y metas establecidas por las organizaciones globales y regionales en la búsqueda de promover un desarrollo social más inclusivo y sostenible. Sin embargo, quedan muchos retos respecto al logro de metas que implica la perspectiva de género, más

This article highlights the conceptual, theoretical and thematic contributions of a methodological proposal for the geospatial analysis of territorial policies with a gender perspective based on systemic knowledge axes and interdisciplinary as well as transversal information developed from three starting points: a territorial and gender systemic approach, which implies the elaboration of trans and interdisciplinary methodologies; a model of knowledge and information management, and geospatial tools oriented to the design of territorial gender policies; and the experience of integrating models, analysis resources, data and communication to make visible the gender dimension in the territory to interested people and users.

**Key words:** gender; geospatial information model; territorial policies; inter and trans-disciplinary.

allá de una retórica. Con ello se identifican propuestas como las de:

- No dejar a nadie atrás-marco de política: *ONU Mujeres-Women Count*.
- Objetivos de Desarrollo Sostenible: *Agenda 2030*.
- Capital territorial/planeación territorial/monitoreo: *ODS/OCDE/FAO*.
- Transversalidad de la perspectiva de género-estadísticas-información-investigación-planeación: *UN Women/CEPAL/UNSD*.
- Métodos de integración de estadística y geografía: *Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI, 2015), UN EG-ISGI (2018)*.
- Auge e importancia de la industria geoespacial/condiciones de acceso a datos digitales y servicios de información a grupos de personas y usuarios diversos.

En este sentido, los reportes sobre el monitoreo global del cumplimiento de la *Agenda 2030* de la

ONU se orientan en la necesidad de generar mediciones cuantitativas y cualitativas, así como indicadores, que den cuenta de la vida, las actividades y la seguridad de la población, y de las mujeres en particular, objetivos de esa institución (UNDP-UN Women, 2020; OECD, 2020).

Dichos indicadores deberán hacer explícitas las dimensiones temporales y espaciales en el análisis de temas como el empoderamiento económico, los sistemas de atención y la creciente violencia contra las mujeres y niñas (ONU Mujeres, 2018). En particular, es relevante tener marcos de conocimiento e información estadística y geográfica que permitan identificar y orientar estrategias, acciones y recursos hacia grupos en situación de vulnerabilidad, como las mujeres que han perdido su trabajo e ingresos formales y/o informales y, sin embargo, redoblan su tiempo y esfuerzo físico y emocional a tareas frente a las demandas de cuidados y atención.<sup>1</sup>

El objetivo de este artículo es reconocer la importancia del modelado y de la interrelación de los diversos procesos sociales y territoriales desde un enfoque sistémico, para lo cual se consideran diferentes marcos teóricos y metodológicos que permiten explorar e integrar tanto las temáticas desde el conocimiento y experiencia de personas expertas en temas de género como el potencial de las herramientas tecnológicas e innovadoras que se vinculan con la estadística, las ciencias de la información y el análisis geoespacial.

Cabe mencionar que el propósito central de este trabajo no es la producción y/o espacialización de datos o indicadores, más bien se refuerza con la referencia a algunos ejemplos, ejercicios y aplicaciones que contribuyen a la construcción de escenarios y su posible incidencia en las políticas públicas.

En la segunda sección del texto se expone la base conceptual de la propuesta, que incorpora una aproximación al enfoque de género y la impor-

tancia de abordarlo desde las dimensiones espacial y territorial, apuntando a la focalización de lo local.

En la tercera parte se presenta, de forma esquemática, el modelo de conocimiento e información para el diseño y la integración de políticas territoriales de género. Los elementos centrales de dicho modelo conectan los procesos del diseño conceptual inter y transdisciplinario con los diferentes niveles de instrumentación.

En la cuarta sección se consideran algunos ejemplos relacionados con los temas de género, como el empoderamiento económico de las mujeres y la relación con los sistemas de cuidado, además de la importancia de las ciencias de la información geoespacial como instrumento de gestión de información y datos a través de plataformas digitales y tecnología web.

El quinto apartado presenta la integración de la propuesta en el marco de las políticas públicas y el territorio, además de su potencial como enfoque para abordar otras problemáticas emergentes.

Finalmente, en las conclusiones se muestran algunos aportes metodológicos, limitaciones y retos implicados en la instrumentación de un metamodelo transdisciplinario para acercarse a diversas problemáticas de género en el territorio.

## **Importancia del enfoque territorial y espacial para las políticas de género**

Para abordar temas y problemas sociales como la pobreza y la afectación diferenciada en diferentes grupos de la población mundial, en particular su manifestación e impacto en las mujeres y niñas, se han propuesto enfoques que, desde una perspectiva amplia, se podrían categorizar en: necesidad, desigualdad, vulnerabilidad y exclusión.

Lo que es evidente es la complejidad del análisis; dadas las características heterogéneas y multi-

<sup>1</sup> Ver Reaching vulnerable population and groups - UNDP Covid-19 Data Futures Platform.

dimensionales de la pobreza, se pone en juego la combinación de causas y condiciones desde diversas perspectivas que se han desarrollado para su medición y/o tratamiento (CEPAL/UNIFEM, 2004), entre las que se encuentran:

- Monetaria: basada en el ingreso/consumo con respecto a una línea base.
- Incremento de acceso y gestión de capacidades de las personas para mejorar su bienestar.
- Exclusión social/participación social; carácter estructural.
- Empoderamiento de las personas en los ámbitos de su vida cotidiana y laboral.
- Acceso a recursos intangibles/capacidades (capital social y relaciones).
- Enfoque geográfico/contexto espacio-temporal; acceso a recursos naturales; tierra.

A partir de la discusión conceptual y operativa de dichas categorías, la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL) reconoce como pobreza de género y relaciones de poder aquellas que afectan a hombres y mujeres de diferentes maneras, siendo factores (como edad, etnia y ubicación geográfica, entre otros) que influyen en las condiciones de pobreza y aumenta la vulnerabilidad de las mujeres en particular. La naturaleza multidimensional de este fenómeno apunta sobre aspectos específicos que explican las desventajas sufridas por las mujeres: la invisibilidad del trabajo y los servicios domésticos no remunerados, el uso de tiempo asociado con dicho trabajo, la discriminación laboral y salarial contra la mujer, la importancia de los estudios de la familia desde la perspectiva de género y los desafíos para las políticas públicas (CEPAL/UNIFEM, 2004). Posteriormente, en el 2016, la CEPAL refuerza la visión del enfoque de la igualdad de derechos, señalando que: "... la igualdad se invoca en el marco de la consagración de la igualdad de derechos de todos los individuos, independientemente de sus orígenes, condiciones y adscripciones, y plantea no solo la universalidad de derechos civiles y políticos, sino también un horizonte de justicia distributiva en función del cual todos puedan disfrutar de los

beneficios del progreso y ser reconocidos como iguales en derechos y dignidad. Desde esta perspectiva se propone un desarrollo centrado en el valor de la igualdad con enfoque de derechos. 'Igualar para crecer y crecer para igualar' es la máxima que marca el espíritu de dicha propuesta (CEPAL, 2010a, 2012, 2014; Bárcena y Prado, 2016)...".

Desde el enfoque de género así planteado, se hace énfasis en la capacidad de agencia de la población en una lógica de derechos de las mujeres y los factores críticos que inciden en su empoderamiento y seguridad, optimizando las oportunidades y activos territoriales a partir de un desarrollo inclusivo y sostenible (ONU Mujeres, 2016). Asimismo, se distinguen las desigualdades de sectores de la población como multidimensionales e interseccionales (Echarri, 2020) relacionadas con capacidades y activos específicos.

Para desarrollar las políticas y programas necesarios para erradicar la pobreza y mejorar la salud, la educación y otros servicios básicos para la población, el lema principal de los 17 ODS es el de "No dejar a nadie atrás", que están fundamentados en los criterios de universalidad y solidaridad como respuesta a las desigualdades cruzadas. Con ello, en el reporte *Hacer las promesas realidad* (ONU Mujeres, 2018), se hace énfasis en el carácter universal de la *Agenda 2030* y el compromiso establecido con el lema para mejorar la vida de las personas que se encuentran más rezagadas y crear sociedades inclusivas y economías sostenibles. Por lo tanto, se enfatiza que la desigualdad perjudica a todas las personas, es una amenaza para la estabilidad social y política, un obstáculo para el crecimiento económico, una barrera para el avance en la reducción de la pobreza y, desde un punto de vista más general, para la materialización de los derechos humanos.

En cuanto a las *formas de desigualdades cruzadas*, observadas en todos los países, las mujeres y niñas experimentan múltiples maneras de discriminación por su sexo, edad, clase social, capacidad, raza, origen étnico, orientación sexual, identidad de género y estatus migratorio, temas que sirven



para fortalecer las estrategias para no dejar a nadie atrás, desde la generación de solidaridad, considerando en esta cualidad: asumir el riesgo, la redistribución y la ejecución de programas específicos, evitando la fragmentación y estigmatización.

A partir del monitoreo de los indicadores de la *Agenda 2030*, el proyecto TReNDS (2020) concluye que las fuentes de datos tradicionales, como encuestas en hogares y censos de población, presentan una variedad de desafíos geográficos, temporales y logísticos para incorporar información poblacional fiable y oportuna, vinculada a la ubicación de las personas y, de esa manera, asegurar que todos sean contados y que nadie se quede atrás. A esto se refiere la importancia de desarrollar novedosos modelos y recursos de gestión de datos estadísticos y geoespaciales.

Desde la evaluación de los ODS en el 2018, se advierte que "... solo se puede hacer un seguimiento fiable a nivel mundial de 10 de los 54 indicadores relacionados con la cuestión de género. Se identificaron otros 24 indicadores, cuyas metodologías establecidas eran insuficientes para una cobertura nacional, y los 17 indicadores restantes precisaban de un cierto grado de elaboración conceptual o desarrollo metodológico antes de poder ser utilizados..." (ONU Mujeres, 2018, p. 16).

En términos de esta propuesta se ofrecen marcos conceptuales y operativos como puentes hacia las políticas, los contextos y los desafíos locales para lograr un crecimiento más inclusivo, social y espacial desde los planteamientos esbozados por diferentes organismos internacionales, como ONU Mujeres, la CEPAL, la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, por sus siglas en inglés) y la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE), así como por la Unión Europea. Para un ejercicio práctico, se puede consultar el Plan Estratégico del Centro Global de Excelencia en Estadísticas de Género (CEEG ONU Mujeres e INEGI, 2018), así como los trabajos de Parás, Tello y Grobet (2021) y Sánchez *et al.* (2020), que aborda el desarrollo de elementos potenciales para la

creación de nuevos indicadores que posibiliten la presentación de la información a diferentes escalas espacio-temporales.

Como parte de este proceso, resalta el principio de la transversalidad en las políticas de género, ya que se integran las experiencias, necesidades e intereses de mujeres y hombres para que el beneficio sea equitativo, evaluando las implicaciones de cada acción sobre ambos grupos y de forma conjunta en todo el ciclo de las políticas. Este enfoque demanda la articulación con otros actores del entorno institucional y de la sociedad civil, así como la participación de actores no tradicionales en el desarrollo de estas. "En la fase inicial de la planificación, un análisis con enfoque de género permitirá, entre otras cosas, identificar los aspectos relacionados con el problema o la situación insatisfactoria que se propone cambiar en un territorio determinado, incorporando la percepción que sobre el problema o la situación tienen hombres y mujeres, y las demandas específicas de sexos para una propuesta de desarrollo..." (CEPAL, 2016, p. 2).

### **Estructura, dimensiones e interacciones en las políticas basadas en el lugar**

Desde inicios del siglo XX, se han desarrollado propuestas que consideran los enfoques de las relaciones de género teniendo una profunda influencia en la construcción de los espacios (la geografía), de los lugares y viceversa. La organización social y cultural de los espacios/lugares son una manifestación de dichas relaciones, de las identidades y los papeles que se asignan a mujeres y hombres en la vida reproductiva y productiva. Refleja la forma en la que el género es construido y entendido de manera que existe una retroalimentación de las limitaciones en la movilidad espacial, el confinamiento a sitios específicos y las delimitaciones en términos de espacio/identidad en las mujeres y niñas (Massey, 1994, p. 179)

En términos generales, lo que se ha demostrado a lo largo de la historia es que el control de los

lugares, espacios y la movilidad, impuestos por convención o simbolismo o mediante la amenaza de la violencia hacia las mujeres, ha representado un papel constitutivo del género en sus muy variadas formas. Ahora bien, desde esas identidades, se han construido diversas geografías y lugares con manifestaciones en los sistemas económicos, políticos, culturales, ecológicos, etc., dando pie a desigualdades e inequidades y variaciones regionales.

En este contexto, es pertinente preguntarse, ¿cuál es el vínculo de territorio y género? y ¿cómo confluyen las características territoriales y socio-institucionales en cada una de las temáticas y problemas de género? Toda vez que el sistema se hace más complejo y las condiciones espaciales pueden amplificar, obstruir o contrarrestar el resultado deseado o la eficacia de las políticas, el enfoque territorial del desarrollo puede aportar respuesta a algunas de las preguntas formuladas en torno a las brechas y su manifestación en problemas de desigualdad, feminización de la pobreza, exclusión, empoderamiento-cuidados y derechos de las mujeres, violencia, etc. (ONU Mujeres, 2015). La integración del enfoque territorial se relaciona tanto directa como indirectamente con los efectos de la política orientada a un desarrollo basado en el lugar,<sup>2</sup> bajo la promoción y sensibilización de los diferentes actores sociales, sobre la necesidad de intervención y mejora de los programas y la formulación de políticas públicas. Igualmente, considera la heterogeneidad de los problemas con enfoque de género y, en particular, la variabilidad espacial.<sup>3</sup> Una estrategia de desarrollo a largo plazo en lugares específicos tiene como objetivos:

- Reducción de la desigualdad, medida por el porcentaje de personas por debajo de una pauta de bienestar y/o de las disparidades interpersonales.

2 Para ahondar más en el enfoque basado en el lugar o *Place Based Approach*, ver CSIL, 2015; O'Brien *et al.*, 2015; Barca *et al.*, 2012.

3 ONU Mujeres (2015-2021). Resúmenes y documentos de política: empoderamiento económico, igualdad de género y empoderamiento de las mujeres, políticas macroeconómicas.

- Reducción de la persistencia de la desigualdad e ineficiencia de los instrumentos actuales, medida por la subutilización del potencial.
- La producción de paquetes de bienes públicos integrados y adaptados al lugar.
- Provisión de servicios, diseñados y orientados a las preferencias y conocimientos locales, a través de instituciones políticas participativas, así como el establecimiento de vínculos con otros sitios.
- Un sistema de gobernanza multinivel, promovido y diseñado desde fuera del lugar, donde subvenciones universalmente disponibles se transfieren de niveles superiores a inferiores de gobierno para promover resultados estables y equitativos entre localidades. Este último especifica que el desarrollo basado en el lugar interpreta el nivel local de una manera institucional y espacialmente integrada (Moulaert *et al.*, 2005).

Es decir, el lugar o lo local no se considera como un territorio delimitado y separado de lo global, en términos de las posibles propuestas de solución a determinados problemas. Muchos desafíos locales surgen de la dinámica de la economía y las políticas globales, ya que algunos factores externos estructuran trayectorias locales, por lo tanto, lo local no es un área autónoma ni homogénea. Más bien, es un lugar distintivo y diferenciador que participa de las interacciones de la comunidad y los flujos entre e intraterritorios.

La perspectiva basada en el lugar ofrece un análisis dinámico *interescalar* del cambio territorial (OCDE, 2006; Brenner *et al.*, 2003). Explora las relaciones entre actores de la sociedad civil, Estado y mercado en la construcción de nuevos sistemas de gobernanza y estrategias de desarrollo. El enfoque cambia de las dicotomías de centralización y descentralización del poder a compromisos negociados entre los principios de condicionalidad y subsidiariedad. El desarrollo basado en el lugar depende de instituciones intermediarias inteligentes y con recursos adecuados para tender puentes entre el gobierno y la sociedad civil (Mendell y Neamtan, 2016).

En la práctica, el desarrollo basado en el lugar se ha caracterizado por la búsqueda de soluciones a procesos que incorporen o creen riqueza a partir de recursos en lo local, en el contexto de las relaciones sociales y redes institucionales. Por otra parte, este enfoque debe impulsar los activos de las comunidades, así como ampliar innovaciones sociales impulsadas por las mismas, y reestructurar las relaciones y acuerdos entre instituciones locales, municipales y/o estatales.

La propuesta conceptual y metodológica, como parte de una estrategia territorial y geoespacial, pone de relieve las condiciones para el fortalecimiento de la comunicación y las acciones colaborativas y participativas de los actores involucrados, reconociendo las demandas y promoviendo su participación en la construcción, diseño e implementación de políticas con enfoque de género.

En particular, se propone considerar aspectos que derivan de las dimensiones territoriales y geográficas, como:

- La funcional, la dimensión relacional y la distributiva.
- La lógica espacial, incluyendo modelado espacio-temporal.
- Las redes y patrones de comportamiento.
- La integración del análisis geoespacial, simulación y construcción de escenarios (Barr *et al.*, 2016).

No obstante, el aumento de los ejercicios e intentos por incluir la dimensión territorial, así como las complejas interacciones, intervenciones y soluciones a problemas consistentes con este enfoque (por ejemplo, en la Unión Europea), la incorporación interdisciplinaria de diversos marcos conceptuales y su relación con las políticas públicas de género continúa siendo un reto a todos los niveles de decisión y para los actores involucrados. Las dificultades para la adopción de políticas forman parte de los procesos que se desarrollan en la dimensión socio-institucional, la gobernanza, la toma de decisiones, los resultados y la evaluación de los mismos.

## Modelo para el diseño y la integración de políticas territorial y de género

La metodología propuesta se orienta en el desarrollo de un enfoque inter y transdisciplinario, territorial y sistémico para atender los requerimientos de conocimiento e información de políticas de género centradas en indicadores sobre las desigualdades de género y las discriminaciones cruzadas. Siguiendo los enfoques territorial y de género, expuestos en el apartado anterior, se recurre a la instrumentación de un diseño transdisciplinario, cuyo proceso (ver esquema 1) permite identificar ejes de conocimiento y generación de información con enfoque de género, acorde con los objetivos de la política. Para esta propuesta, hemos considerado los ODS de la *Agenda 2030* de la ONU.

La transversalidad temática y transdisciplinaria en el diseño del modelo apunta al análisis integral de los procesos de los temas de género en el territorio que permitirán incorporar estadísticas económicas, sociales, demográficas, laborales y espaciales en un esquema organizado, contribuyendo a describir e identificar las posibles medidas de acción y colaboración entre los actores involucrados en la toma de decisiones. Se considera el potencial de las ciencias de la información geoespacial o geomática y las mejores prácticas, que apoyan a las propuestas de política pública, reconociendo contextos y desafíos locales.<sup>4</sup>

El proceso transdisciplinario, como ya se ha apuntado, es aquel que construimos en cada momento en la conversación y en el intercambio de narrativas desde el conocimiento y la información, además de los propósitos que guían tanto la visualización como la generación de alternativas y oportunidades en el quehacer de una política pública, desde lo local.

4 Diseño e instrumentación de metodologías para la integración de un marco de conocimiento territorial transversal a los procesos de generación, representación, análisis y comunicación de la información estadística y geográfica de género que promueve el CEEG ONU Mujeres e INEGI (Parás, 2019-2020).

La metodología no se sustenta en conceptos fijos ni en fórmulas que pretenden confirmar sus resultados antes de llevar a cabo este proceso. Integrar diferentes puntos de vista es, pues, un arte y es un gran reto, dado que habrá que considerar que cada una de las personas, tecnologías y marcos de referencia proveerán conceptos e instrumentos desde su conocimiento y experiencia. No se pretende plantear una teoría o metodología completa en un dominio definido del saber, más bien, supone llegar a consensos sobre principios conceptuales comunes, en la identificación y la expresión de problemas sociales en el territorio y la construcción de puentes entre experiencias, conocimiento, información y datos con los procesos de las políticas (usuarios principales), y aplicarlo para los temas de género.

El metadiseño transdisciplinario es una organización del proceso social estudiado que comunica la experiencia de la sociedad como producto de la creatividad y el conocimiento experto y tácito, adquirido y adaptado progresivamente a los cambios en su entorno (Parás y López, 2017a). Este modelo conceptual es resultado de la integración de los procesos de interacción de gestores de información y de instancias políticas, instituciones y grupos de la sociedad que aportan su perspectiva y conocimientos.

Siguiendo el esquema 1, destacan los objetivos que guían los procesos y la influencia entre las dimensiones (señaladas en color) y que se interaccionan con los procesos desarrollados en los esquemas que se muestran en los siguientes apartados:

Esquema 1

### Modelo del diseño integrado de conocimiento e información



Fuente: elaboración propia con base en Parás, Tello y Grobet (2021); diseño gráfico de Rafael García.

- **POLÍTICA PÚBLICA:** objetivos de las políticas; relación con los diferentes actores desde un marco institucional; retroalimentación transversal género-territorio (ver esquema 3).
- **TEMÁTICA DE GÉNERO:** modelos de conocimiento (ver esquema 2); empoderamiento/cuidados; indicadores geoestadísticos; análisis espacio-temporal.
- **TERRITORIO:** patrones territoriales; nivel de especificidad y escala espacial; focalización local de instrumentos de política.
- **TECNOLOGÍAS GEO WEB:** gestión de la información; visualización; comunicación (ver esquema 4).
- **GOBERNANZA:** el papel de las redes de conocimiento y actores principales; creación de beneficios, las condiciones territoriales y otros activos que afectan la generación de impactos de una política.

En los siguientes apartados del artículo se documentan y amplían los procesos de instrumentación y comunicación de los componentes principales de este modelo, enfatizando su carácter sistémico y cibernético (ver esquema 4). Es importante reconocer que, dada la complejidad de los sistemas sociales, estos son difíciles de modelar, controlar o predecir. Al observar el mismo fenómeno desde diferentes puntos de vista, es posible identificar nuevas características o problemas emergentes (Holland, 1998) vinculadas al contexto experiencial.

### Ejes del diseño y desarrollo metodológico

En el proceso de modelado, consideramos al territorio como la construcción del espacio social y su consecuente manifestación en el medio construido, en las transformaciones geográficas (topográficas y morfológicas) y en los paisajes culturales (Parás, 2016). Es a nivel territorial (regional/local) que podemos identificar y ponderar los problemas sociales que abordamos y las potencialidades de las soluciones propuestas, su representación y visualización cartográfica, la integración de la

variedad, la complejidad del contexto y la funcionalidad espacio-temporal de los diversos procesos, definidos por los objetivos de las políticas (Parás, 2008; Parás *et al.*, 2016; Parás y López, 2017a).

Los ejes centrales para el diseño son:

- Modelar a partir de los marcos de conocimiento interdisciplinarios sobre las desigualdades territoriales que surgen del análisis de los problemas de género.
- Reconocer el potencial del análisis geoespacial y el uso de tecnologías geoespaciales para la gestión de las estadísticas de género considerando las diversas fuentes de información, modelos y datos.
- Hacer visible hacia los usuarios la dimensión de género en el territorio integrando recursos de análisis, de comunicación y las tecnologías web.

Estos ejes deberán servir como articuladores en la construcción de una red de actores y conceptos que organizan, coordinan e integran los modelos cuantitativos, matemáticos, físicos y estadísticos o heurísticos, que se requerirán en las propuestas y respuestas y del sistema a modelar. Esta red semántica, en su conjunto, se ha llamado *Red Emergente de Conocimiento* (López *et al.*, 2014) y debe reflejar una visión holística del territorio desde la integración de diferentes perspectivas y actores involucrados en el diseño y las soluciones a las problemáticas planteadas.

En este diseño se busca hacer explícitas las narrativas cualitativas y cuantitativas de los grupos de interés, comunicar y dar cuenta de las prácticas y espacios de la vida cotidiana de las mujeres y niñas, identificando relaciones e interacciones, así como accesibilidad a recursos y servicios.

La escala espacio-temporal en la que se desenvuelven estos procesos sociales es relevante, toda vez que se asocia al tratamiento específico de cada una de las categorías en los estudios de género: individuo, hogar, comunidad y región.

Este modelado y sus aplicaciones son fundamentales para el diagnóstico, diseño, monitoreo y evaluación de políticas públicas y programas. La información resultante aportará tanto al monitoreo como al desarrollo de indicadores regionales y locales de los ODS de la *Agenda 2030*. A partir del diseño del modelo de gestión del conocimiento e información, se hace énfasis en el modelaje y análisis desde la integración de las ciencias y tecnologías geoespaciales (GISc).

### **Niveles de instrumentación y comunicación del modelo integrado para el diseño y la gestión de políticas territoriales de género**

Para hacer frente al estudio de problemas sociales, en este diseño se consideran el conocimiento científico (explícito y formal), así como la experiencia de la sociedad, producto de la creatividad y el saber tácito, adquirido y adaptado progresivamente a los cambios en su entorno.

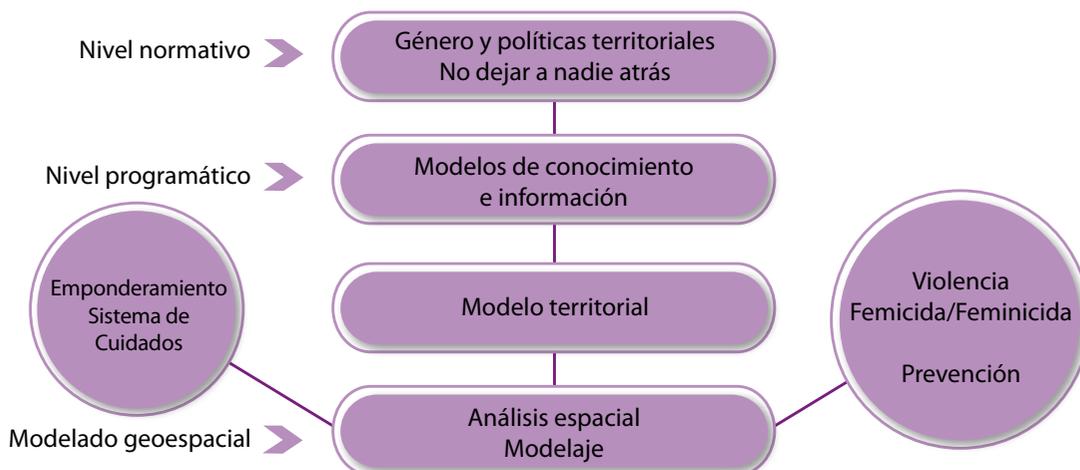
El valor principal de la metodología (Parás y López, 2017a) consiste en sintetizar e integrar una visión espacio-territorial de problemáticas de género —por ejemplo, del empoderamiento económico de las mujeres (CEEG ONU Mujeres e INEGI, 2019a)—, que permita ir más allá de las mediciones de indicadores para el seguimiento de los ODS en el nivel nacional, para incorporar los patrones territoriales y las brechas generadas por las desigualdades de género y la discriminación cruzada (Echarri, 2020), revelando la importancia de la generación y exploración de datos desagregados a nivel subnacional y con base municipal y/o local.

Si seguimos el modelo base, planteado en el esquema 2, destacamos los siguientes niveles jerárquicos en la gestión del conocimiento derivado de la integración interdisciplinaria (ascendentes, desde la base hacia arriba) y guiados por objetivos y valores de la sociedad (descendientes, de arriba hacia abajo):

- I. Nivel normativo. Este corresponde a los requerimientos del(los) demandante(s) social(es) principal(es) de la investigación/proyecto, quien(es), junto con los expertos, plantea(n) el problema y las necesidades/prioridades socioambientales de las políticas, estableciendo así el enfoque de la solución. A partir de esto se definen los ejes conceptuales que guiarán:
  - a. El diseño, el modelo de análisis.
  - b. La gestión de la información estadística y geográfica.
  - c. Los escenarios.
  - d. La instrumentación de resultados.
  - e. Las políticas.
- II. Nivel de gestión o marco pragmático. Es el que comprende los sistemas socioambientales con sus múltiples interacciones territoriales, incluidas las relaciones con los de la tecnología. En este nivel se lleva a cabo un análisis cualitativo y de requerimientos, base para los términos de referencia y recursos requeridos para ejecutar el proyecto específico:
  - i. En este nivel pragmático se integra la red emergente de personas expertas y usuarias con conocimiento y/o experiencia en la problemática a tratar (modelos de conocimiento especializado), que vincula a quienes son especialistas en ciencias sociales con aquellos agentes que desarrollan la investigación y gestión de estadísticas de género y análisis geoespacial, quienes llevarán adelante el análisis del contexto sociodemográfico, económico, político, cultural y territorial. El desafío para los agentes sociales involucrados en el diseño de una solución es poder negociar y crear consenso con respecto a los objetivos del grupo y los métodos para lograrlos, yendo más allá de los intereses individuales, donde el territorio es el agente que conecta a esta red de conocimiento.
  - ii. Nivel de la comunicación y el establecimiento de los lenguajes y reglas de la conversación. Se exploran los temas eje y conceptos claves consensuados por parte de los expertos. El lenguaje de organización es el de

**Esquema 2**

**Niveles normativos, programático y de modelado para la gestión del proyecto de género**



Fuente: elaboración propia con base en CEEG ONU Mujeres e INEGI, 2019a; Parás Tello y Grobet, 2021.

la cibernética, incorporando los procesos de control, retroalimentación, modelado y comunicación de modelos de conocimiento (especialistas en los temas de estudio); visión territorial (conceptual y técnica). Para ello, se han establecido reglas para lograr la convergencia en la construcción de estos y las posibles soluciones al problema planteado, de manera que cada uno de los especialistas y actores sociales/demandantes deberán explicitar su conocimiento de la problemática en el nivel de su experiencia, y el diálogo o la conversación entre la red de conocimiento debe centrarse en el territorio, en un nivel conceptual y de experiencia. Por último, los involucrados en la problemática deben cooperar y tener empatía al intercambiar conocimiento e información. (Parás y López, 2017b).

iii. Explicitación del modelo geoespacial y diseño de la solución tecnológica. Diseño para el nivel computacional de la red de artefactos y sistemas tecnológicos que se requerirán. Se integran los sistemas de información geográfica (SIG) para el desarrollo de soluciones de análisis de datos geoespaciales siguiendo las premisas básicas planteadas en la metodología (Reyes, 2005; Reyes y Parás, 2012):

- Metasistema. Etapa de conceptualización en la que se considera el análisis de requerimientos del usuario, así como la especificación de los marcos generales de modelado, análisis y comunicación del contenido geoespacial.
  - Modelado del sistema. Incluye la selección de los modelos necesarios para el diseño de la solución, como los computacionales, geográficos, visuales y cartográficos.
  - Solución tecnológica. Estrategia que satisfaga las necesidades de la solución planteada. Incluye las tecnologías de información y comunicación disponibles para la integración de plataformas tecnológicas GEO WEB.
- iv. Modelo de gestión del conocimiento y gobernanza de los sistemas de la tecnología y de la información. Desde la propuesta metodológica se establecen las etapas del análisis de acuerdo con las preguntas e hipótesis principales:
- a) Descripción del caso, necesidades y/o problemáticas detectadas (visión del usuario).
  - b) Exploración de posibles escenarios de análisis, dimensiones y de los datos disponibles (cuantitativos y cualitativos):

- Planificar sobre las narrativas y los modelos de conocimiento, lo que se quiere mostrar, explicar y medir (uso de imágenes, multimedia, sonidos, etcétera).
  - Analizar la información y los datos y aplicación de modelos.
  - Asociación con otras variables o dimensiones del contexto.
  - Construir indicadores.
- c) Interpretar los resultados y establecer puentes que comuniquen y logren dar cuenta de los fenómenos a través de la visualización de escenarios y posibles soluciones y/o recomendaciones de mejora.
- d) Utilizar la información y los resultados en la toma de decisiones y el establecimiento de metas.
- e) Planificar, así como asignar los recursos focalizados.
- v. Marco operacional/organización. Discusión tanto de las estructuras institucionales como de las infraestructuras tecnológicas: integración/fragmentación; interoperabilidad/difunción.
- III. Criterios de evaluación de la puesta en marcha de la propuesta metodológica y de las condiciones para su instrumentación.

En los temas de género, para abordar cada uno de estos niveles, se propone como criterio general y transversal de política para atender la demanda de la sociedad y la solución a diversos problemas el lema de "No dejar a nadie atrás" (CEEG ONU Mujeres e INEGI, 2019a).

### **Marco territorial y espacial en la instrumentación temática de género**

Esta metodología aporta a la construcción de un marco de referencia espacio-temporal que parte de las definiciones internacionalmente acordadas en los ODS vinculados a los temas de género, expresados en varios de los indicadores de la *Agenda 2030*, con múltiples dimensiones.

Un tema específico y ampliamente estudiado ha sido el empoderamiento económico, que incluye elementos como el acceso a ingresos propios, trabajo remunerado y protección social, a los que las mujeres acceden de manera desigual debido a la distribución inequitativa del trabajo remunerado y no remunerado y de las actividades y servicios de cuidados, afectándolas en todos los estratos económicos (ONU Mujeres, 2017). Con el fin de analizar los factores del empoderamiento económico de las mujeres, es preciso reconocer la interrelación entre los ODS 1 (pobreza), 5 (igualdad de género), 8 (trabajo decente y desarrollo económico) y 10 (reducción de las desigualdades) para abordar de manera interseccional formas de discriminación cruzadas que afectan sobre todo a las mujeres más pobres y las indígenas, quienes habitan en áreas marginadas o de difícil acceso, entre otras (Orozco y Gammage, 2017; Echarri, 2020). Por ejemplo, la metodología se puede instrumentar abordando la dimensión laboral del empoderamiento económico de la población femenina que, desde una perspectiva económica, incorpora la noción del uso del tiempo y del trabajo total (remunerado y no remunerado), con énfasis en la relación con el trabajo de cuidados y sus determinantes, así como con la dimensión territorial del mercado laboral (Tello, 2019).

### **Instrumentación temática: empoderamiento y cuidados, un ejemplo desde el modelo conceptual territorial de género**

El estudio del empoderamiento económico de las mujeres reconoce que sus oportunidades de empleo son desiguales en función de su lugar de residencia debido a que múltiples elementos representados a través de un conjunto de variables físicas y geográficas (Vadrevu y Kanjilal, 2016) convergen en un territorio determinado para dar forma al entorno y medio ambiente. Existen tres niveles en los que pueden tener lugar cambios que facilitan el empoderamiento de las mujeres: personal, relacional y en el entorno. Los personales se refieren,



principalmente, a la autopercepción y confianza, mientras que los relacionales implican modificaciones en las relaciones con la familia y la comunidad, en tanto que los cambios en el entorno son las adecuaciones en la estructura de organización social y las instituciones (Kabeer 1999, ICRW 2011, Orozco, 2018).

En relación con los sistemas de cuidados, se debe destacar su conceptualización en conjunción con instrumentos jurídicos y legislativos, por ejemplo, en algunos países de América Latina, como sucede en Uruguay (Ley No. 19353, 2015; Rico y Segovia, 2017 ) y en México con la aprobación del Sistema Nacional de Cuidados (Congreso, 2020), y distinguir que los sistemas de cuidados y atención recaen en el trabajo no remunerado de las mujeres al interior de los hogares y en las redes de cuidado informales, más que en esquemas de responsabilidad social. Esta situación contribuye a la reproducción de cargas de cuidados desiguales, afectando principalmente a las mujeres (Elson, 2017; UN Women, 2018).

Puede advertirse que estas distinciones establecen que los servicios de cuidados, así como su disponibilidad, calidad y accesibilidad, están fuertemente relacionados con las posibilidades de obtener un trabajo remunerado de las mujeres y, por ende, del reconocimiento, aumento o reducción y redistribución de este (CEEG ONU Mujeres e INEGI, 2019a).

Frente a este escenario, las políticas orientadas a disminuir las cargas del trabajo de cuidados de las mujeres se habían considerado como recurso para reducir las brechas de género en la participación en el mercado laboral (UNECE, 2014; ONU Mujeres, 2018). En el 2020, con la situación emergente y decreto de pandemia por el SARS-CoV-2 y la enfermedad COVID-19, ha sido necesario prestar atención a los aspectos de la definición y medición de indicadores del trabajo remunerado y no remunerado y que relacionan el uso del tiempo dedicado a las actividades de cuidados dentro y fuera del hogar, específicamente de las mujeres y las niñas (ONU Mujeres, 2020).

Siguiendo el modelo transdisciplinario para la gestión del conocimiento y la información territorial y de género, se ofrecen las premisas básicas que guiarán el análisis y la representación geoespacial de algunos factores relacionados con el empoderamiento económico de las mujeres y su relación con las actividades de cuidados (CEEG ONU Mujeres e INEGI, 2019a). El modelo conceptual que se sugiere, como marco de conocimiento temático, incluye un conjunto mínimo de actividades y productos que habrán de tomarse en consideración para el análisis:

- El marco analítico de la oferta laboral y la generación de ingresos de las mujeres y su relación con los cuidados y el entorno, desagregado a nivel municipal.
- La definición de los indicadores clave para medir empíricamente las dimensiones conceptuales del empoderamiento económico y su relación con el trabajo no remunerado de cuidados, lo que implica la detección de las fuentes de información oficiales que son relevantes.<sup>5</sup>
- El procedimiento para generar estadísticas y medidas de correlación geoespacial que brinden información sobre la relación entre el potencial de empoderamiento económico y las distintas dimensiones expresadas en el marco conceptual.

### ***Análisis de la participación laboral de las mujeres en el mercado de trabajo***

En comparación con la participación laboral masculina, la femenina se asocia con un conjunto de factores que caracterizan a las personas, los hogares y el entorno, que influyen de manera diferente sobre las posibilidades de las mujeres de involucrarse en el mercado laboral.

Dichos factores están asociados a las necesidades de cuidados y uso del tiempo (Apps y Rees,

<sup>5</sup> Ejercicio realizado para el caso de México con información del INEGI, en Paras, Tello y Grobet, 2021.

2009), en particular, relacionados con la presencia de menores de edad y adultos mayores. A partir del 2020, uno de los problemas que se acentúan con la situación actual de la pandemia, ante las necesidades incrementadas de cuidados en los hogares, es la reducción de la disponibilidad de tiempo de las mujeres para participar en el mercado laboral (ONU Mujeres, 2015-2021).

En un análisis de la oferta laboral, desagregada a nivel municipal o local (2 445 municipios para el caso de México), muestra que la tasa de participación de género se asocia tanto a los factores que reflejan la acumulación de capacidades individuales (por ejemplo, la escolaridad alcanzada) como con la disponibilidad de servicios para el cuidado de niños pequeños y personas con necesidades especiales (CEEG ONU Mujeres e INEGI, 2019a; Parás, Tello y Grobet, 2021). Sin embargo, es importante cuidar las ambigüedades que surgen de la relación entre objetivos, indicadores y resultados, ya que para visualizar las diferencias entre regiones o localidades no es suficiente con mostrar la distribución espacial de los resultados o variables e indicadores que se han utilizado en diversos estudios (CEEG ONU Mujeres e INEGI, 2019a; Orozco, 2017; Gamme y Orozco, 2008; Apps y Rees, 2009), como la tasa de participación laboral de las mujeres de 15 años y más, el ingreso promedio de dicho grupo etario, escolaridad, unidades económicas dedicadas a los cuidados y el acceso a los servicios de cuidados, como guarderías y hospitales, entre otros elementos. Estos serán esenciales para construir modelos de participación laboral femenina, caracterizar los diferentes grupos, además de observar patrones desde la estimación de costos, distancias, tiempos de transporte y factores espaciales de acceso a la infraestructura pública y privada.

Son varias las instituciones públicas y académicas que han discutido el diseño, la cuantificación y la aplicación de un sistema de indicadores con esas características. Algunos estudios (Chen *et al.*, 2019; Koch y Krellenberg, 2018; Hák *et al.*, 2015) señalan indirectamente las deficiencias, limitaciones y la aplicabilidad de los indicadores. Por otra parte,

en las investigaciones con perspectiva de género, no se ha utilizado plenamente la información geoespacial, por lo cual es difícil que los resultados logren reflejar los patrones geoespaciales, las diferencias regionales y los efectos espacio-temporales, siendo estos aspectos fundamentales para los fines de la política pública y la acción de los gobiernos locales.

### **Integración del análisis y su visualización en la infraestructura geoespacial**

Desde un enfoque espacial, se podrán evaluar las variables determinantes (por ejemplo, del empoderamiento) en busca de estimar los niveles de dependencia o autocorrelación espacial a través del uso de técnicas de análisis geoestadístico que permiten modelar la relación que existe entre las personas y su entorno (Botak y Schroeder, 2005; Kwan, 2013), además de encontrar patrones derivados de las variaciones o desigualdades espacio-territoriales que pueden observarse en el nivel global entre los países, regiones y localidades como reflejo de las condiciones de desarrollo de los territorios.<sup>6</sup>

La información geoestadística se analiza y visualiza con los SIG. Para representar los modelos y las variables de género en los estudios de las desigualdades, se ha propuesto: i) la adecuada incorporación de la información y complementar los datos secundarios con otra información contextual; ii) recolectar datos cuantitativos y cualitativos con perspectiva de género; iii) procedimientos especializados de manipulación de los datos más allá de los utilizados comúnmente en los SIG; iv) reflexividad en cada etapa, que consiste en transparentar las motivaciones de estudio y la autorreflexión con la finalidad de proveer un entendimiento contex-

<sup>6</sup> Para el caso de México, Rodríguez y García 2018 realizaron un análisis geoespacial de las desigualdades de género en relación con el tiempo dedicado al trabajo no remunerado del hogar y los cuidados. Como resultado, encontraron patrones territoriales de desigualdad a nivel municipal en relación con la participación de las mujeres en la fuerza laboral y considerando presencia de población rural e indígena, hogares con jefatura femenina y escolaridad.

tualizado desde el punto de vista de género sobre el problema que se analiza.<sup>7</sup>

Las soluciones espaciales se pueden visualizar en plataformas web, que desde su diseño incorporan información cualitativa y multimedia, como textos e imágenes relevantes que, en su integración sistémica, apoyan la comunicación hacia los procesos de la política pública (Taylor, 2005). La metodología y el marco conceptual en el que se apoya esta propuesta es transversal en varios sentidos, porque aborda dimensiones de las desigualdades sociales, territoriales y de género, así como las relaciones entre la pobreza y las políticas públicas.

Por lo que se refiere al proceso de articulación de las infraestructuras nacionales de datos geoespaciales, las políticas planteadas por la ONU se reflejan en las propuestas para el desarrollo de marcos que integren, o permitan la interoperabilidad de métodos y estándares estadísticos y geográficos, basados en la localización. Uno de los capítulos relevantes es el que refuerza el uso de un conjunto común de *geografías* y *áreas geográficas* para describir de manera genérica una amplia gama de áreas o regiones que definen lugares —desde pequeñas hasta grandes áreas—, en los que se garantice que todos los datos estadísticos sean coherentes geoespacialmente, facilitando a los usuarios el descubrir, acceder, integrar, analizar y visualizar información geoespacial, en el apoyo a la toma de decisiones sobre políticas sociales, económicas y ambientales. (UN EG-ISGI, 2018).

En la más reciente publicación o libro blanco, generado bajo el patrocinio de la División de Estadísticas de Naciones Unidas (UNSD, 2021) y *Geospatial media+communications*, se reconoce la importancia del marco elaborado por la ONU y el Banco Mundial para la integración de la información geoespacial. La estrategia pretende un alcance mayor promoviendo que sea esta la plataforma para instrumentar la *infraestructura de conocimiento*

*geoespacial*, que será el corazón de la sociedad global digital: integrando las economías y empresas digitales, así como los procesos sociales y ciudadanos bajo los enfoques, datos y tecnologías geoespaciales. En esta iniciativa, los gobiernos tendrán un papel habilitador como parte de una política digital integrada más amplia para proveer el conocimiento y los servicios basados en la localización (UNSD, 2021).

Con el diseño de una plataforma GEO WEB, como parte del modelo de gestión geoespacial, se propone fortalecer la generación, disponibilidad, análisis y uso de estadísticas de género, necesarias para visibilizar las condiciones y patrones de las desigualdades sociales, económicas, políticas y culturales que afectan a las mujeres y niñas en un contexto territorial (CEEG ONU Mujeres e INEGI, 2019b).

Para la estructuración de dicha plataforma (ver esquema 4), se establece un flujo de trabajo interdisciplinario para la gestión del conocimiento y la información de género mediante la provisión de servicios de información, acordes con los modelos de conocimiento y para la comprensión de problemáticas específicas, como las de empoderamiento económico de las mujeres y de los sistemas de cuidados.

Las etapas básicas en la construcción de la GEO WEB sugeridas son las siguientes:

1. Conceptualización: incluye la selección de los modelos necesarios para el diseño de la solución, como computacionales, geográficos, visuales y cartográficos.
2. Integración de los SIG para el desarrollo de soluciones tecnológicas de análisis de información geoespacial siguiendo las premisas básicas planteadas en los modelos y metodología.
3. Gestión del conocimiento e información geoespacial. Se define así la estrategia tecnológica que satisfaga las necesidades del proyecto. Se plantea el desarrollo de una plataforma a través del uso de *software* de código abierto y gratuito. Existe una gran comunidad a nivel

<sup>7</sup> El uso de SIG ha permitido estudiar relaciones entre desigualdades de género y otras variables, como fecundidad (Aassve *et al.*, 2012), uso de la tierra (Botak y Schroeder, 2005), atención prenatal y acceso a transporte y movilidad (Walker y Vajjala, 2009).

mundial que participa en el movimiento de fuentes abiertas (*open source*), lo que permite tener actualizaciones constantes de los componentes y la corrección de errores (Parás *et al.*, 2021; CEEG ONU Mujeres e INEGI, 2019b).

4. Representación-visualización, análisis básico y construcción de escenarios. El prototipo desarrollado al momento, y ejemplificado por un estudio de caso de México, permite visualizar los principales resultados obtenidos del modelo de participación laboral femenina a partir de estadísticas de género compiladas y agregadas a nivel municipal, y sugiere al usuario construir diferentes escenarios modificando las variables independientes en el modelo. La cartografía y mapas generados permiten al usuario visualizar la presencia de factores como el número promedio de hijos(as), el tamaño de las poblaciones indígenas, la producción económica, la accesibilidad y vías de comunicación, además de explorar cómo estos se relacionan con la proporción de mujeres que trabajan a nivel municipal.

A partir de las temáticas de estudio y de la investigación de los especialistas es posible detectar nuevas dinámicas soportadas por el análisis espacial; también, pueden surgir otras formas de construcción y planteamientos para la visualización geoespacial. La diversidad en los tratamientos, ya sea en temas emergentes y/o en casos específicos, apoya la retroalimentación temprana de los interesados y operan como guía en el diseño o mejora de herramientas para el tratamiento teórico y empírico. Por su parte, la visualización de datos interactivos, así como la contextualización a través de otros recursos multimedia y aplicaciones WEB, facilita la comunicación de fenómenos o procesos sociales y necesidades específicas hacia usuarios principales (Taylor, 2014; Parás y López, 2017b).

La suma de procesos será un reto que afronta la metodología, y que va más allá de la georreferenciación, en el sentido de la comprensión de las relaciones espaciales y la territorialización de las diversas formas de estudiar los problemas con perspectiva de género y su dimensión pro-

gramática: lograr, crear y formular mecanismos para su reconocimiento e instrumentación, sin dejar de lado la equidad racional de la política y el carácter relacional del género (Dalby, 1994; Staeheli, 2001; Staeheli y Kofman, 2004).

## **Instrumentación de las políticas territoriales de género**

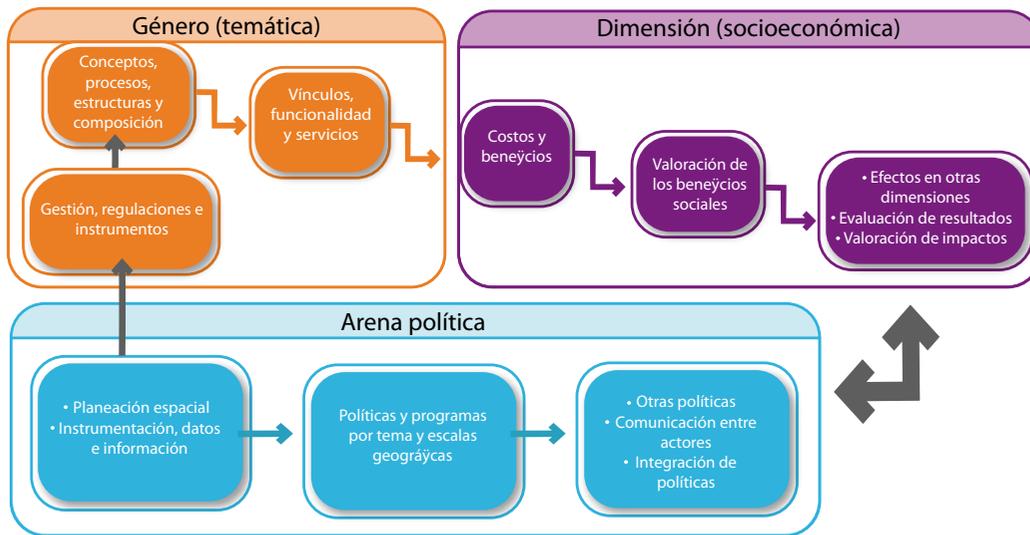
El contraste de los enfoques espaciales en las que se generan las temáticas de estudio, entre la heterogeneidad y la identificación de escalas, permite valorar las intervenciones y ajustes de las políticas, los beneficios que reciben hoy los individuos y sus mecanismos de distribución (Wallace, H., Wallace, W., y Pollack, 2020). De igual forma, coadyuva a relacionar los impactos asociados a opciones y estrategias de solución a diferentes escalas de instrumentación, así como el cambio para formular nuevas políticas que aporten desde la base de nueva información, que consideren la consistencia, beneficios, costos y evaluación de los lugares en los que se aplican.

En el esquema 3 se representan los componentes y etapas de la construcción de las políticas de género, destacando los vínculos funcionales entre las estructuras y procesos, los servicios, así como la política y los beneficios sociales que se deberán considerar, en un primer momento de su diseño e instrumentación. A este tendrán que integrarse las perspectivas geográfica, institucional y territorial.

Retomamos el modelo conceptual integrado para la gestión de políticas territoriales de género en el esquema 1. En este se destacan los objetivos que guían a los procesos y la influencia sistémica entre las dimensiones y su relación con los diferentes actores en el marco institucional, el papel de las redes y la creación de beneficios, el nivel de especificidad y escala espacial, los patrones territoriales y la focalización de instrumentos, así como la definición de las políticas y, en particular, las condiciones territoriales y otros activos que afectan la generación de beneficios en una política focalizada.

Esquema 3

### Etapas en la construcción de las políticas



**Fuente:** elaboración propia con base en los esquemas de Haines-Young y Potschin (2010) y van Zanten *et al.* (2014).

Ciertamente, el objetivo de una política con enfoque espacial y de género es también el resultado del diseño transdisciplinario y el proceso de planeación en el cual están involucrados los diferentes actores, buscando medir el efecto en la distribución o en la adopción de una determinada acción de política en diferentes lugares.

### Comunicación, aprendizaje y procesos participativos

Para el diseño de las políticas, es preciso el intercambio colaborativo, la comunicación o diálogo entre actores sociales para la coproducción del conocimiento a través del aprendizaje social (Görg, 2007; Zscheischler y Rogga, 2015). Para lograr vincular la gobernanza y los niveles administrativos con la reestructuración de la dimensión espacial de las políticas (Görg, 2007), se debe tener en cuenta el ciclo de los actores involucrados con cada una de las temáticas de estudio (ver esquema 4).

La conexión con la referencia espacial supone un reto de la interconexión con los espacios construidos (escalas), donde sobresale el papel de los actores intermedios, que pueden facilitar el flujo de información necesaria y la construcción de otras o nuevas redes (Schomers *et al.*, 2015) o acciones coordinadas y, de esta manera, apoyar en la definición de responsabilidades, necesidades, requerimientos de conocimientos e información estadística.

El diseño y la implementación efectivos de políticas de género requieren de un compromiso con la creación de capacidad institucional, incluidas habilidades y conocimientos, pero también estructuras de gobierno a diferentes niveles (como el local) para integrar y negociar valores y objetivos que pueden estar en conflicto dentro del proceso de toma de decisiones (Kerselaers *et al.*, 2013; Primdahl y Kristensen, 2016). Por lo tanto, la aportación de las partes interesadas y el aprendizaje mutuo hacen que el diseño de las políticas de género sea más receptivo a acciones significativas, y que la transversalidad en

los temas de género se incorpore a este y a los procesos de planificación espacial y de la gestión de la agenda de política pública, reforzando su legitimidad y reconociendo la complejidad y dinamismo de las temáticas sobre género (De Loë *et al.*, 2009).

Derivado de lo anterior, se exploran las posibilidades para que los usuarios estén en contacto con diferentes modelos de comunicación de la información y el conocimiento geoespacial a través de diferentes plataformas digitales y la GEO WEB, de manera que se conviertan en espacios de conversación (Reyes y Parás, 2012). Esto deja abiertas nuevas preguntas para cada uno de los actores sobre: ¿cuáles son los elementos centrales que conllevan a una buena comunicación de la(s) propuesta(s) y las formas de abordar temáticas tan heterogéneas?, o bien, ¿cuáles son las posibilidades de uso y aporte para crear nuevos esquemas que contribuyan a fortalecer el análisis de género y del territorio vinculado a las estrategias plantea-

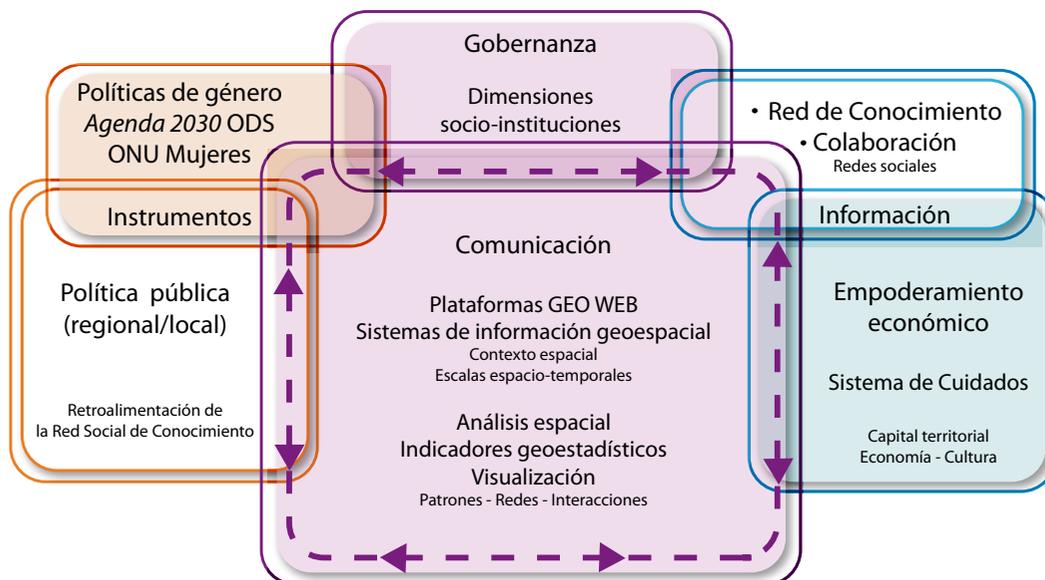
das como parte de la agenda pública?, cuestionamientos que se añaden a la forma de *espacializar* y visualizar ciertas temáticas.

### **Criterios de evaluación-metodológicos de los recursos de conocimiento e información geoespacial para la hechura de las políticas públicas de género**

Como ya se ha mencionado, los sistemas complejos y el territorio cobran importancia a partir de la colaboración interdisciplinaria (Wilson, 2002) y la integración de los componentes de cada uno de estos. La flexibilidad en la construcción metodológica tiene implicaciones para la investigación y el establecimiento de una agenda política que apunta a los procesos de gestión en cada lugar. Los procesos que se vinculan con la escala social, y que se refieren a una producción específica del

Esquema 4

#### **Flujo de información, conocimiento y comunicación a las políticas territoriales de género. Plataforma GEO WEB**



Fuente: elaboración propia con base en CEEG ONU Mujeres e INEGI (2019b).

espacio, comportan la generación de distintas estructuras de escala geográfica con procesos dinámicos en los que es necesario incluir otras escalas, como las individuales y del hogar (Martson, 2000), además de la interconexión de estas (Cox y Mair, 1991; Brenner, 2001).

En la discusión sobre la complejidad de los espacios políticos de género (Secor, 2001), los lugares son relevantes para el análisis geopolítico e incluye el examen tanto de las estructuras formales de la acción política y movilización como de las informales. En el caso de la política de género, comportan otro tipo de análisis espacial, como el de Fluri (2009) y Rose (1997), quienes destacan el concepto de los *conocimientos situados* (*situated knowledges*) vinculando lugar y la política, tal es el caso del género y la geopolítica de la violencia y los trabajos que añaden la revisión de la territorialidad y globalización, así como la concepción teórica de nación y nacionalismo.

Algo semejante sucede con el poder de las políticas de género y su ejecución, ya que dejan en claro las acciones sobre la dicotomía derivada de hombre y mujer, así como los elementos formales e informales de la política, desequilibrios, brechas, desigualdades, relaciones, supuestos y normas de género, sin embargo, no se incorpora para el análisis el conjunto de elementos de los marcos geospaciales. Desde el ámbito de la geografía, se ha examinado y debatido el tema de género considerando diversas dimensiones y escalas que dejan abierta la posibilidad de incorporar información espacial o elaboración de estudios de caso de forma concreta (Brenner, 2001; Cox, 1998; Delany y Leitener, 1997; Herod y Wright, 2002; Marston, 2000; Marston y Smith, 2001; Silvern, 1999).

Las herramientas interactivas pueden apoyar la toma de decisiones ayudando al usuario a visualizar los riesgos sociales y ambientales, así como a sopesar incertidumbres y, por lo tanto, llegar a una comprensión más completa de los problemas complejos científicos o técnicos (Pidgeon y Fischhoff, 2011; Taylor y Lauriault, 2014).

El diseño de una aplicación interactiva y la creación de una interfaz que facilite la comunicación desde una plataforma digital permitirá al usuario seleccionar datos y las posibilidades de responder a algunas de las preguntas sobre las temáticas a partir de la utilización de la información estadística, los modelos y los contenidos. La utilidad de la herramienta dependerá de la efectividad en la comunicación de los resultados técnicos, la flexibilidad en el uso y la posibilidad de adaptar la plataforma a las necesidades de usos, manejo de técnicas, factibilidad y la pertinencia del contexto para el cual se ha elaborado (Kostelnick *et al.*, 2013).

La exploración de casos sirve como ejemplo en el que la retroalimentación temprana de los interesados puede guiar el diseño o mejora de herramientas para la visualización de datos interactivos, particularmente para la comunicación de fenómenos o procesos sociales, así como informar de necesidades específicas para grupos localizados.

Otra cuestión importante es, ¿cómo se quieren mostrar los elementos transversales de género en el territorio? Aquí se ponen a prueba tanto la herramienta o artefacto tecnológico como el marco conceptual planteado, su consistencia con el eje transversal de género y territorio, en las diferentes temáticas analizadas, y su vínculo a la discusión central e internacional sobre: gobernanza; justicia social; escala y unidad geográfica del análisis; temporalidad; contextos, sea local, global, internacional; entre otros.

La espacialidad de los fenómenos deberá ser vista como una expresión compleja de los procesos y las prácticas de la regulación socio-espacial. La agenda de investigación sobre la producción y transformación del espacio, los retos de los supuestos geográficos, los cambios en las espacialidades del poder del Estado y la vida política y del desarrollo de las nuevas metodologías y herramientas de análisis geoespacial implican presiones, restricciones y transformaciones en el territorio y, por ende, rediseño, reestructura y reorientación para el estudio del análisis espacial.

## Conclusiones

La metodología aquí presentada aborda la importancia de teorizar y operacionalizar diferentes problemas con enfoque de género, incluyendo aquellos que representan retos desde la construcción o emergencia de las problemáticas sociales. El trabajo de integración y sistematización desde diferentes visiones que conjugan los procesos territoriales, las políticas y el género han sido parte de una constante *complejidad transdisciplinaria*, en la cual no basta con desarrollar algunos indicadores, se requiere de la contextualización de los marcos conceptuales, el análisis socio-espacial, así como las interacciones institucionales y con los tomadores de decisiones para articular una visión de cambio y adaptación de las políticas; "... el enfoque sistémico nos permite identificar las interrelaciones preexistentes de la sociedad y su relación con el territorio, los espacios y el tiempo. La política se orienta a la repriorización de ese lenguaje y esa visión territorial a partir de una connotación de género que no se sesgue a lo masculino frente a lo femenino —hombres vs. mujeres—..." (Massey, 1994. pp. 259-260).

El diálogo, los proyectos y ejercicios realizados con una red de actores e investigadores representa un avance que puede contribuir a dar respuesta a las problemáticas que forman parte de las desigualdades de género y que han prevalecido a lo largo del tiempo y aquellas que surgen de los nuevos procesos socio-territoriales.

En suma, este trabajo resalta la flexibilidad temática que puede estudiarse o explorarse con la metodología, sin olvidar que existen múltiples objetivos, matices y fragmentación en los datos, información y formas de generar mediciones. Desde los esquemas y enfoques de políticas públicas, el tema de género, como muchos otros, ha sido parte de una lucha discursiva y continua sobre las definiciones de problemas, marcos de análisis, la conciencia pública, la comprensión de los fenómenos emergentes y las diversas formas de evaluación (Coultas *et al.*, 2014; Stone, 2002; Majone, 1989). En el caso del diseño de estas políticas desde el análisis geoespa-

cial y las estadísticas de género, se requiere dar un giro en los argumentos a través del lenguaje y la comunicación, reconociendo tanto el papel de los modelos científicos como los modos prácticos.

El estudio geoespacial se introduce como la combinación compleja que conecta datos relevantes e información al análisis de hechos, interpretaciones, opiniones y evaluaciones. Con ello se buscan soluciones geomáticas que posibiliten la comprensión de los fenómenos sociales con enfoque de género y que dependen de una gama compleja de interconexiones y redes de actores, no solo de los hallazgos empíricos, la investigación misma y la gobernanza. Existe una amplia variedad de indicadores que contribuyen a resumir y simplificar las características de los datos relacionados con el enfoque de género, incluyendo la integración y cobertura geográfica de datos espacio-temporales. A partir de ello, se incrementa la posibilidad de evaluar la calidad de los datos, aportar a la política pública, detectar prioridades, generar comparaciones y lograr la estandarización para diferentes propósitos, no sin antes tener presente las limitaciones que desde la construcción y recolección de datos se puedan presentar. En este trabajo se hace una reflexión en términos de una metodología conceptual y, aunque en algunos estudios se enfocan al estado actual de los datos y su calidad, aún se requiere de herramientas tecnológicas más sofisticadas, así como de estructuras de datos que permitan aumentar la precisión y calidad, además de reducir la incertidumbre, para avanzar en los estudios geoespaciales.

El desafío para quienes trabajan en el sector público será conjuntar de forma interactiva el conocimiento sobre la hechura de las políticas, las perspectivas sociales y el saber especializado en temas de género, es decir, integrar lo técnico, la experiencia, así como el conocimiento de lo local y lo político. Esperamos que esta propuesta coadyuve a la resolución colaborativa de problemas y a una forma de gobernanza participativa más inclusiva. Este enfoque debe considerar las formas que intervienen en la percepción y comprensión de las alternativas políticas para la toma de decisiones.



La instrumentación metodológica y geotecnológica del análisis y la visualización geoestadística permitirán la retroalimentación temprana hacia los interesados, sea para los casos de temas específicos de estudio y la violencia contra las mujeres y niñas, o bien, aplicados en temas emergentes de salud y cuidados, constituyéndose en una guía para el diseño o mejora de recursos para el tratamiento teórico, empírico y la visualización de datos interactivos, particularmente para la comunicación de fenómenos o procesos sociales. El aporte va más allá de la georreferenciación y contribuye a la comprensión de las relaciones espaciales y la territorialización de las diversas formas de estudiar los problemas con enfoque de género.

De especial relevancia, a partir de la situación más reciente de pandemia de COVID-19 por SARS-Cov-2, se han promovido iniciativas emergentes a escalas global, regional y local para reforzar los sistemas de atención a la salud, buscando atenuar los graves impactos en el bienestar y la economía de la población, con atención a las problemáticas de género, bajo la consigna de “no dejar a nadie atrás ni fuera del mapa” (TRENDS, 2020, p. 8).

## Fuentes

- Apps, P. y R. Rees. *Public economics and the household*. Cambridge University Press, 2009.
- Aassve, A., T. Lappegard y A. Vitali. *A Spatial Analysis of Gender Equality and Fertility*. Carlo F. Dondena Centre for Research on Social Dynamics, Bocconi University, 2012.
- Barca, F., P. McCann y A. Rodríguez-Pose. “The case for regional development intervention: place-based versus place-neutral approaches”, en: *Journal of regional science*. 52.1, 2012, pp. 134-152.
- Barr, S., D. Alderson, M. Ives, y C. Robson. “Database, simulation modelling and visualisation for national infrastructure assessment”, en: *The Future of National Infrastructure: A System-of-Systems Approach*. 268. 2016.
- Botak, K. y K. Schroeder. “Using geographic information systems (gis) for gender and development”, en: *Development in Practice*. 15.2, 2005, pp. 231-237.
- Brenner, N., B. Jessop, M. Jones y G. MacLeod. *State space in question. State/space: a reader*. Blackwell, Oxford, 2003, pp. 1-26.
- Brenner, N. “The limits to scale? Methodological reflections on scalar structuration”, en: *Progress in human geography*. 25.4, 2001, pp. 591-614.
- CEEG ONU Mujeres e INEGI. *Side event summary. Gender and Geospatial Research and Analysis. Ninth Session of the United Nations Committee of Experts on Global Geospatial Information Management*, 2020. (DE) Consultado el 7 de abril de 2020 en <https://data.unwomen.org/publications/un-ggim-side-event-summary-gender-and-geospatial-research-and-analysis>
- \_\_\_\_\_. *Plan Estratégico, 2018-2020*, México, 2018.
- \_\_\_\_\_. *Enfoque Geoespacial para las Estadísticas de Género. Proyecto Gender and Geospatial Analysis*. 2019a (DE) en <http://cegsunwomen.com/geospatial-approach-for-gender-statistics/>
- \_\_\_\_\_. *Geospatial WEB platform. Prototype developed in collaboration with the DGGMA-INEGI*. 2019b (DE) en <http://cegsunwomen.com/geospatial-approach-for-gender-statistics/>
- CEPAL. *Territorio e igualdad. Planificación del desarrollo con perspectiva de género. Manuales de la CEPAL*. Chile, 2016.
- CEPAL/UNIFEM. *Entender la pobreza desde una perspectiva de género. Serie Mujer y desarrollo, Serie Mujer y desarrollo*. 52.1, 2004, p. 70 (DE) en [https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/5918/S0400008\\_es.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/5918/S0400008_es.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Centre for Industrial Studies (CSIL). *Territorial Agenda 2020 put into practice. Enhancing the efficiency and effectiveness of Cohesion Policy by a place-based approach*. 2015 (DE) en [https://ec.europa.eu/regional\\_policy/en/information/publications/studies/2015/territorial-agenda-2020-put-in-practice-enhancing-the-efficiency-and-effectiveness-of-cohesion-policy-by-a-place-based-approach](https://ec.europa.eu/regional_policy/en/information/publications/studies/2015/territorial-agenda-2020-put-in-practice-enhancing-the-efficiency-and-effectiveness-of-cohesion-policy-by-a-place-based-approach)
- Congreso. “Diputados aprueban el Sistema Nacional de Cuidados [...] sin recursos”, en: *Expansión Política*. 11/19/2020 (DE) en <https://politica.expansion.mx/congreso/2020/11/19/diputados-aprueban-el-sistema-nacional-de-cuidados-sin-recursos>
- Couclelis, Helen. “The certainty of uncertainty: GIS and the limits of geographic knowledge”, en: *Transactions in GIS* 7. 2, 2003, pp. 165-175.
- Coultas, C. W., T. Driskell, C. Burke y E. Salas. “A conceptual review of emergent state measurement: Current problems, future solutions”, en: *Small Group Research*. 45.6, 2014, pp. 671-703.
- Cox, K. R. “Spaces of dependence, spaces of engagement and the politics of scale, or: looking for local politics”, en: *Political Geography*. 17.1, 1998, pp. 1-23.
- Dalby, S. “Gender and critical geopolitics; reading security discourse in the new world disorder”, en: *Environment and Planning D: Society and Space*. 12.5, 1994, pp. 595-612.
- Delaney, D. y H. Leitner. “The political construction of scale”, en: *Political Geography*. 16.2, 1997, pp. 93-97.

- De Loë, R. C., D. Armitage, R. Plummer, S. Davidson y L. Moraru. *From Government to Governance: A state-of-the-art review of environmental governance. Final report. Guelph, Canada, Alberta Environment, Environmental Stewardship, Environmental Relations*. Government of Alberta, 2009.
- Del Corso, J. P., C. Kephaliacos y G. Plumecocq. "Legitimizing farmers' new knowledge, learning and practices through communicative action: Application of an agro-environmental policy", en: *Ecological Economics*. 117, 2015, pp. 86-96.
- Echarri, C. *Interseccionalidad de las desigualdades de género en México. Un análisis para el seguimiento de los ODS*. México, CONAPO-ONU Mujeres, 2020.
- Elson, D. "A gender-equitable macroeconomic framework for Europe", en: *Economics and Austerity in Europe: Gendered Impacts and Sustainable Alternatives*. Routledge, 2016, pp. 37-48.
- Fluri, J. L. "Geopolitics of gender and violence 'from below'", en: *Political Geography*. 28.4, 2009, pp. 259-265.
- Frakes, B. T., T. Flowe y K. R. Sherrill. "National park service travel time cost surface model (TTCSM)", en: *Natural Resource Report NPS/NRSS/NRR-2015/933*. Fort Collins, CO, National Park Service, 2015.
- Gammage, S. y M. Orozco. *El trabajo productivo no remunerado dentro del hogar: Guatemala y México*. CEPAL, 2008.
- Görg, C. "Landscape governance: The 'politics of scale' and the 'natural' conditions of places", en: *Geoforum*. 38.5, 2007, pp. 954-966.
- Haines-Young, R. y M. Potschin. "The links between biodiversity, ecosystem services and human well-being", en: *Ecosystem Ecology: a new synthesis*. 1, 2010, pp. 110-139.
- Hák, T., S. Janoušková, y B. Moldan. "Sustainable Development Goals: A need for relevant indicators." en: *Ecological indicators*. 60, 2016, pp. 565-573.
- Herod, A. "Placing scale: an introduction" en: Herod A. and M. Wright (Eds.). *Geographies of power: placing scale*. Blackwell, Malden, 2002.
- Heyns, S., S. Busse y S. Lawrence. *Understanding and addressing spatial poverty traps*. Stellenbosch, Overseas Development Institute/Chronic Poverty Research Centre, 2007.
- INEGI. *Encuesta Intercensal 2015*. México, INEGI, 2015 (DE) en <https://www.inegi.org.mx/programas/intercensal/2015/>
- International Center for Research on Women. *Monitoring toolkit: How to develop a monitoring system for a community rights workers program*. Washington: International Center for Research on Women, 2011.
- Jun, C. H. E. N., P. E. N. G. Shu, Z. H. A. O. Xuesheng, G.E. Yuejing y L.I. Zhilin. "Measuring regional progress towards SDGs by combining geospatial and statistical information", en: *Acta Geodaetica et Cartographica Sinica*. 48.4, 2019, pp. 473.
- Kabeer, N. "Resources, agency, achievements: Reflections on the measurement of women's empowerment", en: *Development and change*. 30.3, 1999, pp. 435-464.
- Kerselaers, E., E. Rogge, E., Vanempten, L. Lauwers y G. Van Huylenbroeck. "Changing land use in the countryside: Stakeholders' perception of the ongoing rural planning processes in Flanders", en: *Land Use Policy*. 32, 2013, pp.197-206.
- Koch, F. y K. Krellenberg. "How to contextualize SDG 11? Looking at indicators for sustainable urban development in Germany", en: *ISPRS International Journal of Geo-Information*. 7.12, 2018, pp. 464.
- Kostelnick, J. C., D. McDermott, R. Rowley, y N. Bunnyfield. "A cartographic framework for visualizing risk", en: *Cartographica: The International Journal for Geographic Information and Geovisualization*. 48.3, 2013, pp. 200-224.
- Kwan, Mei-Po. "Beyond space (as we knew it): Toward temporally integrated geographies of segregation, health, and accessibility: Space-time integration in geography and GIScience", en: *Annals of the Association of American Geographers*. 103.5, 2013, pp. 1078-1086.
- López, F., R. Sánchez, M. C. Reyes y A. López. "From Cybercartography to the Paradigm of Geocybernetics: A Formal Perspective", en: *Modern Cartography Series*. Vol. 5. Elsevier, 2014, pp. 17-32.
- Majone, G. *Evidence, argument, and persuasion in the policy process*. Yale University Press, 1989.
- Marston, S. A. "The social construction of scale", en: *Progress in Human Geography*. 24.2, 2000, pp. 219-242.
- Marston, S. A. y N. Smith. "States, scales and households: limits to scale thinking? A response to Brenner", en: *Progress in Human Geography*. 25.4, 2001, pp. 615-619.
- Massey, D. *Space, place, and gender*. University of Minnesota Press and Polity Press, 1994.
- Mendell, M. y N. Neamtan. "The social economy in Quebec: Towards a new political economy", en *Researching the social economy*. University of Toronto Press, 2016, pp. 63-83.
- Moulaert, F., F. Martinelli, E. Swyngedouw y S. Gonzalez. "Towards alternative model(s) of local innovation", en: *Urban Studies*. 42.11, 2005, pp. 1969-1990.
- Muller, P. *Las políticas públicas*. Segunda edición (Jolly, J. F. y C. Salazar, Trads.). Bogotá, Universidad Externado de Colombia, 2006.
- O'Brien, P., O. Sykes y D. Shaw. "The evolving context for territorial development policy and governance in Europe—from shifting paradigms to new policy approaches", en: *L'Information géographique*. 79.1, 2015, pp. 72-97.
- OECD, Development-OECD, and Source OECD (Online service). *OECD Territorial Reviews Competitive Cities in the Global Economy*. OECD Territorial Reviews, 2006.
- \_\_\_\_\_. *Impacto territorial de la COVID-19: gestionar la crisis en todos los niveles de gobierno*. OCDE Afrontar el coronavirus (COVID-19). Unidos en un esfuerzo global. 2020 (DE) en <http://www.oecd.org/coronavirus/policy-responses/impacto-territorial-de-la-covid-19-gestionar-la-crisis-en-todos-los-nivelesde-gobierno-7d27f7d9/>

- ONU Mujeres. *Enfoque territorial para el empoderamiento de las mujeres rurales*. América Latina y el Caribe. ONU Mujeres, CEPAL, FAO, RIMISP-Centro Latinoamericano para el Desarrollo Rural, 2015 (DE) en [https://rimisp.org/wp-content/files\\_mf/1464971135LibroALCdigital2016.pdf](https://rimisp.org/wp-content/files_mf/1464971135LibroALCdigital2016.pdf)
- \_\_\_\_\_. *Turning promises into Action: Gender equality in the 2030 Agenda for Sustainable Development*. ONU Mujeres, Sección de Investigación y Datos, 2018, pp. 337 (DE) en <https://www.unwomen.org/en/digital-library/publications/2018/2/gender-equality-in-the-2030-agenda-for-sustainable-development-2018#view>
- \_\_\_\_\_. *El progreso de las mujeres en América Latina y el Caribe 2017. Transformar las economías para realizar los derechos*. ONU Mujeres, América Latina y el Caribe, 2017, pp. 192 (DE) en [https://www2.unwomen.org/-/media/field%20office%20americas/documentos/publicaciones/2017/07/un16017\\_web.pdf?la=es&vs=4654](https://www2.unwomen.org/-/media/field%20office%20americas/documentos/publicaciones/2017/07/un16017_web.pdf?la=es&vs=4654)
- \_\_\_\_\_. "El progreso de las mujeres en el mundo 2015-2016. Transformar las economías para realizar los derechos. Resumen", en: *Estudios Feministas*. 24.2, 2016, pp. 589-614.
- \_\_\_\_\_. *COVID-19 y la economía de los cuidados: acciones y transformación estructural para una recuperación con perspectiva de género*. Serie Resúmenes de políticas de ONU Mujeres. Núm. 16, 2020 (DE) en <https://www.unwomen.org/es/digital-library/publications/2020/06/policy-brief-covid-19-and-the-care-economy>
- Orozco, M. *Agenda de investigación para la incidencia en políticas relacionadas con los cuidados y la oferta laboral de las mujeres*. México, Oxfam-GENDERS, 2018.
- Orozco, M. y S. Gammage. *Cash transfer programmes, poverty reduction and women's economic empowerment experience, Mexico*. International Labour Organization, 2017.
- Pain, R. "Gender, race, age and fear in the city", en: *Urban studies*. 38.5-6, 2001, pp. 899-913.
- Parás, M. *Aportes al desarrollo científico en geomática: un enfoque de conocimiento transdisciplinario*. Diss. Tesis de Doctorado en Geomática. Centro de Investigación en Geografía y Geomática "Ing. Jorge L. Tamayo", A. C., CentroGeo, 2008.
- \_\_\_\_\_. *Diseño e instrumentación de metodologías: integración de un marco de conocimiento territorial transversal a los procesos de generación, representación, análisis y comunicación de la información estadística y geográfica de género*. CEEG ONU Mujeres-INEGI. Documento de trabajo. México, 2019-2020.
- Parás M. y F. López. "Transdisciplinar Meta-design for Geomatics Application", en: *Journal: Systemics, Cybernetics and Informatics. Special*. 2017a (DE) consultado el 8 de abril de 2020 en <https://pdfs.semanticscholar.org/22e1/2ad626e511dc99ce9aee164e2209447a44b2.pdf>
- \_\_\_\_\_. *Communication and narrative in the construction of a transdisciplinary knowledge base*. Proceedings of The 21st World Multi-conference on Systemics, Cybernetics and Informatics. (WMSCI) Orlando, FL, 2017b.
- Parás, M. et al. *The study of multifunctional landscapes in Mexico: a transdisciplinary experience in education of team Science*. SciTS Conference. Phoenix, Arizona, 2016.
- Parás, M., C. Tello, C. y P. Grobet. "Gender Statistics, Geospatial Analysis and Sustainable Development Goals", en: A. Williams e I. Luginah (eds). *Gender Matters Globally: Reaching the 2030 Sustainability Development Goals*. Routledge, 2021. En prensa ISBN 9780367743901
- Pidgeon, N. y B. Fischhoff. "The role of social and decision sciences in communicating uncertain climate risks", en: *Nature Climate Change*. 1.1, 2011, pp. 35-41.
- Primdahl, J., L.S. Kristensen, A.G. Busck. "The farmer and landscape management: Different roles, different policy approaches", en: *Geography Compass*. 7.4, 2013, pp.300-314.
- Reyes, M. C. "Cybercartography from a modeling perspective", en: *Modern Cartography Series*. Vol. 4. Elsevier, 2005, pp. 63-97.
- Reyes, M. C., y M. Paras. *Geocybernetics and Science 2.0*. Florida, U.S.A., International Symposium on Science 2.0 and Expansion of Science: S2ES-14th WMSCI, 2010.
- \_\_\_\_\_. "Geocybernetics: a pathway from empiricism to knowledge frameworks" en: *Journal GEOcybernetics: i+g+s*. CentroGeo. (I). ISSN 0187-123X, 2012.
- Rico, M. N. y O. Segovia. "Hacia ciudades cuidadoras", en: *¿Quién Cuida en la Ciudad?* United Nations, 2017, pp. 459-470.
- Rodríguez, M. y B. García. *A Spatial Model for Gender Inequality in Unpaid Housework and Care in Mexico*. Population Association of America, Conferencia Anual 2018.
- Rose, G. "Situating knowledges: positionality, reflexivities and other tactics", en: *Progress in Human Geography*. 21.3, 1997, pp. 305-320.
- Sánchez, L., A. Sánchez y D. Cruz. *Brechas e innovaciones en la producción de indicadores geoespaciales de género*. Documento de trabajo. México. COLMEX, CEEG ONU Mujeres-INEGI, 2020.
- Schomers, S., B. Matzdorf, C. Meyer y C. Sattler. "How local intermediaries improve the effectiveness of public payment for ecosystem services programs: the role of networks and agri-Environmental assistance", en: *Sustainability*. 7.10, 2015, pp. 13856-13886.
- Secor, A. J. "Toward a feminist counter-geopolitics: Gender, space and Islamist politics in Istanbul", en: *Space and Polity*. 5.3, 2001, pp. 191-211.
- Sielker, F. "A stakeholder-based EU territorial cooperation: the example of European macro-regions", en: *European Planning Studies*. 24.11, 2016, pp. 1995-2013.
- Silvern, S. E. "Scales of justice: law, American Indian treaty rights and the political construction of scale", en: *Political Geography*. 18.6, 1999, pp. 639-668.
- Sharp, J. "Geography and gender: Finding feminist political geographies", en: *Progress in Human Geography*. 31.3, 2007, pp. 381-387.
- Staheli, L. A. "Of possibilities, probabilities and political geography", en: *Space and Polity*. 5.3, 2001, pp. 177-189.

- Staeheli, L., E. Kofman y L. Peake. *Mapping women, making politics: Feminist perspectives on political geography*. Psychology Press, 2004.
- Stone, D. *Policy paradox: The art of political decision making*. New York-London, W. W. Norton & Company, 2002.
- Taylor, D. R. F. (Ed.) *Cybercartography: Theory and Practice*. Amsterdam, Elsevier, 2005.
- Taylor, D. R. F y T. P. Lauriault (Ed.). *Developments in the theory and Practice of Cybercartography. Modern Cartography Series*. Vol. 5. Elsevier, 2014.
- Tello, C. *Integración y consolidación de una metodología del análisis geoespacial de las políticas y programas de los temas para empoderamiento económico de las mujeres, sistemas de cuidados y violencia feminicida*. Documento de trabajo México, CEEG ONU Mujeres e INEGI, 2019.
- Thematic Research Network on Data and Statistics (TReNDS). *Leaving no one off the map: A guide for gridded population data for sustainable development*. UN, 2020.
- United Nations Economic Commission for Europe (UNECE). "Gender-sensitive Economic and Social Policies to Support the Empowerment of Women and Girls, ECE Region", en: *ECE/AC.28/2014/5. ECE Beijing+20 Regional Review Meeting*. Geneva, 2014, p. 29.
- United Nations Expert Group on the Integration of Statistical and Geospatial Information (UN EG-ISGI). *Global Statistical Geospatial Framework: Linking Statistics and Place - Current status and plans for development*. New York, USA, Proceedings of the Eighth Session of the United Nations Committee of Experts on Global Geospatial Information Management (UN-GGIM), 2018.
- UNSD et al. *The power of WHERE: Geospatial Knowledge Infrastructure to Enhance the World Economy, Society and Environment*. GKI-White-Paper. pdf (geospatialmedia.net), 2021.
- UNDP-UN Women.\_COVID-19 Global Gender Response Tracker-UNDP Covid-19 Data Futures Platform, 2020.
- Uruguay. *Ley No. 19353, art. 3- B. Normativa y avisos legales del Uruguay*. 2015 (DE) <https://www.impo.com.uy/bases/leyes/19353-2015>
- Vadrevu, L. y B. Kanjilal. "Measuring spatial equity and access to maternal health services using enhanced two step floating catchment area method (E2SFCA)-case study of the Indian Sundarbans", en: *International journal for equity in health*. 15.1, 2016, pp. 1-12.
- Van Zanten, B., P. Verburg, M. Espinosa, S. Gomez-y-Paloma, G. Galimberti, J. Kantelhardt y M. Raggi. "European agricultural landscapes, common agricultural policy and ecosystem services: a review", en: *Agronomy for sustainable development*. 34.2, 2014, pp. 309-325.
- Walker, W. y S. P. Vajjhala. Gender and GIS: Mapping the Links between Spatial Exclusion, Transport Access, and the Millennium Development Goals in Lesotho, Ethiopia, and Ghana. RFF Discussion Paper No. 09-27, agosto del 2009 (DE) <https://ssrn.com/abstract=1473931> or <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.1473931>
- Wallace, H., W. Wallace, and M. A. Pollack. *Policy-making in the European Union*. USA, Oxford University Press, 2020.
- Wilson, A. G. "Complex spatial systems: Challenges for modellers", en: *Mathematical and Computer Modelling*. 36(3), 2002, pp. 379-387.
- Zscheischler, J. y S. Rogga. "Transdisciplinarity in land use science—a review of concepts, empirical findings and current practices", en: *Futures*. 65, 2015, pp. 28-44.

# Costos de remediación para metales pesados en pasivos mineros.

## Tabla dinámica, una herramienta de apoyo

### *Remediation Costs for Heavy Metals in Mining Liabilities. Pivot Table, a Support Tool*

Dora Elena Ledesma-Carrión\*

El objetivo de este trabajo es calcular los costos anuales por tonelada de material a remediar e introducirlos en una herramienta de cálculo dinámica bajo escenarios con el fin de aportar los valores iniciales y simulaciones que sirvan de insumo en la planeación de anteproyectos de apertura y cierre del ciclo de vida de una mina. La metodología empleada homologa a la utilizada para calcular los costos totales de agotamiento y degradación ambiental para que, en su caso, puedan ser vinculados a los registros de emisiones y transferencia de contaminantes y sirvan como insumo a la optimización de procesos, modelos de insumo-producto, equilibrio general computable, estocásticos, entre otros.

**Palabras clave:** costos de remediación; metales pesados; cianuro.

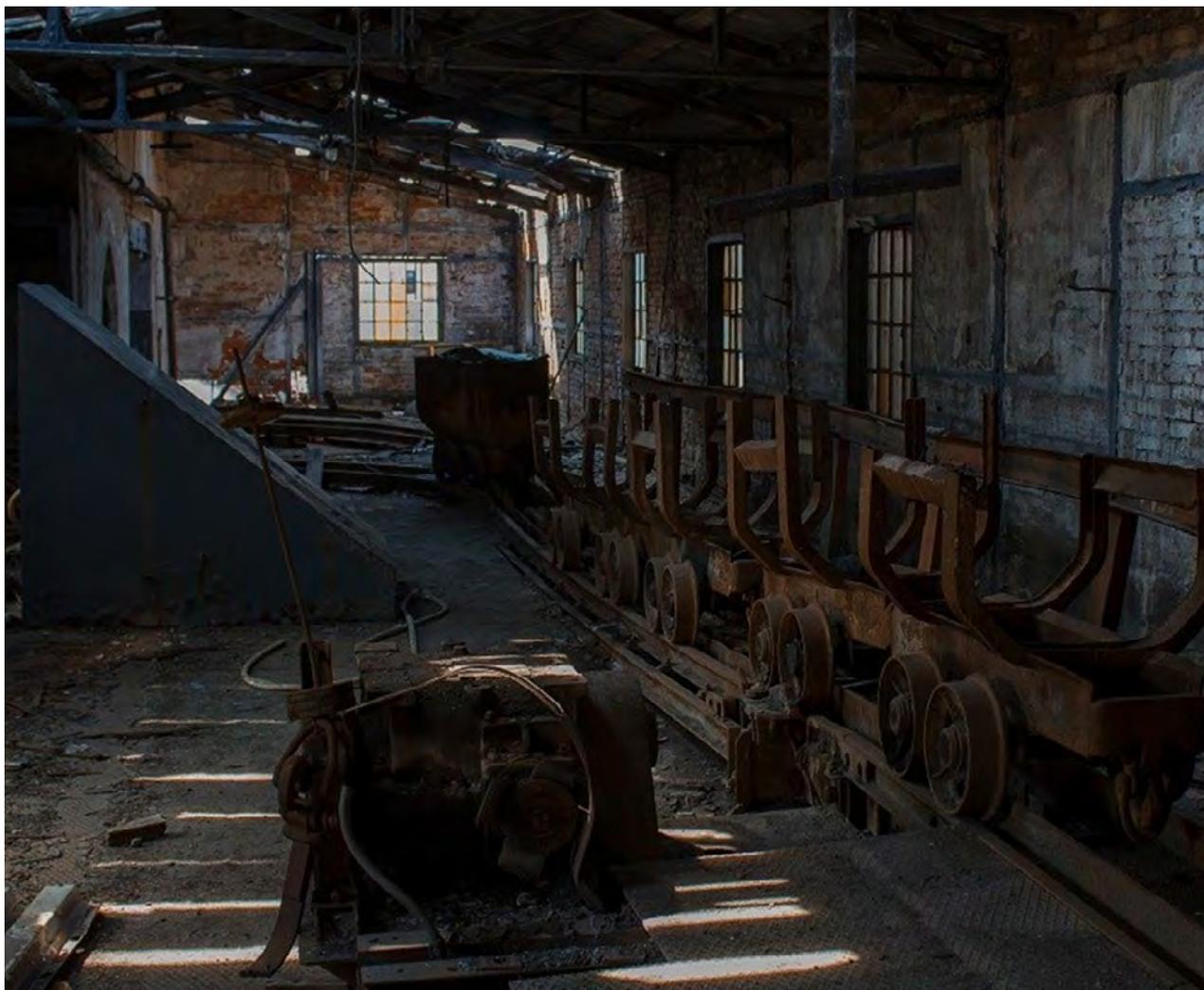
Recibido: 3 de diciembre de 2020.

Aceptado: 28 de junio de 2021.

\* INEGI, dora.ledesma@inegi.org.mx

The objective of this work is to calculate the annual costs per ton of material to be remediated and introduce them into a dynamic-calculation tool under scenarios in order to provide the initial values and simulations that serve as input in the planning of preliminary projects for the opening and closing of the cycle life of a mine. The methodology used is similar to that used to calculate the total costs of depletion and environmental degradation (CTADA *in Spanish*) so that, where appropriate, they can be linked to the pollutant release and transfer registers (RETC *in Spanish*) and serve as input to process optimization, input-output models, computable general equilibrium and stochastic, among others.

**Key words:** remediation costs; heavy metals; cyanide.



marcandrews/Pixabay

## Introducción

El desarrollo sustentable ha tomado fuerza en la planeación de negocios, entre ellos, los cierres de minas y la rehabilitación del terreno. Aspectos que actualmente se toman en cuenta son: otorgar un valor esperado al terreno explotado después de que se recupere, permitir el reciclaje de los recursos y materiales de desecho, asegurar la participación de la comunidad minera, recuperar el medio ambiente, capacitación en otros oficios al personal y fomentar las iniciativas de negocios sustentables en la comunidad, entre otros (INECC, 2016). En el presente trabajo solo se consideró la remediación por contaminación de material tóxico, producto

de los procesos físico-químicos de extracción de oro (Au) (Pérez y Martín, 2015), plata (Ag) y cobre (Cu), los cuales ocasionan la presencia de un conjunto principal de compuestos dañinos bien identificados: plomo (Pb), arsénico (As), mercurio (Hg), cadmio (Cd), cianuro, cromo (Cr), molibdeno (Mo), zinc (Zn) y manganeso (Mn) (Toscana y Hernández, 2017; Lara *et al.*, 2018; Martínez *et al.*, 2010; SGM, 2018 y 2020).

A partir de la información sobre el estado en el cual quedaron los depósitos de colas, escombreras, drenajes ácidos y escoriales, se obtuvieron varios tipos de datos, como: composición química del terreno contaminado, su volumen y densidad —1.4-

1.6 toneladas/metro cúbico (Ton/m<sup>3</sup>)—, superficie afectada, porosidad del terreno (> 2.5), profundidad a la que se dejó de registrar la presencia de contaminantes, así como la afectación en aguas superficiales o subterráneas (AMSAC, 2019a y 2019b; CBO, 2003; Chappuis, M., 2019; Cortes-Páez *et al.*, 2016; EPA, 2000; Grupo México, 2014a, 2020a y 2020b). En el presente estudio, el enfoque principal recayó en la composición química de las muestras tomadas en suelo y agua, técnica de remediación (asociada fuertemente a los plazos de cierre y presupuesto) y características del suelo. Esta información se clasificó en cuatro tipos (ver cuadro 1).

Se debe hacer notar que planear un cierre minero involucra información socioeconómica, como: escenarios de inflación, tipo de cambio, tasas de interés, tomar en cuenta los límites máximos de compuestos químicos permitidos por la ley, etc., lo cual lo convierte en un proceso complejo bajo incertidumbre. Así que, contar con una guía basada en la experiencia de pasados procesos de cierres mineros y utilizar el Índice Nacional de Precios Productor (INPP)<sup>1</sup> aporta una herramienta de apoyo complementaria al método del valor presente (National Research Council, 1997; INEGI, 2013), valor del daño ambiental (precios sombra), modelos insumo-producto y equilibrios general, dinámico y econométrico (Dammert *et al.*, 2012; Ledesma *et al.*, 2020; por ejemplo).

La base de datos de los registros de emisiones y transferencia de contaminantes (RETC) (SEMARNAT, 2017) ofrece composiciones químicas en unidades de masa por subrama de actividad económica por ubicación, mientras que la información de los Costos Totales de Agotamiento y Degradación Ambiental (CTADA) aporta costos en grandes rubros (emisiones de CO<sub>2</sub>, PM10, tala de árboles, incendios forestales, etc.) en términos del Producto Interno Bruto (PIB) basados en costos unitarios por emisor (INEGI, 2013). En consecuencia, si se quisiera construir algún modelo robusto, se requeriría de ambas bases de datos y poder vincularlas de manera consistente y congruente, calculando el fac-

tor de contribución por contaminante (ver *Anexo*, sección A.2). La herramienta propuesta (tabla dinámica), junto con el uso de los escenarios, proporcionará una mejor idea sobre los retos financieros a enfrentar y apoyará, como dato inicial, el costo unitario anual en la planeación del cierre minero; abre, así, la posibilidad de construir modelos que arrojen mayor claridad en la explotación minera factible cumpliendo con los Objetivos de Desarrollo Sostenible.

## Breve estado del arte

En México, los principales contaminantes metálicos (dada su toxicidad y abundancia) son Hg, As, Pb y Cr (Lara *et al.*, 2018; Martínez *et al.*, 2010; SGM, 2020). Las entidades federativas más afectadas son Zacatecas, Querétaro, Hidalgo y San Luis Potosí, pertenecientes a las regiones hídricas administrativas (RHA) VII, VIII, IX, X y XIII, que cubren gran extensión de acuíferos. La mayoría de las técnicas de remediación se aplican *in situ* en diversos suelos; una de las más utilizadas es la electrorremediación, que puede ser aplicada tanto a suelos contaminados con metales pesados como con materiales orgánicos, y ha logrado alcanzar la remoción a 100 % de desechos de un solo metal; puede complementarse con otras para mejorarla y es menos costosa en suelos impermeables (De la Rosa *et al.*, 2007). Para remediar los suelos a mediano plazo, se usa frecuentemente la técnica de fitorremediación con irrigación por goteo o vasijas de barro sin aislar; el costo es el más bajo dentro de las diferentes opciones (Covarrubias y Peña, 2017). En específico, la de biorremediación intrínseca tiene una duración de 30 años, mientras que la acelerada, de cinco años. Esta es favorable para suelos con porosidad promedio o mayor de 0.25 u. p. (una unidad equivalente al porcentaje de espacio *poral* en una unidad de volumen de roca; se abrevia como u. p. y varía entre 0 y 100.), como los suelos arcillosos, arenosos o calcáreos (Ingaramo *et al.*, 2007).

En minas extractoras de oro, el principal residuo es el cianuro (altamente corrosivo) y se localiza en

<sup>1</sup> Elaborado por el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI).

el drenaje ácido, por lo que las técnicas usadas, sobre todo en México, son el lavado de suelos y la reparación del drenaje (dura al menos tres años) con un costo inicial entre 150 millones y 180 millones de dólares (New Gold Inc., 2018; Oliveros *et al.*, 2018; Sánchez-Ubillús, 2013; Grupo México, 2020b; AMSAC, 2019a y 2019b; Inco, 2020; PERCAN, 2002). El proceso de remediación es a perpetuidad bajo vigilancia y mantenimiento, por lo que el costo generalmente se transfiere a la población, por lo cual es mucho más difícil de calcular en los planes de cierre por su duración; en el mejor de los casos, se llega a alcanzar una resiliencia de 80 %, ya que estos procesos metalúrgicos destruyen la combinación química de los elementos y resultan en la producción de diversos compuestos de desecho, incluyendo emisiones a la atmósfera, polvo, escoria, productos de tostado, aguas residuales y material lixiviado (Armendáriz-Villegas, 2016).

Además, hay otros compuestos tóxicos a considerar: del reporte del derrame en la mina Buenavista del Cobre, S. A. de C. V. en el 2014, se afectaron los ríos Bacanuchi y Sonora con solución de sulfato de cobre acidulado ( $\text{CuSO}_4$ ) y residuos de As, vanadio (V), Zn, Pb y altas concentraciones de Hierro (Fe), Cu, Mn y aluminio (Al), metales para los cuales hay algunas normas oficiales mexicanas (NOM) que establecen límites máximos en el suelo.<sup>2</sup> También se contaminaron acuíferos de donde se extrae agua para uso de la población (Tuncak, 2018). Generalmente, para detener la contaminación por aguas mineras ácidas, se siguen tres etapas: a) control del proceso de generación ácida, b) control de la migración de aguas ácidas y c) recolección y tratamiento de aguas ácidas mineras (Cortés *et al.*, 2016).

En el caso del Bacanuchi y Sonora, se construyó un muro, reforzó su planta de lixiviación y lavó la zona afectada con cal para neutralizar el ácido. Afortunadamente, no hubo daño en la flora y la

fauna (biodisponibilidad<sup>3</sup>), lo que disminuyó el costo por pérdidas de especies endémicas (Oliveros *et al.*, 2018) y se limpiaron los ríos y acuíferos (Grupo México, 2014a y 2014b).

Cuando se trata de remediar aguas ácidas mineras (por lo general, contienen altas concentraciones de metales pesados, As y minerales sulfurados) que son vertidas en ríos o acuíferos, se utilizan técnicas activas<sup>4</sup> y pasivas.<sup>5</sup> Dentro de las primeras están las de neutralización y precipitación, aireación del agua (por cascadas) o adición de oxidantes, intercambio iónico, tratamiento biológico, procesos de membrana y oxidación fotoquímica; en las pasivas están los tratamientos químico y biológico.

La técnica de remediación a través de ácidos húmicos es conveniente de manera natural cuando existen acuíferos. Uno de sus métodos es la difusión iónica de metales. La acción del ácido es disminuir la movilidad de los metales con mayor retención de Ni, Cu, Zn y Cd, mientras que en suelos con Pb y Zn hay más movilidad. Por ello, la biodisponibilidad debe ser tomada en cuenta muestreando el suelo contaminado y determinando la densidad de los contaminantes por metro cúbico (muestras de suelos de 0-20 cm de profundidad, por lo menos). Cada metal es extraído de manera secuencial, comenzando con el Ni y, enseguida, con Cu, Zn, Cd y Pb (Escalera, 2007).

Debido al uso de viejos procesos de extracción, hay presencia de Hg y Sb en sedimentos, lechos de cuencas y acuíferos en las RHA mencionadas (Cortés *et al.*, 2016). El Hg es absorbido por organismos vivos, principalmente plantas, peces y crustáceos, por lo que en los últimos años se ha promovido proibir su uso y fomentar actividades alternativas (Chappuis, 2019). Lo anterior lleva a la nece-

2 Normas aplicadas: NMX-AA-030-SCFI-2001 (SCFI, 2001a), NOM-021-SEMARNAT-2000 (SEMARNAT, 2000a), EPA 3050B (EPA, 2000), NOM-147-SEMARNAT/SSA1-2004, NMX-AA-132-SCFI-2006 para determinar las concentraciones de los siguientes metales pesados: Cd, Ni, Cr, Mn, Zn, Al y Pb (Flores *et al.*, 2018; REACH, 2006; FG, 2016).

3 La biodisponibilidad se refiere a la concentración de un elemento que se encuentra disponible para los organismos vivos, y está definida por la relación que hay entre la concentración en el suelo y el nivel introducido en o en el organismo.  
4 La oxidación solar convierte As (III) en As (V), que es menos soluble y absorbible por los seres vivos. Cuando la concentración del As es baja, se utiliza caliza y precipitación de metales pesados. Ambos son procesos relativamente simples y económicos (Escalera, 2007) y fueron usados en la remediación del accidente en los ríos Sonora y Bacanuchi en el 2014.  
5 Son convenientes en humedales y pantanos artificiales, ya que contribuyen a la estabilidad inerte del As.



sidad de contar con técnicas de muestreo y análisis físico-químicos confiables con base en algunas normas. Un método es el denominado Voltamperometría de Redisolución Anódica (AdSV) aplicado en la RHA-VIII, el cual es confiable a 95 % en agua y sedimentos superficiales para medir concentraciones de metales pesados (Gudiño *et al.*, 2017); por eso, se consideró como generador de dato en el cálculo de los costos de remediación.

Históricamente, las técnicas utilizadas en México son: electrorremediación, neutralización química de ácidos, lavado de suelos y mantos, así como biorremediación (microrremediación, bioventilación, fitorremediación, biolixiviación, biorreactor, etc.), las cuales se consideraron en este trabajo.

## Metodología

Se identificaron diferentes tipos de información disponible: composición química de los residuos, densidad, porosidad del suelo, profundidad del muestreo, área dañada, contaminación de aguas superficiales o subterráneas relacionadas directamente con las minas (acuíferos, ríos, afluentes, arroyos, manantiales o presas) que se denominaron *aguas tóxicas*, y el plazo planeado para ejecutar el cierre (de tres a 20 años y monitoreo a perpetuidad), y se clasificaron en costos mínimos, promedio y máximos; en los casos de contaminación con cianuro o detección de aguas tóxicas, se asignó el máximo. Se debe hacer notar que, en presencia de este compuesto químico, será el costo unitario inicial después del cierre de la mina, ya que se requiere supervisión y mantenimiento permanentes.

Se calcularon los costos por tonelada de tierra contaminada según año utilizando el INPP año base 2013 = 100 del subsector minero no petrolero (INEGI, 2013), que no incluye los de supervisión y monitoreo postcierre, y la composición química a remediar fue Pb, As, Hg, Cd, cianuro, Cr, Mo, Zn y Mn (que se denominarán como *tóxicos*), además de aguas tóxicas y año de inicio del cierre. Los tipos de datos disponibles se presentan en el cuadro 1.

**Cuadro 1**  
**Tipo de información adicional a considerar en los cálculos de los costos unitarios**

Tipo de información disponible	Descripción
1	Profundidad del muestreo, toneladas de tierra contaminada por metro cúbico, hectáreas por remediar.
2	Miligramos de tóxicos por kilogramo de tierra muestreada, kilogramos totales a remediar.
3	Toneladas de suelo contaminado por hectáreas por remediar, costo de remediación en pesos por tonelada de tierra contaminada.
4	Toneladas de material contaminado y porosidad del terreno mayor o no a 2.5.

Del tipo de información disponible se procede a calcular el costo unitario de remediación por año, transformándola a pesos/tonelada/año.

Tipo 1:

$$\text{costo unitario}_i = \frac{\text{costo presupuestado}_i}{\text{toneladas a remediar}_i} = \frac{\text{costo presupuestado}_i}{r_i}$$

$$r_i = \frac{\text{toneladas de tierra contaminada}_i}{\text{metro cúbico}_i} * \text{profundidad de muestreo}_i * \text{área por remediar}_i$$

Tipo 2:

$$\text{costo unitario}_i = \frac{\text{costo presupuestado}_i}{\text{toneladas a remediar}_i} = \frac{\text{toneladas a remediar}_i}{\text{toneladas a remediar}_i} = \frac{(\text{mg de tóxico en la muestra}_i / \text{kg de tierra muestra}_i)}{(\text{kg totales de tierra}_i)} \cdot 10^6$$

Tipo 3. Es la más completa, pues proporciona directamente el costo unitario e información extra de las toneladas contaminadas por hectárea, por lo que se obtendría el costo unitario por hectárea. Generalizando:

$$\text{costo unitario}_t = \frac{\text{costo presupuestado}_t}{\text{superficie a remediar}_t} = \frac{[\$],}{[\text{metro cuadrado o hectárea}]_t}$$

Tipo 4. Con el ánimo de valorar todos los datos disponibles, se incluyó esta. Contiene los más incompletos y debe averiguarse si hay fuentes de agua afectadas. La composición química del muestreo es determinante. Se asigna el valor máximo al tiempo  $t$  registrado si la porosidad es mayor a 2.5 (suelo muy filtrable); si es menor, se da el mínimo (casi infiltrable) si no hay registro de cianuro en suelo sólido; y se asigna el valor promedio si hay contaminación ligera de este compuesto químico en el sustrato (REACH, 2016). Afortunadamente, solo se encontraron un par de casos con esta clase de información pues, por lo general, se encuentra de los tipos 1 y 3:

$$\text{costo unitario}_t = \begin{cases} \text{Max}\{\langle \text{valor registrado} \rangle_t\}, & \text{si porosidad} > 2.5 \\ \text{Promedio}\{\langle \text{valor registrado} \rangle_t\}, & \text{si porosidad} = 2.5 \\ \text{Mínimo}\{\langle \text{valor registrado} \rangle_t\}, & \text{si porosidad} < 2.5 \end{cases}$$

Como el cierre lleva tiempo, se construyeron los flujos de costo/tonelada remediada cada año durante el plazo planeado aplicando el INPP (ver cuadro 2).

## Aplicación

La construcción del cuadro 2 se utilizó (junto con el tipo de información disponible) como dato de entrada para la tabla dinámica, la cual se esquematiza en el diagrama. Dependiendo del tipo de información (cuadro 1) y año de inicio del cierre, se determina el costo por tonelada del material a remediar.

Se hicieron varios ejemplos de aplicación bajo escenario; un caso real fue (Grupo México, 2014b): una mina ha programado su cierre a partir del 2012 y terminará en el 2017, con un presupuesto inicial de 246 815 110 pesos para remediar 290 mil toneladas de desechos de As, Cu, Pb, Cr y Cd, principalmente. En el 2014 se dan cuenta de que faltaría hacerlo con 14 mil. Están seguros de que no existen aguas tóxicas, ya que el suelo es impermeable, pero hay residuos de cianuro en bajas concentraciones a nivel superficial. En este mismo año se solicita una extensión por 18 546 696.33 pesos para remediar las toneladas restantes.

Cabe anotar que para este último punto le faltaría hacer un estudio específico por capas. La aplicación para ilustrar la presente investigación consideró una primera remediación y aproximar el peor escenario. Los datos reales se utilizaron para establecer cinco escenarios distintos de lo que pudo haber pasado ya que, al carecer del muestreo por capas, hubiera sucedido contaminación de acuíferos en diferentes grados. No se conocen las toneladas remediadas cada año ni su dinámica de remediación, pero los resultados pueden verse en el siguiente apartado. Se consideró una remediación lineal, esto es, 37 500 toneladas/año, aunque podría establecerse cualquier otra dinámica.

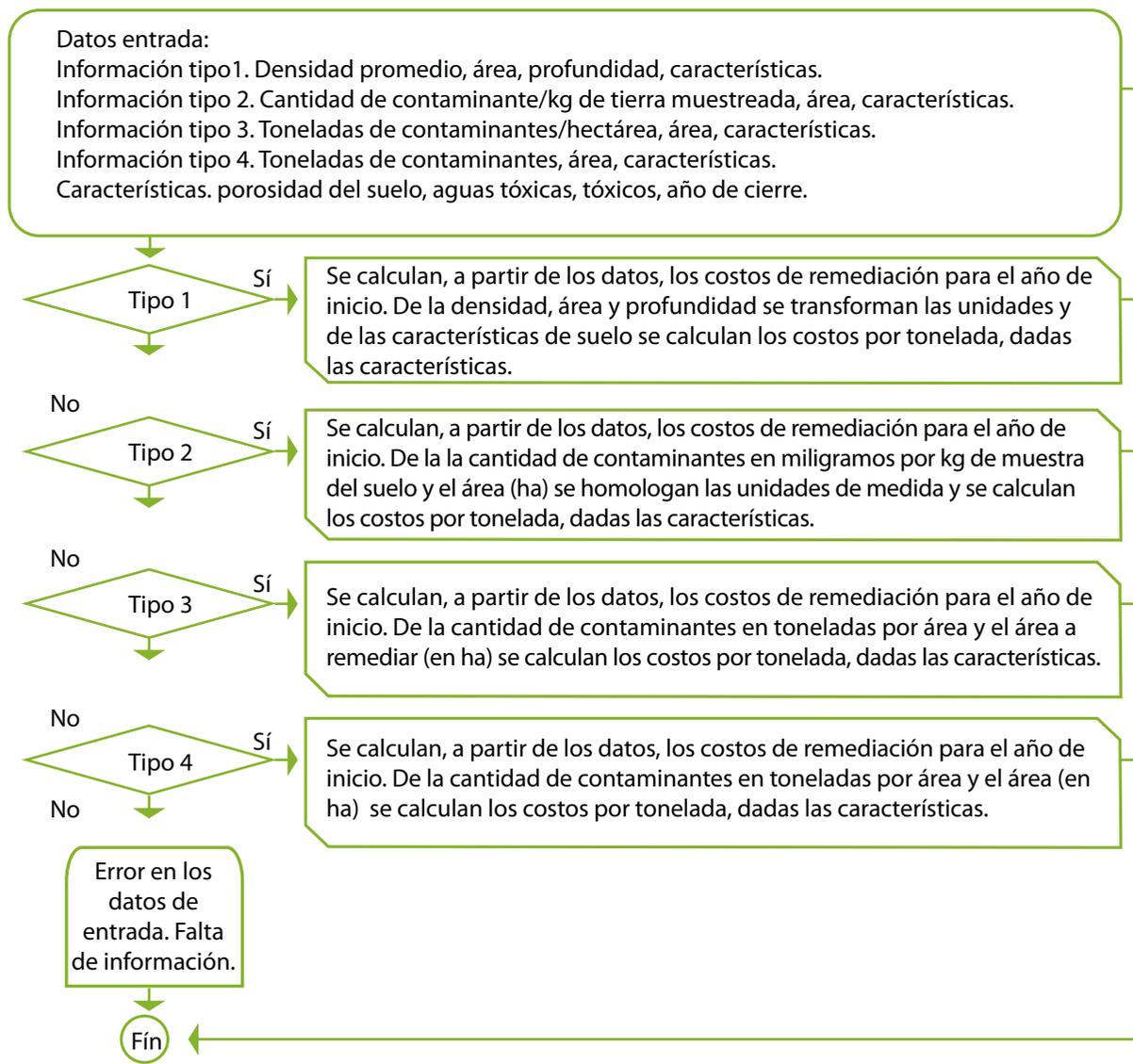
## Simulaciones 2012-2017

### Escenarios

- A: 10 % más del costo/tonelada mínimo + extensión préstamo ejecutado a partir del 2015 con un programa de 37 500 toneladas/año remediadas, con residuos de cianuro en suelo y no contaminación de acuíferos/ríos/afluentes/presas.
- B: costo/tonelada máximo + extensión préstamo ejecutado a partir del 2015 y 37 500 toneladas/año remediadas, con residuos de cianuro en suelo y contaminación de acuíferos/ríos/afluentes/presas por cianuro.

Diagrama

### Esquema general de aplicación del cuadro 2 para el cierre de pasivos mineros de materiales metálicos según información disponible



- C: 18.5 % más del costo/tonelada mínimo + extensión préstamo ejecutado a partir del 2015 y 37 500 toneladas/año remediadas, con residuos de cianuro en suelo y contaminación media en acuíferos/ríos/afluentes/presas con presencia de cianuro.
- D: 10 % más del costo/tonelada mínimo y 37 500 toneladas/año remediadas, con residuos de cianuro en suelo y ligera contaminación en acuíferos/ríos/afluentes/presas sin presencia de cianuro.

- E: 18.5 % más del costo/tonelada mínimo y 37 500 toneladas/año remediadas, con residuos de cianuro en suelo y contaminación media de acuíferos/ríos/afluentes/presas sin presencia de cianuro.

### Resultados

Se calcularon los costos unitarios de remediación de pasivos metálicos mineros del 2004 al 2020, los

**Costos de remediación (pesos MX/toneladas) del 2004 al 2020**  
(2013 = 100 INPP minería no petrolera)

INPP	2004	2005	2006	2007	2008
	57.49021603	58.33779632	71.55644213	82.41853205	98.02541446
<b>Costos (pesos/t)</b>					
Máx.	689.3818808	402.1701975	287.7786846	237.1829674	232.4995868
Prom.	386.7327899	225.6113873	161.4394818	133.056051	130.4287455
Mín.	235.492179	137.3809477	98.30491836	81.02147065	79.42163241
INPP	2009	2010	2011	2012	2013
	82.55597751	89.12216594	102.4031983	98.15506159	100
<b>Costos (pesos/t)</b>					
Máx.	191.94231	171.06314	175.17413	171.94227	171.94227
Prom.	107.67673	95.96383	98.270031	96.45701	96.45701
Mín.	65.567305	58.435002	59.839311	58.735313	58.735313
INPP	2014	2015	2016	2017	2018
	102.4551078	108.2997008	124.2058237	129.0347125	151.4676513
<b>Costos (pesos/t)</b>					
Máx.	176.163641	190.7846961	236.9657033	305.7680139	463.1396293
Prom.	98.82513348	107.0273238	132.9341692	171.531223	259.8143148
Mín.	60.17732819	65.17186635	80.94725343	104.4500557	158.2080463
INPP	2019	2020			
	141.86821	147.13152			
<b>Costos (pesos/t)</b>					
Máx.	657.0479078	966.7245865			
Prom.	368.593921	542.3178457			
Mín.	224.4469253	330.2321771			

cuales se pueden actualizar a medida que el INPP se publique, o reajustar con nueva información publicada.

### Resultados de la simulación bajo escenarios

A: en el 2016 se dispone de 50 693 043.83 pesos para remediar las últimas 14 mil toneladas a partir del 2017. Después de ha-

cerlo, se tendrán 36 489 598.62 pesos para mantenimiento y monitoreo. Cuando no hay contaminación de aguas superficiales o subterráneas, bajan drásticamente los costos de remediación; este es el escenario óptimo y requeriría altos controles durante el ciclo de vida de la mina en el manejo de desechos; sin contaminación de aguas ni suelos por cianuro.

B: en el 2016 se cuenta con un déficit de 56 656 222.21 pesos; falta por remediar

14 mil toneladas y, aun ejerciendo la extensión del préstamo, se tiene en el 2017 un saldo negativo de 70 859 667.42 pesos, por lo que su planeación debe revisarse, pues la presencia de cianuro en concentraciones dañinas y muy posible contaminación de aguas superficiales o subterráneas cambia drásticamente los supuestos iniciales de la planeación de la remediación. No hay fondos para el monitoreo y mantenimiento permanente que se requiere en estos casos, lo cual representa el escenario *catastrófico* y, como se observa, de haber tenido concentraciones altas de cianuro, habría que transferir a la población los costos de remediación, monitoreo y supervisión.

- C: en el 2016 se cuenta con un déficit de 2 981 589.19 pesos; falta remediar 14 mil toneladas y, aun ejerciendo la extensión del préstamo, se tiene en el 2017 un saldo negativo de 8 068 571.90 pesos; no hay fondos para el monitoreo y mantenimiento permanente que se requiere en estos casos. Este escenario es cuando, a pesar de la prevención de 18.5 % más en el costo mínimo esperado para la remediación, no fue suficiente. La limpieza de cianuro es extremadamente cara por ser un material muy corrosivo y difícil de neutralizar; por eso, a partir del 2014 se promovió la no utilización de este compuesto en los procesos mineros.
- D: en el 2016 se dispone de 31 080 837.20 pesos para remediar las últimas 14 mil toneladas a partir del 2017. Después de hacerlo, se tendrán 17 896 204.52 pesos para mantenimiento y monitoreo.
- E: en el 2016 se dispone de 14 410 462 pesos para remediar las últimas 14 mil toneladas a partir del 2017. Después de hacerlo, se tendrán 207 016 pesos para mantenimiento y monitoreo, lo cual requerirá de posterior financiamiento.

Los escenarios D y E son los que presentan un nivel ligero-medio de contaminación y sin cianuro en el agua.

## Análisis y discusión

Con excepción del litio y uranio, la principal explotación de metales en México es oro, plata, cobre, fierro, zinc y manganeso en el lado del Pacífico y centro del país (Toscana y Hernández, 2017; Lara *et al.*, 2018; Martínez *et al.*, 2010; SGM, 2018 y 2020), y las minas de no metales son típicas del lado del Golfo de México (SGM, 2020). Si se dispone de la información suficiente (tipos 1 al 4) es posible manejar escenarios para saber si el monto que se va a asignar a la remediación de suelos contaminados es viable.

En el caso del ejemplo de simulación, si estuviéramos situados en el 2012 no sabríamos si el costo por tonelada asignado es el correcto. Se refiere a un caso que se presentó en San Luis Potosí (SGM, 2020; Grupo México, 2020a y 2020b). Visto desde hoy, se observa que el costo por tonelada debería haber sido 18.5 % superior para cubrir el posible desastre por cianuro, suponiendo un manejo ejemplar del dinero disponible (Dammert *et al.*, 2012). Por eso, en la planeación del cierre deben manejarse escenarios catastróficos para asegurar el monitoreo y supervisión postcierre, debiendo gastar en un muestreo por capas a criterio de la porosidad del suelo y resultado AdVS. Para el muestreo, esta técnica de caracterización es una de las más confiables, ya que con ella es posible conocer las concentraciones de los compuestos químicos que exceden a la norma (Gudiño *et al.*, 2017). Por ello, la planeación del cierre debe hacerse con años de anticipación.

Muchas empresas proponen abrir un fondo a partir de sus estimaciones del anteproyecto de apertura de la mina; así, durante su ciclo de vida, pueden ir preparando el monto para la remediación del suelo afectado. Si estuviéramos enfrentando uno a partir del 2021, sabríamos que, del costo por tonelada de material a remediar en el 2020, habríamos de sumarle de 18.5 a 20 % como nuestro valor inicial para empezar a fondear desde el principio, siempre y cuando tengamos un terreno con características parecidas al del ejemplo. Posteriormente, dentro del ciclo de vida minero se tendrían que manejar escenarios de tipo de cambio, tasas de interés, etc., como lo establece la planeación

estratégica. Recordemos que muchos factores socioeconómicos no pueden ser previstos, por lo que es saludable ir recalculando las expectativas.

Es muy significativo que, en caso de seguir las mismas técnicas de separación de metales preciosos, debe planearse más de 18.5 % extra en el costo por tonelada de remediación esperado. Esto podría abrir la discusión sobre las nuevas técnicas mencionadas en el Anexo, sección A.1 (Escalante *et al.*, 2016; Oliveros *et al.*, 2018; Cartaya *et al.*, 2011; Marín y Romero, 2020) y no aplicar las tradicionales cuando se sabe que no habrá resiliencia, solo se recuperará una fracción de lo que existía.

Lo que se hizo en este trabajo puede replicarse para minas de extracción de no metales o tierras raras e incluirlas en los CTADA y RETC.

## Conclusión

Se obtuvieron los costos por tonelada anual de material a remediar según información disponible y metodología similar a la utilizada en los CTADA. Como se trabaja con la composición química, es posible ligar estos costos unitarios con la base de datos del RETC, aplicando los factores de contribución de cada contaminante. El cálculo de los costos con base en las experiencias pasadas es una valiosa información junto con la de las características del terreno. Es imprescindible un análisis de muestreo y caracterización de muestras con métodos confiables para asociarlos al cálculo de costos unitarios del material a remediar. La tabla dinámica proporciona una herramienta de simulación que nos permite tener una referencia de pasados casos exitosos bajo circunstancias adversas o no planeadas, y debe ser actualizada anualmente para su mejor uso y que a la larga se convierta en un instrumento robusto de apoyo a la planeación de cierres mineros.

## Fuentes

AMSAC. *Memoria anual*. Ediciones del 2007 al 2019. 2019a (DE) consultado el 9 de noviembre de 2020 en <https://www.amsac.pe/publicaciones/memorias-anales/>

- \_\_\_\_\_. *Cierre del depósito de desmontes Excelsior, "el pasivo ambiental más importante del país"*. 2019b (DE) consultado el 7 de noviembre de 2020 en <https://www.amsac.pe/objeto-social/remedacion-ambiental/proyectos-en-obra/pasco-ejecucion/>
- Armendáriz Villegas, E. J. *Áreas naturales protegidas y minería en México*. Tesis. Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S. C., 2016 (DE) consultado el 13 de febrero de 2020 en <http://dspace.cibnor.mx:8080/handle/123456789/497>
- Cartaya O. E., I. Reynaldo, C. Peniche y M. L. Garrido. "Empleo de polímeros naturales como alternativa para la remediación de suelos contaminados por metales pesados", en: *Rev. Int. Contam. Ambient.* 27(1), 2011, pp. 41-46.
- Congress of the United States. Congressional Budget Office. *Bonding for Reclaiming Federal Lands*. October 2003 (DE) consultado el 20 de febrero de 2020 en <https://www.cbo.gov/sites/default/files/108th-congress-2003-2004/reports/10-31-suretybonds.pdf>
- National Library of Australia. *Bonding for Reclaiming Federal Lands* (DE) nla.gov.au
- Chappuis, M. *Remediación y activación de pasivos ambientales mineros (PAM) en el Perú*. Serie Medio Ambiente y Desarrollo. Núm. 168. Santiago, Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), Ed. ONU, 2019, pp. 18, 25, 33-35 (DE) consultado el 9 de noviembre de 2020 en [https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/45068/1/S1901182\\_es.pdf](https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/45068/1/S1901182_es.pdf)
- Cortes-Páez L. E., I. del S. Bravo-Realpe, F. J. Martín-Peinado y J. C. Menjivar-Flores. "Extracción secuencial de metales pesados en dos suelos contaminados (Andisol y Vertisol) enmendados con ácidos húmicos", en: *Acta Agron.* Vol. 65, núm. 3. Palmira, July/Sep. 2016 (DE) <http://dx.doi.org/10.15446/acag.v65n3.44485>
- Covarrubias, S. A. y J. J. Peña-Cabrales. "Contaminación ambiental por metales pesados en México: problemática y estrategias de fitorremediación", en: *Rev. Int. Contam. Ambient. Especial Biotecnología e ingeniería ambiental*. 33, 2017, pp. 7-21 (DE) DOI:10.20937/RICA.2017.33.esp01.01
- Dammert Lira, A., A. Vásquez Cordano, R. García Carpio, V. Zurita Saldaña, H. Ortiz Ruiz y E. Ruiz Mondaca. "Comentarios al documento: ¿cuál es el costo de la contaminación ambiental minera sobre los recursos hídricos en el Perú?", en: *Economía*. Vol. XXXV, núm. 70, semestre julio-diciembre del 2012, pp. 227-245.
- De la Rosa-Pérez, D. A., M. M. M. Teutli-León y M. E. Ramírez-Islas. "Electrorremediación de suelos contaminados, una revisión técnica para su aplicación en campo", en: *Rev. Int. Contam. Ambient.* 23(3), 2007, pp. 129-138.
- EPA. *SW-846 Test Method 3050B: Acid Digestion of Sediments, Sludges, and Soils*. United States Environmental Protection Agency, 2000 (DE) consultado el 3 de febrero de 2020 en <https://www.epa.gov/hw-sw846/sw-846-test-method-3050b-acid-digestion-sediments-sludges-and-soils>

- Escalante-Rebolledo, A., G. Pérez-López, C. Hidalgo-Moreno, J. López-Collado, J. Campo-Alves, E. Valtierra-Pacheco y J. D. Etchevers-Barra. "Biocarbon (biochar) I: Nature, history, manufacture and use in soil", en: *Terra Latinoamericana*. 34, 2016, pp. 367-382.
- Escalera-Vásquez R. "Contaminación minera en Bolivia: alternativas de remediación de aguas ácidas", en: *Investigación & Desarrollo*. Núm. 7, 2007, pp. 83-92.
- FG Mining Group Corporation CI LTDA. *Plan de cierre del proyecto minero El Progreso*. Colombia. 2016, (DE) consultado el 3 de marzo de 2020 en [https://www.cvc.gov.co/sites/default/files/2019-04/15.%20EIA\\_Cap12\\_Plan%20de%20cierre.pdf](https://www.cvc.gov.co/sites/default/files/2019-04/15.%20EIA_Cap12_Plan%20de%20cierre.pdf) y <https://es.scribd.com/document/477340653/13-EIA-Cap10-Plan-de-seguimiento>
- Flores C. M., E. del Ángel, D. M. Frías y A. L. Gómez. "Evaluation of Physicochemical Parameters and Heavy Metals in Water and Surface Sediment in the Ilusiones Lagoon, Tabasco, Mexico", en: *Tecnología y Ciencias del Agua*. Vol. 9, núm. 2, mayo del 2018, pp. 39-57 (DE) DOI:10.24850/j-tyca-2018-02-02 <http://revistatyca.org/ojs/index.php/tyca/article/view/1670/10>, <https://www.gmexico.com/sustentable/protege.html> y <http://www.geologia.unam.mx/noticias/desarrollan-cientificos-de-la-unam-proyecto-de-remediacion-para-contaminacion-minera>
- Grupo México. 2014 a detalle. *Informe anual*. 2014a (DE) consultado el 15 de agosto de 2020 en <https://es.scribd.com/document/352845514/Informe-Anual-Grupo-Mexico-2014>
- \_\_\_\_\_. *Nota informativa*. 2014b (DE) consultado el 15 de agosto de 2020 en [https://www.gmexico.com/GMDocs/InformacionCNBV/Esp/INF\\_ES\\_2014\\_04.pdf#search=derrame%20r%C3%ADo%20sonora](https://www.gmexico.com/GMDocs/InformacionCNBV/Esp/INF_ES_2014_04.pdf#search=derrame%20r%C3%ADo%20sonora)
- \_\_\_\_\_. *Informes sustentables*. Ediciones del 2006 al 2019. 2020a (DE) consultado el 4 de abril de 2020 en <https://www.gmexico.com/Pages/Desarrollo.aspx>
- \_\_\_\_\_. *Reportes financieros*. Ediciones del 2006 al 2019. 2020b (DE) <https://www.gmexico.com/Pages/reportes-financieros.aspx>, consultado el 4 de abril de 2020.
- Gudiño-Guzmán, B., M. Bárcena-Soto, N. Casillas-Santana, M. H. Gutiérrez de la Torre, E. R. Larios-Durán y A. A. Guerrero-de León. "Determinación de metales pesados por (ADSV) en el canal de la aurora, Juanacatlán, Jalisco", en: *Memorias del Congreso Nacional de la Sociedad Mexicana de Electroquímica*. Guanajuato, Guanajuato, México, SMEQ, junio del 2017 (DE) <http://www.smeq.org.mx/frames/XXXIISMEQ.pdf>
- Guerrero-Almeida, D., Y. Chacón-Pérez, D. Fonseca-Hernández y M. Court-Potillé. "Metodología para la ejecución de un cierre de minas sustentable", en: *Minería y Geología*. Vol. 30, núm. 3, julio-septiembre del 2014, pp. 85-103.
- Inco. *Proyectos de remediación*. 2020 (DE) consultado el 6 de junio de 2020 en <https://www.louisberger.com/es/our-work/project/inco-mine-closures-canada>
- Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC). *Metodología de la valoración económica del daño al medio ambiente por contingencias del sector minero. Informe final*. México, INECC, 2016, pp. 7-12.
- INEGI. *Sistema de Cuentas Nacionales de México. Cuentas Económicas y Ecológicas de México, 2007-2011*. Aguascalientes, México, INEGI, 2013 (DE) consultado el 22 de febrero de 2020 en [https://www.inegi.org.mx/contenido/productos/prod\\_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/derivada/economicas/medio%20ambiente/2007\\_2011/702825004034.pdf](https://www.inegi.org.mx/contenido/productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/derivada/economicas/medio%20ambiente/2007_2011/702825004034.pdf)
- Ingaramo, O. E., J. Paz Ferreira, J. M. Mirás Ávalos & E. Vidal Vázquez. "General soil properties characterization in an experimental plot with different management systems", en: *Cadernos Lab. Xeolóxico de Laxe Coruña*. Vol. 32, 2007, pp. 127-137 (DE) <https://core.ac.uk/download/pdf/61899162.pdf>, consultado el 11 de julio de 2020.
- Lara, B. E., P. Aceves y S. Delhumeau. "Minería y desarrollo regional. Competencia por los recursos del territorio en Baja California y Sonora", en: Pérez Campuzano, Enrique y Ventura Enrique Mota Flores (coords.). *Desarrollo regional sustentable y turismo*. Volumen II. Colección: *Nuevos escenarios mundiales, repercusiones en México y potencialidades regionales* (Gasca Zamora, José y Lenin Martínez Pérez, coords.). México, Universidad Nacional Autónoma de México-Asociación Mexicana de Ciencias para el Desarrollo Regional, A. C., 2018 (DE) <http://ru.iiec.unam.mx/3777/>
- Ledesma-Carrión, D. E., A. A. Pérez-Hernández y L. Hernández-Hernández. "Status of the emission and transfer of pollutants in a medium-sized region", en: *SN Applied Sciences*. 2(4):710, April 2020 (DE) DOI:10.1007/s42452-020-2437-5
- Marín Allende, M. de J. y E. T. Romero-Guzmán. "Biosorbentes: una alternativa para remover contaminantes del agua", en: *Glosa, Revista de Divulgación*. Año 8, núm. 14, enero-junio del 2020, pp. 42-43.
- Martínez Chaves, P. A., A. Betancourt Mendieta, M. N. Caretta y M. Aguilar Robledo. "Procesos históricos y ambientales en Cerro de San Pedro, San Luis Potosí, México, 1948-1997", en: *Región y Sociedad*. Vol. 22, núm. 48, 2010 (DE) consultado el 28 de mayo de 2020 en [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=51870-39252010000200007](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=51870-39252010000200007)
- National Research Council. *Innovations in Ground Water and Soil Cleanup: From Concept to Commercialization. Cap. 6, Comparing costs of remediation technologies*. Washington, DC, The National Academies Press, 1997, pp. 252-270 (DE) [NAP.edu/10766](http://www.nap.edu/10766) y <https://doi.org/10.17226/5781>
- New Gold Inc. *Cierre responsable de mina. Acciones, avances y buenas prácticas*. Reportes del 2016 al 2019. 2018 (DE) consultado el 7 de mayo de 2020 en <https://www.newgold.com/responsibility/reports/annual-csr-report/default.aspx>
- Oliveros, D., I. Molina, K. Rodríguez y L. Díaz. "Characterization and Soil Ecological Restoration in Coal Mining Opencast: Backgrounds, Current Techniques and Search for New Techniques for Treatment", en: *Revista Agunkuyáa*. Vol. 7, núm. 1, 2018 (DE) <https://revia.areandina.edu.co/index.php/Cc/article/view/1211>

PERCAN. *Guía para la elaboración y revisión de planes de cierre de minas*. Proyecto de asistencia al sector público minero metalúrgico del Perú. Ministerio de Energía de Perú y Ministerio de Energía y Minas de Columbia Británica, Canadá, 2002 (DE) consultado el 3 de marzo de 2020 en <http://biblioteca.unmsm.edu.pe/redlieds/Recursos/archivos/MineriaDesarrolloSostenible/Cierreminas/Cierreminas.pdf>

Pereira, M. Pasivos ambientales mineros (PAMs). *Una visión regional*. Conferencia CEPAL, 2019 (DE) consultado el 19 de julio de 2020 en <https://www.cepal.org/es/noticias/cepal-participo-webinario-pasivos-ambientales-mineros-su-manejo-la-region-potenciales-impactos>

Pérez-Martínez, I. y F. Francisco Martín-Romero. "Uso de parámetros indirectos para la evaluación de la contaminación de suelos por metales pesados en una zona minera de San Luis Potosí, México", en: *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*. 67(1), 2015, pp. 1-12 (DE) DOI:10.18268/BSGM2015v67n1a1

REACH. *Base de datos 2006* (DE) consultado el 13 enero de 2020 en [https://chemicalwatch.com/REACH\\_consortia](https://chemicalwatch.com/REACH_consortia) y <https://www.insst.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/FichasTecnicas/FISQ/Ficheros/301a400/nspn0339.pdf>

Sánchez Ubillús, J. M. *Análisis y diseño de la arquitectura de procesos para la pequeña minería: cierre de mina*. Tesis. Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas (UPC), 2013 (DE) consultado el 26 de agosto de 2020 en <http://hdl.handle.net/10757/322294>

SEMARNAT. *Compendio de estadísticas ambientales; registro de emisiones de transferencia de contaminantes*. 2017 (DE) consultado el 12 de enero de 2020 en <https://www.gob.mx/semarnat/acciones-y-programas/sistema-nacional-de-informacion-ambiental-y-de-recursos-naturales>

Servicio Geológico Mexicano (SGM). *Panorama minero del estado de Hidalgo*. Secretaría de Economía, 2018 (DE) <https://www.gob.mx/sgm>, consultado el 13 de marzo de 2020.

\_\_\_\_\_. *Inventarios mineros de México*. 2020 (DE) consultado el 23 de enero de 2020 en [https://www.sgm.gob.mx/publicaciones\\_sgm/boletin\\_sgm.jsp?wparam=2](https://www.sgm.gob.mx/publicaciones_sgm/boletin_sgm.jsp?wparam=2)

Toscana Aparicio, A. y P. de J. Hernández Canales. "Gestión de riesgos y desastres socioambientales. El caso de la mina Buenavista del cobre de Cananea", en: *Geográficas*. Núm. 93, agosto, Instituto de Geografía-UNAM, 2017 (DE) DOI: [dx.doi.org/10.14350/rig.54770](https://doi.org/10.14350/rig.54770) y [www.investigacionesgeograficas.unam.mx](http://www.investigacionesgeograficas.unam.mx)

Tuncak, B. *Derrame de 40 millones de litros de solución de cobre acidulado a los ríos Bacánuchi y Sonora provenientes de las instalaciones de la mina Buenavista del Cobre, S. A. de C. V., subsidiaria de Grupo México*. Informe para el relator especial sobre las obligaciones de derechos humanos relacionadas con la gestión y eliminación ecológicamente racionales de las sustancias y los desechos peligrosos. 2018 (DE) [https://www.projectpoder.org/wp-content/uploads/2018/05/Sonora\\_Informe\\_May\\_2018.pdf](https://www.projectpoder.org/wp-content/uploads/2018/05/Sonora_Informe_May_2018.pdf)

Vázquez-Duhalt, R. "Nanotecnología en procesos ambientales y remediación de la contaminación", en: *Mundo Nano*. Vol. 8, núm. 14, enero-junio del 2015 (DE) [www.mundonano.unam.mx](http://www.mundonano.unam.mx)

## Anexo

### A.1 Información sobre características y remediación de suelos

Se encontraron proyectos de México, Canadá, Estados Unidos de América, Perú, Bolivia, Australia y España, que son productores de metales pesados. En todos se apostó por la remediación a mediano y largo plazos.

Una de las técnicas más usadas es la de lixiviación, la cual depende de la sustancia reactiva que, a su vez, lo hace de la composición química del suelo y el grado de oxidación-acidez (pH) de este, clima e hidrología.

En el caso de contaminación de aguas subterráneas, los costos se incrementan hasta en dos órdenes de magnitud. Cuando las reacciones de oxidación se favorecen por la humedad del suelo, los reportes registran si la evaporación supera o no la absorción del agua que afecta a los procesos físico-químicos de estabilización del metal (Cortes-Páez *et al.*, 2016). Es por eso que uno de los parámetros de decisión es el pH del suelo y subsuelo o, en su defecto, la porosidad y densidad (masa de material contaminado por unidad de volumen).

En contraste, en los últimos 10 años se ha apostado a métodos menos drásticos, mejorando la biorremediación a través de polímeros (Cartaya *et al.*, 2011), los cuales reducen costos en 50 % respecto a la electrorremediación (Grupo México, 2014 b y 2020b; PERCAN, 2002; New Gold Inc., 2018); además, han tenido buena respuesta en suelos contaminados con cobre y sus derivados (Pereira, 2019; Sánchez-Ubillús, 2013).

El tipo de elementos contaminantes, así como su concentración en el medio dependen de múl-



tiples factores, entre los que destaca la naturaleza de cada depósito mineral, siendo frecuentes elementos como: As, Fe, Cu, Zn, Cd, cobalto (Co), níquel (Ni), Pb, Hg, talio (Tl), selenio (Se), telurio (Te) y antimonio (Sb).

La explotación de sulfuros puede producir importantes problemas de contaminación de suelos y aguas subterráneas (Toscano y Hernández, 2017; Martínez *et al.*, 2010), pero los generados al extraer oro a través de Hg dejan como residuo cianuro, el cual no se degrada a un material inerte con relativa facilidad en suelo y es extremadamente difícil en agua. Otros métodos utilizados por lo común para la obtención de compuestos inertes (a concentraciones no tóxicas) toman en cuenta técnicas de lavado de suelo y reacciones químicas, como la de electroremediación y biorremediación (incluyendo fitorremediación y biosorbentes). Los convencionales para el tratamiento de aguas residuales con metales pesados a mediano plazo son: precipitación, oxidación, reducción, intercambio iónico, filtración, tratamiento electroquímico, tecnologías de membranas y recuperación por evaporación (New Gold Inc., 2018; Oliveros *et al.*, 2018; Sánchez-Ubillús, 2013).

A partir de los eventos del 2014 en la mina Buenavista del Cobre, S. A. de C. V. del estado de Sonora que afectaron los municipios de Arizpe, Banámichi, Huépac, San Felipe de Jesús, Aconchi, Baviácora y Ures (Tuncak B., 2018), el Instituto Nacional de Ecología y Medio Ambiente diseñó una metodología para medir los daños al medio ambiente y a los recursos naturales. En ella se establecen los costos sociales y ambientales que incluyen los de rehabilitación o remediación (INECC, 2016).

Nuevas técnicas, por ejemplo, el uso de nanopartículas, han aparecido. La capacidad oxidante o reductora de estas o en forma de nutrientes, ha sido sugerida como alternativa para la transformación de contaminantes y sustancias tóxicas, así como para estimular el crecimiento microbiano. Debido a su tamaño y gran superficie específica, son más reactivos y pueden dispersarse con mayor facilidad (Vázquez-Duhalt, 2015). Nanopartí-

culas en minas de hematitas son utilizadas como filtros, lo cual resulta muy barato si el mineral existe en el suelo explotado.

Polímeros asociados a la introducción de plantas captoras de metales pesados bajo métodos eficientes de irrigación actúan como bioconductos (Cartaya *et al.*, 2011; Oliveros *et al.*, 2018).

Biocarbonos, usados como captos de metales pesados (Escalante-Rebolledo *et al.*, 2016).

La bioabsorción es una reacción rápida y reversible de metales pesados, microorganismos y masa orgánica no viva, la cual consiste en utilizar un sólido que actúa como filtro de líquidos. Es de muy bajo costo y es utilizable aun en concentraciones bajas de metales pesados tóxicos (< 200 µg/ml), (Marín-Allende y Romero-Guzmán, 2020).

## A.2 Metodología CTADA

Dependiendo del tipo de información, se procede a calcular el costo unitario de remediación de cada contaminante por año, transformando los datos disponibles a pesos/tonelada/año. Se calcula el factor de contribución del contaminante *i* a partir del análisis AdVS u otra técnica de caracterización:

$$factor_i = \frac{\text{peso molecular del contaminante}_i}{\text{peso molecular de la composición química de la muestra}}$$

Para *n* muestras, se toma como factor el promedio, esto es:

$$\langle factor_i \rangle = \overline{factor_i} \pm \delta, \delta \text{ desviación estándar}$$

Información tipo 1:

$$costo\ unitario_{i,t} = \frac{\text{costo presupuestado}_i}{\text{toneladas a remediar}_i} *$$

$$factor_i = \frac{\text{costo presupuestado}_{i,t}}{r_i}$$

$$r_t = \frac{\text{toneladas de tierra contaminada}_t}{\text{metro cúbico}_t} * \text{profundidad de muestreo}_t * \text{área a remediar}_t$$

Como el cierre lleva tiempo, se construyeron los flujos de costo/tonelada remediada cada año durante el plazo planeado aplicando el INPP (ver cuadro 2).

Información tipo 2:

$$\text{costo unitario}_{i;t} = \frac{\text{costo presupuestado}_t}{\text{superficie a remediar}_t} * \text{factor}_i = \frac{[\$]_{i;t}}{[\text{metro cuadrado o hectarea}]_t} = \frac{\text{toneladas a remediar}_t}{\frac{(\text{mg de tóxico en la muestra}_t / \text{kg de tierra muestra}_t) (\text{kg totales de tierra}_t)}{10^6}}$$

Información tipo 3. La más completa. Proporciona directamente el costo unitario e información extra de las toneladas contaminadas por hectárea, por lo que se obtendría el costo unitario por hectárea. Aquí es importante considerar el término factor:

$$\text{costo unitario}_{i;t} = \frac{\text{costo presupuestado}_t}{\text{toneladas a remediar}_t} * \text{factor}_i = \frac{[\$]_{i;t}}{[\text{metro cuadrado o hectarea}]_t}$$

Información tipo 4. Con el ánimo de valorar todos los datos disponibles, se incluyó esta. Contiene los más incompletos y debe averiguarse si hay fuentes de agua afectadas. La composición química del muestreo es determinante. Se asigna el valor máximo al tiempo  $t$  registrado si la porosidad es mayor a 2.5 (suelo muy filtrable); si es menor, se da el mínimo (casi infiltrable) si no hay registro de cianuro en suelo sólido; y se asigna el valor promedio si hay contaminación ligera de este compuesto químico en el sustrato (REACH, 2016). Afortunadamente, solo se encontraron un par de casos con esta clase de información pues, por lo general, se encuentra de los tipos 1 y 3. Se siguen los criterios de porosidad de la información tipo 4.

# Modelación espacial bayesiana de la pobreza y el gasto social en municipios de Chiapas a través de INLA

*Bayesian Spatial Modeling of Poverty and Social Spending in Municipalities of Chiapas through INLA*

Gerardo Núñez Medina\*

\* El Colegio de la Frontera Norte, gnunez@colef.mx



ileanaruavi / Pixabay

El trabajo tiene por objetivo modelar la distribución espacial de la pobreza municipal en Chiapas a partir del efecto que ejerce el gasto social; para ello, se ajusta un modelo de regresión gaussiano estructurado latente que utiliza como variable dependiente la pobreza y como independiente, el gasto social. La finalidad es identificar patrones espaciales no aleatorios de pobreza que resultan de la confirmación de conglomerados espaciales de concentración de pobreza en el que los efectos generados por el gasto social resultan ser estadísticamente significativos; sin embargo, su peso relativo fue marginal.

**Palabras clave:** campo aleatorio markoviano; inferencia bayesiana; INLA; Índice de Moran.

**Recibido:** 19 de abril de 2021.

**Aceptado:** 2 de julio de 2021.

## Introducción

El objetivo del trabajo es modelar la distribución espacial de la pobreza municipal en Chiapas utilizando como variable explicativa el gasto social. La hipótesis sostiene que existe una relación directa entre el nivel ejercido de gasto social y la pobreza municipal observados, los cuales se encuentran espacialmente correlacionados. Es importante aclarar que no se busca realizar una evaluación de la eficiencia del gasto social, sino cuantificar los niveles de asociación espacial entre las variables señaladas para los municipios de Chiapas al 2015.

La importancia de esta investigación se orienta en que Chiapas es la entidad federativa con los mayores niveles de pobreza en el país. El Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social (CONEVAL) estimó que 72.5 % de la población vivía en esta condición y 29.9 %, en condición de pobreza extrema en el 2015 (CONEVAL, 2017), y el gasto social en el estado es uno de los más elevados de todo México (CEFP, 2015). El *Ramo 33* representó 48.1 % de los recursos totales ejercidos por el gobierno estatal en el mismo año.

The objective of this paper is to model the spatial distribution of municipal poverty in Chiapas based on the effect of social spending; for this purpose, a latent structured Gaussian regression model is fitted using poverty as a dependent variable and social spending as an independent variable. The aim is to identify non-random spatial patterns of poverty resulting from the confirmation of spatial clusters of poverty concentration in which the effects generated by social spending turn out to be statistically significant; however, their relative weight was marginal.

**Key words:** markovian random field; bayesian inference; INLA; Moran Index.

La información utilizada a lo largo del trabajo es resultado de la concatenación de dos bases de datos: la primera del CONEVAL, de donde se obtuvieron las mediciones de pobreza municipal, y la segunda de la Secretaría de Planeación, Gestión Pública y Programa de Gobierno (SPGPPG) de Chiapas, de cuya página se recopilaron las cifras relativas al gasto social municipal del *Ramo 33*, en particular del Fondo de Infraestructura Social Municipal ejercido por los municipios durante el 2015.

La medición de la pobreza en México hasta antes del 2010 se hacía tomando como dimensión principal el ingreso, lo que permitía clasificarla en tres líneas principales: 1) pobreza alimentaria, 2) pobreza de capacidades y 3) pobreza de patrimonio. Esto cambió en el 2010 debido a que la *Ley General de Desarrollo Social* ordenó que su estimación se realizaría con un enfoque multidimensional, el cual considera que una persona se encuentra en condición de pobreza cuando su ingreso se encuentra por debajo de la línea de bienestar mínimo y presenta rezagos o carencias en, al menos, uno de sus derechos sociales (CONEVAL, 2014). La línea de bienestar mínimo distingue a la población que no tiene

los ingresos suficientes para adquirir los alimentos necesarios para contar con una nutrición adecuada, incluso si usara todo su ingreso para comprarlos, mientras que la línea de bienestar identifica a aquella población que no posee los recursos suficientes para adquirir los bienes y servicios que requiere para satisfacer sus necesidades tanto alimentarias como no alimentarias (CONEVAL, 2012). Para fines de esta investigación, se utilizó la medición de pobreza multidimensional, en particular el porcentaje de población en condición de pobreza.

Los datos referentes al gasto social municipal provienen del Fondo de Aportaciones para la Infraestructura Social Municipal (FISM), que forma parte del *Ramo 33*. Los fondos de este son recursos que la Federación transfiere a los estados y a los municipios, cuyo gasto está condicionado a la consecución y cumplimiento de objetivos en áreas prioritarias para el desarrollo nacional, como el combate a la pobreza y la construcción de infraestructura. Los fondos del *Ramo 33* son ocho;<sup>1</sup> y de ellos, el Fondo de Aportaciones para la Infraestructura Social (FAIS) se divide en dos partes, estatal, Fondo de Aportaciones para la Infraestructura Social Estatal (FISE), y municipal, Fondo de Aportaciones para la Infraestructura Social Municipal (FISM). Es el único fondo que es ejercido directamente por los municipios,<sup>2</sup> por lo que tiene un efecto territorial medible y diferenciable.

La hipótesis planteada sostiene que existe una relación causal entre los niveles de pobreza y gasto social, misma que es observable y medible en el plano geográfico y que a partir de métodos estadísticos espaciales es posible identificar patrones no aleatorios de asociación espacial entre la po-

breza y el gasto social (Barrientos *et al.*, 2008; Barro, 1991). Para ello, se aplicaron técnicas de análisis exploratorio de datos espaciales (AEDE) y de modelación espacial bayesiana, en particular modelos de regresión bayesiana ajustados a través de la aproximación anidada integrada de Laplace (INLA).

Las relaciones establecidas por distintos marcos teóricos señalan que existe un encadenamiento causal entre el gasto social y la pobreza (Cortés, 2009). El primero se entiende como la erogación destinada a la implementación de políticas públicas dirigidas a atender las necesidades de las personas con menores ingresos, en las regiones con menos recursos y grupos sociales desprotegidos (López & Núñez, 2016), por lo que es considerado uno de los principales instrumentos redistributivos de recursos en la sociedad y el componente más importante del Estado para incidir en la distribución del ingreso, es decir, que uno de los efectos más importantes esperados del gasto social es su capacidad para modificar la distribución del ingreso y, por lo tanto, reducir los niveles de desigualdad y pobreza observados al interior de una sociedad (Ferreira, Leite & Ravallion, 2010).

## Análisis espacial de la pobreza y el gasto social en Chiapas

El trabajo estadístico inicia con un estudio exploratorio de datos que tiene por objetivo identificar patrones de agrupamiento espacial, detectar la presencia de estructuras o advertir la existencia de valores aberrantes espaciales a través de estadísticos, diagramas, gráficas y mapas (Chasco, 2003). Una de las primeras formas para detectar patrones de asociación espacial surgió a partir del postulado establecido por Tobler (1970) en su primera ley que dice: "... todo está relacionado con todo, pero las cosas cercanas están más relacionadas que las cosas distantes...". Esta sienta las bases para definir el concepto de autocorrelación espacial como una medida de asociación entre unidades espaciales respecto de los valores alcanzados por un atributo o variable previamente definida.

1 Los fondos constituidos con recursos del *Ramo 33* son: I. Fondo de Aportaciones para la Educación Básica y Normal; II. Fondo de Aportaciones para los Servicios de Salud; III. Fondo de Aportaciones para la Infraestructura Social (Estatal y Municipal); IV. Fondo de Aportaciones para el Fortalecimiento de los Municipios y de las Demarcaciones Territoriales del Distrito Federal (FORTAMUN); V. Fondo de Aportaciones Múltiples; VI. Fondo de Aportaciones para la Educación Tecnológica y de Adultos; VII. Fondo de Aportaciones para la Seguridad Pública de los Estados y del Distrito Federal; y VIII. Fondo de Aportaciones para el Fortalecimiento de las Entidades Federativas.

2 El Fondo para la Infraestructura Social Municipal (FISM) junto con el Fondo de Aportaciones para el Fortalecimiento de los Municipios y las Demarcaciones Territoriales del Distrito Federal (FORTAMUN) son los únicos dos fondos del *Ramo 33* que son ejercidos directamente por los municipios, sin embargo, no fue posible disponer de las cifras a nivel municipal del fondo FORTAMUN.

El Índice de Moran es un estadístico que estima el nivel de autocorrelación espacial. En su versión global, mide la correlación que hay entre la variable y el espacio geográfico, conformado por todas las regiones analizadas al unísono.<sup>3</sup> Evalúa la existencia de un patrón de agrupación, dispersión o aleatorio y devuelve valores entre -1 y +1, lo que permite reconocer conglomerados de unidades espaciales (Anselin, 1995) en cinco categorías: 1) *low-low*: unidades con valor inferior al promedio, rodeadas de unidades con valores por debajo de la media del atributo de interés que corresponden a conglomerados llamados zonas frías; 2) *low-high*: unidades espaciales con valor por debajo del promedio rodeadas por unidades con valores por encima del promedio de la variable de interés; 3) *high-low*: unidades espaciales con valor por arriba del promedio rodeadas por unidades con valores por debajo del promedio de la variable de interés; 4) *high-high*: unidades con valor por encima del promedio rodeadas de unidades con valores por arriba de la media de la variable de interés; corresponden a conglomerados denominados zonas calientes; 5) *no significant*: el conjunto de unidades espaciales donde la variable no presenta niveles de correlación estadísticamente significativos respecto de sus vecinos (Getis & Ord, 1992).

Los resultados de las estimaciones del Índice de Moran para los niveles pobreza y gasto social municipal se muestran en el cuadro 1 e indican que existe autocorrelación espacial global con un nivel de significancia estadística superior a 5 % para am-

<sup>3</sup> El Índice de Moran se construye en dos versiones, *Moran Global* y *Moran Local*; la diferencia radica en que el primero es una medida de autocorrelación espacial para todas las regiones analizadas y la segunda mide el grado de autocorrelación entre una región y sus vecinos. En ambos casos, la correlación se estima considerando la distancia y un atributo y.

bas variables, y que representan altos índices de autocorrelación espacial (Cressie, 1993); en los dos casos, los niveles de autocorrelación resultaron ser estadísticamente significativos (el *p-value* asociado < 0.01, ver cuadro 1), lo que permite suponer la presencia de relaciones espaciales capaces de explicar los niveles de pobreza municipal a lo largo de todo Chiapas.

La pendiente de la recta de regresión observada en la gráfica 1 representa el valor del Índice de Autocorrelación Espacial Local de Moran para la población en pobreza (0.486); a mayor pendiente se tendrá un nivel más elevado de autocorrelación espacial, mientras que el mapa 1 representa la correlación espacial local de la pobreza municipal de acuerdo con la clasificación establecida por el mismo Índice (Cliff & Ord, 1981). En el mapa es posible identificar un conglomerado caliente, es decir, un conjunto de municipios con altos niveles de pobreza rodeados de otros con niveles de pobreza por encima de la media estatal; además, se distinguen tres conglomerados fríos, donde la presencia de pobreza es baja y que están rodeados de municipios con bajos niveles de incidencia de pobreza.

En Chiapas, desde la década de los 90, la política social se ha convertido en el componente más importante de la política pública con dos fondos fundamentales: 1) el fondo *Ramo 33* y 2) el fondo *Ramo 20*, de subsidios y transferencias destinados al desarrollo social. Ambos son ejercidos desde los niveles federal y estatal, mientras que el FISM es un fondo destinado al financiamiento de obras, acciones sociales e inversiones municipales dirigidas a atender rezagos en áreas como: agua potable, alcantarillado, electricidad, caminos rurales, infraestructura básica de salud y educativa, así como mejoramiento de vivienda.

Cuadro 1

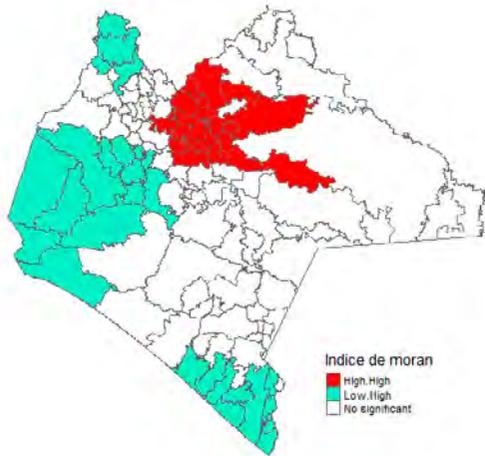
### Índice de Moran Global

	<i>Moran I statistic</i>	<i>Expectation</i>	<i>Variance</i>	<i>p-value</i>
Pobreza	0.4867	-0.008547	0.003115	0.000
Gasto social	0.5323	-0.008547	0.003057	0.000
Pobreza y gasto social	0.5037			

**Fuente:** elaboración propia con datos del CONEVAL y de la SPGPPG-Chiapas.

Mapa 1

### Autocorrelación espacial de la pobreza



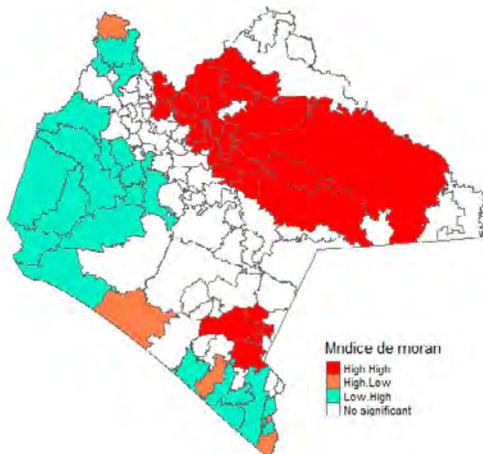
Fuente: elaboración propia con datos del CONEVAL.

A diferencia de los fondos señalados, 80 % del FAIS debe ser transferido directamente a los municipios a través del FISM, de forma que este tiene la capacidad para transformar el entorno social y económico de un área geográfica específica a partir de generar condiciones de bienestar que reduzcan los niveles de pobreza al mejorar el acceso a bienes y servicios públicos.

El mapa 2 muestra la distribución espacial del gasto social municipal (FISM) analizado a través

Mapa 2

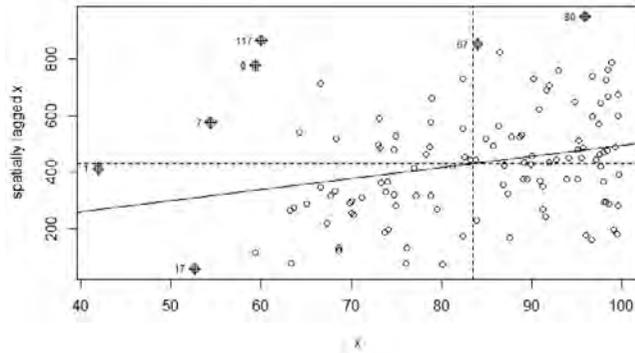
### Autocorrelación espacial del gasto social FISM, 2015



Fuente: elaboración propia con datos de la SPGPPG.

Gráfica 1

### Índice de Moran de la pobreza



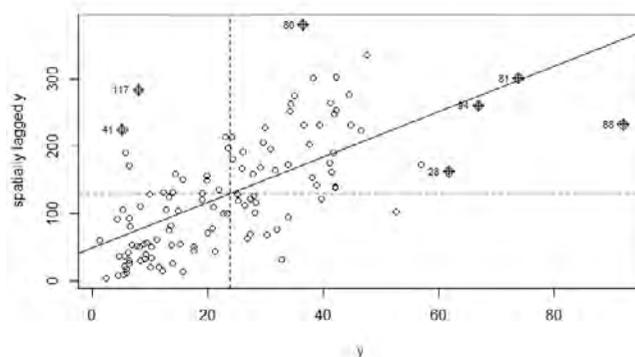
Fuente: elaboración propia.

del Índice de Moran; en este se observan cinco conglomerados, dos de alto y tres con bajo gasto social, es decir, dos zonas calientes y tres frías. Los conglomerados fríos se localizan, dos en la región costa y uno en la frontera con Tabasco y agrupan a los municipios donde el gasto social ejercido se encuentra por debajo del gasto promedio del estado, para el mismo ramo y año.

La pendiente de la recta de regresión, en la gráfica 2, representa el valor del Índice de Moran Global de autocorrelación espacial positiva (0.532) y estadísticamente significativa para el gasto social municipal (FISM). Es notoria la presencia de cinco municipios, en el cuadrante I, que están altamente correlacionados de forma positiva: Chiapilla, Siltepec, Simojovel, Sunuapa y Teopisca, lo cual significa que reciben montos per cápita significativa-

Gráfica 2

### Índice de Moran FISM, 2015



Fuente: elaboración propia.

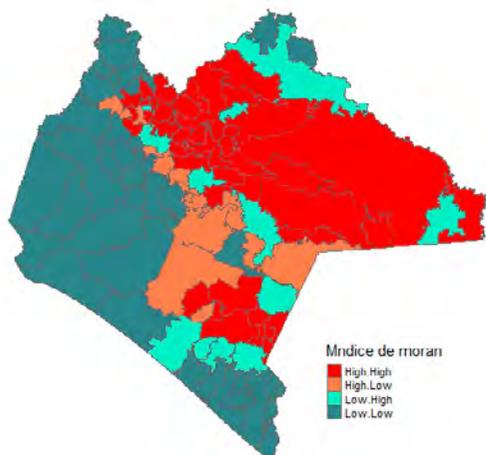
mente superiores a los que se esperaba en relación con los recibidos por municipios vecinos. En contraste, en la misma región destaca el municipio de Yajalón, que no está correlacionado espacialmente con sus vecinos en términos de lo que a gasto social se refiere.

De manera adicional, se estimó la correlación espacial entre la pobreza y el gasto social con la finalidad de establecer la evidencia para el posterior desarrollo de un modelo de regresión gaussiano latente. El concepto de autocorrelación espacial bivariada busca medir el grado de asociación sistemática entre una variable  $x_j$  observada en una ubicación determinada y su relación con una variable  $x_k$  observada en ubicaciones vecinas. El coeficiente de correlación espacial bivariado de tipo Moran entre dos variables se define como:

$$I_{jk} = \frac{z_j^i W z_k}{z_j^i z_j},$$

donde  $z_j$  y  $z_k$  son la versión estandarizada de  $x_j$  y  $x_k$ , de forma que tienen media 0 y varianza 1;  $W$  es la matriz de pesos espaciales estandarizada por renglones que define el conjunto de vecinos de cada observación. Dado que las variables  $z$  están estandarizadas,

Mapa 3  
**Índice de correlación espacial bivariado, pobreza y gasto social**



Fuente: elaboración propia con datos de la SPGPPG.

darizadas, la suma de cuadrados utilizada en el denominador es una constante igual a  $n$ .

En el cuadro 1 puede verse la correlación espacial bivariada entre la pobreza y el gasto social, la cual fue de 0.50, lo que implica la existencia de un alto grado de correlación. El mapa 3 muestra la asociación entre los niveles de pobreza observados en el municipio  $i$  y el rezago espacial, correspondiente al gasto social ejercido en los municipios de la misma área geográfica; muestra dos conglomerados donde coinciden altos niveles de pobreza con altos niveles de gasto social, además de dos conglomerados donde la relación se registran bajos niveles de pobreza y de gasto social; en general, los conglomerados coinciden con las regiones de gasto social, no así con las de pobreza.

## Metodología

Los modelos de regresión gaussianos estructurados latentes suelen definirse en tres capas: 1) hiperparámetros, 2) campo gaussiano latente y 3) función de verosimilitud (Rue, Martino & Chopin, 2009). Esta última maximiza la probabilidad de ocurrencia del vector de parámetros condicional a los datos observados y, generalmente, se modela utilizando una familia de tipo exponencial; en nuestra investigación se utilizó una distribución Poisson. El campo gaussiano latente se liga a la función de verosimilitud a través de una función de enlace dada por:

$$\mathbb{E}(Y/\eta) = h^{-1}(\eta),$$

donde  $Y$  es el vector de observaciones; en nuestro caso representan los niveles de pobreza municipales;  $\eta$  es el predictor lineal; y  $h$ , la función de enlace. En términos generales, INLA está centrado en el cálculo de las distribuciones marginales *a posteriori* de los efectos latentes y de los hiperparámetros, en lugar de concentrarse en estimar la distribución posterior conjunta. Así, la distribución marginal posterior de los hiperparámetros  $\theta$  se aproxima a través de una distribución gaussiana condicio-



nal a los efectos latentes. El modelo de regresión jerárquica se representa a partir de las siguientes ecuaciones:

$$\psi \sim \pi(\psi) \tag{1}$$

$$x / \psi \sim N(0, Q(\psi)^{-1}) \tag{2}$$

$$y / x, \psi \sim \prod_i \pi(y_i / \eta_i(x), \psi), \tag{3}$$

donde  $Q(\psi)$  es la matriz de precisión (la inversa de la matriz de covarianza) del vector gaussiano latente  $x$ ;  $\eta(x) = Ax$  representa la transformación lineal que mapea el vector latente  $x$  sobre los predictores  $\eta_i = \eta_i(x)$  asociados a las observaciones  $y_i$  (Martino & Rue, 2010). La estructura de dependencia entre las observaciones  $y_i$  se captura a través de la matriz de precisión  $Q(\psi)$  sobre el campo latente  $x$ .

En nuestro estudio:

$$\eta_i = \log(Q_i),$$

donde:

$$\lambda_i = E_i Q_i,$$

donde  $\lambda_i$  se define en términos de la tasa  $Q_i$  y del número esperado de casos  $E_i$ , el cual se estima por medio de:

$$E_j = \sum_{j=1}^J Prob_{ij} \times r_j$$

y la tasa de pobreza municipal se define a partir de:

$$r_j = \frac{\sum_{i=1}^n y_j(S_i)}{\sum_{i=1}^n Prob_{ij}}$$

que es el cociente del número observado de personas en pobreza  $y_i$  y la población expuesta a riesgo de pobreza, misma que se modela con una distribución Poisson  $y_i \sim Poisson(\lambda_i)$  (Blangiardo *et al.*, 2013).

La dependencia espacial se modela a través de la estructura de vecindades presente en los municipios del estado con base en la definición de vecino.

Se dice que dos municipios son vecinos (de primer orden) cuando comparten una frontera común, y que son vecinos de segundo orden cuando algún vecino de primer orden comparte una frontera común (Bivand *et al.*, 2015).

Finalmente, el modelo de regresión gaussiano estructurado latente está dado por:

$$\eta_i = \beta_0 + \beta_1 x_{1i} + u_i + v_i. \tag{4}$$

El parámetro  $\beta_0$  cuantifica la tasa promedio de pobreza en el estado (Blangiardo & Cameletti, 2013). La parte espacial no estructurada se representa por  $v_i$ , cuya distribución está dada por:

$$v_i \sim Normal(0, \sigma_v^2),$$

mientras que  $u_i$  es la parte del modelo espacialmente estructurado condicional autorregresivo, cuya distribución es:

$$u_i | u_{-i} \sim N(\mu_i + \sum_{j=1}^n r_{ij} (u_j - \mu_j), s_i^2),$$

donde  $\mu_i$  es la media del área  $i$  y  $s_i$  la desviación estándar (Rue, Martino & Chopin, 2009), misma que depende del número de vecinos:

$$s_i^2 = \frac{\sigma_u^2}{\#N_i'}$$

donde  $\sigma_u^2$  controla la variación entre efectos aleatorios espacialmente estructurados, mientras que  $r_{ij}$  cuantifica la proximidad espacial (Bivand *et al.*, 2015).  $\beta_1$  representa la parte de efectos fijos del modelo. El coeficiente  $\beta_1$  en su escala natural es el efecto que el incremento de una unidad de gasto social ejerce sobre el aumento de *beta* unidades del riesgo de padecer pobreza. Para el modelo representado por la ecuación (4), el vector de parámetros se da por  $\theta = (\beta_0, \beta_1, f)$  y el vector de hiperparámetros, por  $\psi = \{\tau_u, \tau_v\}$ . Es importante señalar que la precisión se define como el inverso de la varianza  $\tau = \frac{1}{\sigma^2}$  (Martins *et al.*, 2012).

Tal como se definió en la ecuación (2),  $\psi$  conforma un campo aleatorio gaussiano markoviano (GMRF, por sus siglas en inglés), de manera que tie-

ne una distribución normal multivariada con media  $\mu$  y matriz de precisión  $Q(\psi)$ . Los componentes de  $\psi$  se suponen condicionalmente independientes, lo cual implica que  $Q(\psi)$  es una matriz de precisión dispersa (Rue & Held, 2005). Este tipo de matrices permiten un cálculo numérico eficiente para operaciones que requieren de la descomposición LR, lo que genera beneficios computacionales importantes al momento de estimar el valor de los parámetros desconocidos, con la ventaja adicional de que la distribución posterior conjunta de los vectores de parámetros e hiperparámetros puede estimarse como el producto de la densidad del GMRF y la distribución previa del vector de hiperparámetros  $\psi$  (Rue, Matino & Chopin, 2009), ventajas que son utilizadas por el algoritmo implementado en INLA, paquete que fue utilizado para estimar los modelos expuestos.

## Implementación

Una de las limitaciones más importantes a la hora de ejecutar los métodos de regresión bayesianos reside en su alto costo computacional, donde algoritmos como la cadena de Markov Monte Carlo (MCMC), *Metropolis-Hasting* y *Gibbs sampling* son utilizados de manera cotidiana para obtener la distribución posterior de distintos parámetros desconocidos (Blangiardo *et al.*, 2013). En fecha reciente, se ha desarrollado una alternativa a los métodos tipo MCMC, cuya principal ventaja es ser computacionalmente eficiente; la alternativa INLA (Rue *et al.*, 2009; Martino & Rue, 2010) genera soluciones analíticas eficientes, implementadas de forma numérica, cuya finalidad es aproximar la distribución posterior de los parámetros de modelos gaussianos estructurados latentes.

La modelación espacial de la pobreza municipal se realizó a través de la implementación del modelo (4), mismo que fue desarrollado en el paquete INLA disponible en lenguaje R (R Core Team, 2016), donde  $\eta_i$  es el valor esperado de la pobreza municipal y  $x_1$  significa el gasto social municipal per cápita en miles de pesos; los *betas* representan la parte de efectos fijos;  $v_i$ , los efectos espacia-

les no estructurados; y  $u_i$ , la parte espacialmente estructurada del modelo.

Los parámetros estimados se identifican a través del vector de parámetros dado por  $\theta = \{\beta_0, \beta_1, \xi_i, u\}$ . Es importante señalar que, para fines de interpretación, el paquete R-INLA reparametriza  $\xi_i$  como (Martins *et al.*, 2012):

$$\xi_i = u_i + v_i. \quad (5)$$

El valor predeterminado por defecto para la distribución previa de los parámetros está dado por un vector que sigue una distribución gaussiana (Blangiardo *et al.*, 2013), que especifica la media y el inverso de la varianza (precisión). La definición previa del vector de hiperparámetros  $\psi = \{\tau_u, \tau_v\}$  se realizó a través del logaritmo de la precisión de efectos espaciales no estructurados dada como  $\log(\tau_v) \sim \log\text{Gamma}(1, 0.0005)$  y el logaritmo de la precisión de los efectos espacialmente estructurados  $\log(\tau_u) \sim \log\text{Gamma}(1, 0.0005)$ . El objetivo de las especificaciones es definir distribuciones *a priori* no informativas.

## Resultados

La especificación del modelo (4) permite conocer la distribución espacial del riesgo de padecer pobreza. La estimación de los efectos fijos de este se presenta en el cuadro 2. En esta ocasión, el coeficiente  $\beta_0$  carece de significado debido a que, si transformamos el parámetro a escala natural, se tendría que menos de 5 % de la población del estado de Chiapas estaría expuesta al riesgo de ser pobre. Es importante recordar que todos los parámetros estimados se encuentran en escala logarítmica, por lo que deben ser transformados antes de su interpretación.

Cabe señalar que el modelo (4) tiene como finalidad evaluar el efecto del gasto social sobre el riesgo de pobreza municipal. Los resultados indican que el incremento relativo de mil pesos de gasto social per cápita implicaría una reducción de 0.7 puntos porcentuales sobre el riesgo de ser po-

Cuadro 2

**Efectos fijos estimados del modelo lineal aditivo (4)**

	mean	Sd	0.025quant	0.5quant	0.975quant
$\beta_0$	0.046	0.019	0.009	0.046	0.083
$\beta_1$	-0.007	0.001	-0.009	-0.007	-0.006

Fuente: elaboración propia a partir de estimaciones realizadas con R-INLA.

bre (ver cuadro 2), con lo cual se estima que su impacto sobre la pobreza se da en el sentido correcto, con una significancia estadística alta, pero menor a 1 punto porcentual.

Los efectos aleatorios estimados por el modelo (4) contienen información a nivel municipal de los efectos espaciales estructurados y no estructurados. Estos son recogidos por el vector  $\xi$ , que representa el riesgo relativo espacial expresado como:

$$\zeta_i = \exp(\xi) = \exp(u_i + v_i),$$

mismo que representa el riesgo residual relativo de cada municipio (comparado con la totalidad del estado) una vez descontado el efecto del gasto social ( $x_i$ ).

Al igual que en los modelos de regresión convencionales, una de las formas más utilizadas para medir la calidad de ajuste de un modelo gaussiano estructurado latente es mediante la proporción de varianza explicada por el componente espacial estructurado  $u_i$  (que representa la variabilidad explicada a partir del componente condicional autorregresivo); dado que la varianza marginal del componente espacial no estructurado  $v_i$  no es directamente comparable (Rue, Martino & Chopin, 2009), resulta necesario obtener una estimación empírica de la varianza marginal posterior de los efectos estructurados, la cual suele aproximarse a partir de:

$$s_u^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (u_i - \bar{u})^2}{n-1},$$

donde  $\bar{u}$  es el promedio de las  $u_i$ , la cual debe contrastarse con la varianza marginal posterior de los efectos no estructurados a partir de:

$$Frac_s = \frac{s_u^2}{s_u^2 + \sigma_v^2}.$$

La estimación se realiza a través de una simulación de muestras tomadas de las distribuciones marginales posteriores. El procedimiento se encuentra implementado en R-INLA (Martino & Rue, 2010); en nuestra investigación se realizó una simulación de 10 mil casos extraídos de las distribuciones marginales de  $T_v$  y  $T_u$  para cada uno de los municipios.

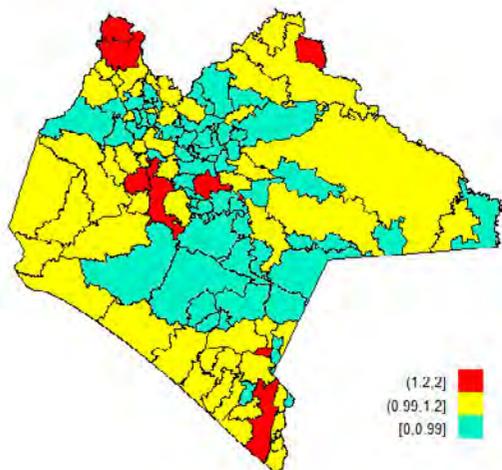
La proporción de varianza espacial explicada resultó ser de 6.6 % para el modelo (4), lo cual sugiere que, a pesar del alto nivel de autocorrelación espacial bivariada estimado, la capacidad explicativa del gasto social sobre la pobreza fue inferior a 1 punto porcentual, por lo que la distribución espacial de un fenómeno como este no puede explicarse solo a través del gasto social, sino que se requiere de un conjunto mucho más amplio de factores.

El mapa 4 muestra la media posterior del riesgo residual relativo  $\zeta$  de ser pobre en comparación con la totalidad del estado de Chiapas (Schrödle y Held, 2011). Los efectos observados presentan un patrón espacial de pobreza donde los municipios dibujados en colores rojo y amarillo se encuentran en mayor riesgo de ser pobres, en comparación con los restantes (verde).

La diferenciación espacial mostrada (mapa 4) pone en evidencia la importancia de la ubicación territorial al momento de determinar los municipios con mayor riesgo de sufrir pobreza. Es importante señalar que los municipios de Arriaga, Berriozábal, Cintalapa, Jiquipilas y Ocozacoautla

Mapa 4

### Riesgo residual relativo de pobreza municipal según el modelo (4)



Fuente: elaboración propia con datos del CONEVAL.

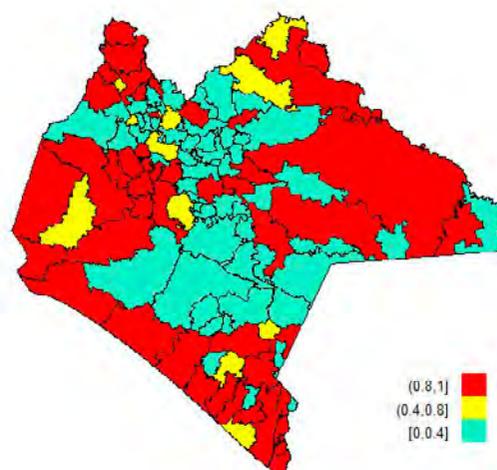
configuran un conglomerado de alto riesgo de padecer pobreza una vez descontado el efecto del gasto social, situación que se contrapone al análisis de correlación espacial bivariada presentado en el mapa 3. Una situación similar se observa en el conglomerado de municipios en color rojo ubicados sobre la costa, tal como puede verse en el mapa 4.

En el mapa 5 se aprecia la probabilidad posterior condicional  $P(\xi_i > 1 | y) \sim P(\xi_i > 0 | y)$ , que cuantifica el riesgo excesivo de ser pobre en el municipio  $i$  dado el nivel medio de pobreza observado en el estado, de manera que los municipios marcados en rojo muestran un patrón de exceso de riesgo de alcanzar niveles de pobreza superiores al promedio estatal, en especial para dos conglomerados de alta probabilidad sobre los municipios de la costa y la frontera con Oaxaca, lo que confirma el patrón observado en el mapa 4.

Los resultados presentados por los mapas 4 y 5 contrastan con los observados en el mapa 3, que configura un patrón de correlación espacial bivariado entre la pobreza y el gasto social, mismo que coloca en una categoría de autocorrelación espacial de baja-baja a los municipios anteriormente señalados, lo cual implica que se forma un con-

Mapa 5

### Probabilidad condicional posterior de pobreza municipal según el modelo (4)



Fuente: elaboración propia con datos del CONEVAL.

glomerado con bajos niveles de gasto social y de pobreza, sin embargo, algunos municipios en estas condiciones presentan una alta probabilidad de ser pobres, en términos del nivel medio de pobreza observado en el estado y una vez descontado el efecto del gasto social.

## Conclusiones

El trabajo ofrece una primera aproximación a la modelación del efecto del gasto social sobre la distribución espacial de la pobreza en municipios de Chiapas, donde el gasto social resultó ser un factor importante para modelar el riesgo de pobreza municipal, sin embargo, a pesar de la enorme transferencia de recursos destinados a su combate, el incremento de mil pesos per cápita anuales (al FISM) reduciría únicamente en 0.7 puntos porcentuales el nivel de pobreza municipal, al 2015, por lo que la repercusión del gasto social en el bienestar de la gente dependería no solo del nivel de gasto, sino también del desempeño y calidad de los servicios ofertados, por lo que el diseño de políticas públicas debería considerar diferentes alternativas para mejorar la efectividad de los programas destinados al combate a la pobreza en el estado.

El análisis estadístico exploratorio de la relación entre la pobreza y el gasto social municipal muestra la existencia de un alto grado de correlación espacial (ver mapa 3), sin embargo, como se demostró a lo largo del trabajo, existen municipios en regiones de Chiapas expuestos a una alta probabilidad de padecer pobreza (ver mapa 5), y se trata de los mismos municipios donde el gasto social se encuentra por debajo del promedio estatal, lo que pone en evidencia la necesidad de modificar el monto y destino de dichos fondos.

El análisis espacial del gasto social permite identificar la forma en la que se distribuyen los recursos en el territorio y la manera en la que estos impactan a los municipios expuestos a mayores niveles de pobreza; para ello, es importante contar con información actualizada y geográficamente desagregada, que permitirá conocer la distribución espacial tanto de los fondos destinados al gasto social como de su efecto en términos de reducción de los niveles de pobreza.

Finalmente, cabe reconocer que el éxito de la estimación del modelo de regresión gaussiano latente se debe, en gran medida, a la aproximación integrada anidada de Laplace implementada en el paquete R-INLA, que proporciona importantes ventajas computacionales que permiten estimar eficientemente el modelo.

## Fuentes

- Anselin, L. "Local Indicators of Spatial Associations-LISA", en: *Geographical Analysis*. Vol. 27, 1995, pp. 93-115.
- Bivand, Roger, Virgilio Gómez Rubio, & Rue Håvard. "Spatial Data Analysis with R-INLA with Some Extensions", en: *Journal of Statistical Software*. 63, 2015, pp. 1-31.
- Blangiardo, M. y M. Cameletti. *Bayesian Spatio and Spatio-Temporal Models with R-INLA*. Wiley, 2013.
- Blangiardo, M., Michela Cameletti, Gianluca Baio and Håvard Rue. "Spatial and spatio-temporal models with R-INLA", en: *Spatial and Spatio-temporal Epidemiology*. Volume 4, 2013, pp. 33-49.
- Barrientos, J., W. Gómez, & R. Renhals. "Crecimiento, distribución y pobreza en América Latina: un ejercicio de panel, 1990-2005", en: *Perfil de Coyuntura Económica*. 11, Universidad de Antioquia, 2008.
- Barro, R. "Economic growth in a cross-section of countries", en: *Quarterly Journal of Economics*. 106(2), 1991, pp. 407-433.
- Cortés, F. *Gasto social y pobreza*. Documento de trabajo. Programa Universitario de Estudios de Desarrollo. México, D. F., UNAM, 2009.
- Centro de Estudios de las Finanzas Públicas (CEFP). *La pobreza y el gasto social en México*. México, Cámara de Diputados, LXIII Legislatura, 2015.
- Chasco, C. *Econometría espacial aplicada a la predicción-extrapolación de datos microterritoriales*. Madrid, Consejería de Economía e Innovación Tecnológica, Comunidad de Madrid, 2003.
- CONEVAL. *Metodología para la medición multidimensional de la pobreza en México*. Segunda edición. México, D. F., CONEVAL, 2014.
- \_\_\_\_\_. *Metodología para la medición de la pobreza en los municipios de México, 2015*. México, CONEVAL, 2017.
- Cliff, A. D. y J. K. Ord. *Spatial processes: Models and Applications*. London, Pion Limited, 1981.
- Cressie, N. *Statistics for spatial data*. New York, John Wiley, 1993.
- Ferreira, F., P. Leite, & M. Ravallion. "Poverty reduction without economic growth? Explaining Brazil's poverty dynamics, 1985-2004", en: *Journal of Development Economics*. 93, 2010, pp. 20-36.
- Getis, A. y J. K. Ord. "The analysis of spatial association by use of distance statistics", en: *Geographical Analysis*. 24, 1992, pp. 189-199.
- López, Jorge y Gerardo Núñez. *Desigualdad y exclusión social en Chiapas, una mirada a largo plazo*. OXFAM México, 2016.
- Martino, S. y H. Rue. *Implementing Approximate Bayesian Inference using Integrated Nested Laplace Approximation: a manual for the INLA program*. Department of Mathematical Sciences, Norwegian University of Science and Technology, 2010.
- Martins, G., D. Simpson, F. Lindgren y H. Rue. *Bayesian computation with INLA: new features*. Norwegian University of Science and Technology Report, 2012.
- R Core Team. *R: A Language and Environment for Statistical Computing*. Vienna, Austria, R Foundation for Statistical Computing, 2016.
- Rue, H. y L. Held. *Gaussian Markov Random Fields. Theory and Applications*. Chapman & Hall, 2005.
- Rue, H., S. Martino y N. Chopin. "Approximate Bayesian inference for latent Gaussian models by using integrated nested Laplace approximations", en: *Journal of the Royal Statistical Society Series B*. 71 (2), 2009, pp. 1-35.
- Schrödle, B. y L. Held. "Spatio-temporal disease mapping using INLA", en: *Environmetrics*. 22 (6), 2011, pp. 725-734.
- Tobler, W. R. "A computer movie simulating urban growth in the Detroit region", en: *Economic Geography*. 46(Supplement), 1970, pp. 234-240.

## Colaboran en este número

---

### Jorge Lara Álvarez

De nacionalidad mexicana. Es licenciado en Economía por el Centro de Investigación y Docencia Económicas (CIDE) y es *MSc en Ag & Resource Economics* por la Universidad de Arizona, así como *MPhil en Economics* por la Universidad de Oxford. En la actualidad, trabaja como subdirector de Evaluación de Programas en Fideicomisos Instituidos en Relación con la Agricultura (FIRA).

**Contacto:** jlara@fira.gob.mx

---

### Edgar Manuel Matus Carballo

De nacionalidad mexicana. Es egresado de la Licenciatura en Actuaría en la Facultad de Negocios de la Universidad La Salle, México. Ha participado en proyectos de investigación, entre ellos, del Fondo Sectorial CONACYT-INEGI. Ha escrito artículos de investigación donde ha desarrollado modelos matemáticos para el análisis organizacional y económico que se han publicado en revistas arbitradas; también ha participado en congresos nacionales e internacionales.

**Contacto:** macaed00@gmail.com

---

### Rocco Petrarca

De nacionalidad italiana. Es maestro en Negocios Internacionales por la Universidad La Salle, México. En la actualidad, estudia la Maestría en Negocios en la ICN Business School de Nancy, Francia. Ha publicado artículos de investigación en materia de desarrollo empresarial en revistas arbitradas y ha participado en congresos nacionales e internacionales.

**Contacto:** roccopetrarca@gmail.com

---

### Carlos Alberto Jiménez-Bandala

De nacionalidad mexicana. Es licenciado en Economía por la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), así como maestro y doctor en Estudios Organizacionales por la Universidad Autónoma Metropolitana (UAM) Unidad Iztapalapa. En la actualidad, es profesor-investigador en el Departamento de Mercadotecnia y Negocios de la Universidad Autónoma del Estado de Quintana Roo, Campus Cancún. Es miembro del Sistema Nacional de Investigadores (SNI)-Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), con nivel I.

**Contacto:** carlos.jimenez@uqroo.edu.mx

---

### Emmanuel F. Campuzano

De nacionalidad mexicana. Es doctor en Ciencias en Ecología y Desarrollo Sustentable por El Colegio de la Frontera Sur, México. En la actualidad, es investigador posdoctoral en el Centro de Investigación y de Estudios Avanzados (CINVESTAV) Unidad Saltillo del Instituto Politécnico Nacional (donde colaboró en el estudio del intercambio de carbono del suelo como indicador de su degradación biológica en zonas áridas de México) y pertenece al SNI, nivel candidato; además, forma parte del Grupo de Sustentabilidad de los Recursos Naturales y Energía en el CINVESTAV Unidad Saltillo.

**Contacto:** efcampuzano@gmail.com

---

---

**Oscar Briones**

De nacionalidad mexicana. Es doctor en Ecología por la UNAM. En la actualidad, es investigador titular C del Instituto de Ecología, A. C.; pertenece al SNI, nivel 2, y es coordinador del Comité de Ecosistemas Terrestres del Programa Mexicano del Carbono, A. C. del CONACYT. Estudia el efecto del ambiente sobre la productividad de los ecosistemas, así como las interacciones entre los factores ambientales y la productividad, fenología y dinámica del carbono en los ecosistemas terrestres.

**Contacto:** oscar.briones@inecol.mx

---

**John Larsen**

De nacionalidad danesa. Es doctor en Micología por la University of Copenhagen, Denmark. En la actualidad, es investigador titular del Instituto de Investigaciones en Ecosistemas y Sustentabilidad de la UNAM; es parte del Grupo de Agroecología y pertenece al SNI, nivel 3; además, es cabeza del Grupo de Agroecología en la propia UNAM, campus Morelia. Estudia las interacciones planta-microbio-suelo en relación con la salud y nutrición de los cultivos en diversos agroecosistemas con un enfoque de manejo agroecológico con microorganismos rizosféricos benéficos y regulación natural de las plagas.

**Contacto:** jlarsen@cieco.unam.mx

---

**Gabriela Guillén-Cruz**

De nacionalidad mexicana. Es maestra en Ciencias en Sustentabilidad de los Recursos Naturales y Energía por el CINVESTAV Unidad Saltillo y estudiante del Doctorado en Ciencias en Sustentabilidad de los Recursos Naturales y Energía en la misma institución. Estudia los factores y las interacciones que controlan el almacenamiento de carbono en los suelos con diferente uso y manejo de las zonas áridas.

**Contacto:** gabriela.guillen@cinvestav.edu.mx

---

**Fabián Fernández Luqueño**

De nacionalidad mexicana. Es doctor en Ciencias en Biotecnología por el CINVESTAV. En la actualidad, es investigador titular del Grupo de Sustentabilidad de los Recursos Naturales y Energía en el CINVESTAV Unidad Saltillo y coordinador académico de los Programas de Maestría y Doctorado en Ciencias en Sustentabilidad de los Recursos Naturales y Energía; además, pertenece al SNI, nivel 2. Estudia las interacciones suelo-planta-medioambiente y es experto en el uso de nanotecnologías para la agricultura y la recuperación de espacios contaminados.

**Contacto:** fabian.fernandez@cinvestav.edu.mx

---

**Dulce Flores-Rentería**

De nacionalidad mexicana. Es doctora en Ecología por la Universidad Autónoma de Madrid, España. En la actualidad, es investigadora del Programa Cátedras CONACYT, comisionada en el Grupo de Sustentabilidad de los Recursos Naturales y Energía del CINVESTAV Unidad Saltillo y pertenece al SNI, nivel 1. Estudia los factores que controlan el intercambio de carbono del suelo, así como los indicadores de su calidad. Es autora del capítulo "Degradación de la tierra" del *Reporte especial del IPCC: cambio climático y tierra*.

**Contacto:** yahid.flores@cinvestav.edu.mx

---

---

**Marco Antonio Pérez Méndez**

Nació en México. Es licenciado en Economía por la UAM-Unidad Azcapotzalco, maestro en Economía Regional por el Centro de Investigaciones Socioeconómicas de la Universidad Autónoma de Coahuila y doctor en Economía Social por la UAM-Iztapalapa. En el ámbito laboral, fue profesor de la Licenciatura en Actuaría de la Universidad Autónoma del Estado de México y, actualmente, es profesor-investigador de tiempo completo del Departamento de Economía de la UAM-Iztapalapa. Sus líneas de investigación son pobreza, distribución del ingreso, desigualdad regional, análisis espacial y modelos econométricos.

**Contacto:** marcoa.perez@economistas.com

---

**Víctor Alfredo Bustos y de la Tijera**

De nacionalidad mexicana. Es licenciado en Actuaría por la Facultad de Ciencias de la UNAM, maestro en Estadística e Investigación de Operaciones por el Instituto de Investigaciones en Matemáticas Aplicadas y en Sistemas (IIMAS) de la UNAM y doctor en Estadística por la London School of Economics. Ingresó al Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) en 1991, donde actualmente es investigador en la Dirección General Adjunta de Investigación. Sus áreas de interés son, entre otras: el ajuste de modelos a partir de encuestas, donde destaca la estimación de la distribución del ingreso con datos de la Encuesta Nacional de Ingresos y Gastos de los Hogares (ENIGH), compatible con las cuentas nacionales; la estimación para dominios pequeños en temas como la desocupación y la migración; la clasificación multivariada con aplicación a la medición del bienestar y la marginación; y la construcción de índices temporales multivariados para seguir la evolución de una economía mediante criterios explícitos.

**Contacto:** alfredo.bustos@inegi.org.mx

---

**Noemí López Delgado**

Nacida en México. Es licenciada en Matemáticas Aplicadas por la Universidad Autónoma de Aguascalientes (UAA) y concluyó la Maestría de Análisis Estadístico en el Centro de Investigación en Matemáticas, A. C. Fue catedrática en la UAA impartiendo diversos cursos de matemáticas, y labora en el INEGI desde el 2009, donde actualmente es investigadora en la Dirección General Adjunta de Investigación trabajando, entre otras áreas de conocimiento, en la construcción de una metodología alternativa para el análisis de series temporales.

**Contacto:** nohemi.delgado@inegi.org.mx

---

**María Margarita Parás Fernández**

De nacionalidad mexicana. Tiene la Licenciatura en Economía por la UAM-Unidad Xochimilco, México; el Diplomado en Economía por la LSE, U.K.; la Maestría en Planeación de Recursos Rurales y Regionales por la Universidad de Aberdeen, Escocia; y el Doctorado en Geomática por el Centro de Investigación en Ciencias de Información Geoespacial (CentroGeo)-CONACYT. Es investigadora titular del CentroGeo-CONACYT; sus líneas de investigación son gestión del conocimiento geoespacial. Realizó su estancia sabática (2019-2020) en el INEGI con el proyecto: *Diseño de metodologías*



*para la integración de un marco de conocimiento territorial transversal a la información estadística y geográfica de género.*

**Contacto:** mparas@centrogeo.edu.mx

---

**Claudia Tello de la Torre**

De nacionalidad mexicana. Es doctora en Economía por la Universidad de Barcelona, con especialidad en Econometría Espacial. Es investigadora Cátedra-CONACYT en el CentroGeo; sus líneas de investigación se centran en economía urbana, mercados de trabajo, análisis de la desigualdad con énfasis en el capital humano y territorial.

**Contacto:** ctello@centrogeo.edu.mx

---

**Dora Elena Ledesma-Carrión**

De nacionalidad mexicana. Es doctora en Ingeniería por la UNAM. En el ámbito laboral, se ha desempeñado como profesora y servidora pública desde 1986 y 1995, respectivamente. En la actualidad, es investigadora de la Dirección General Adjunta de Investigación de la Dirección General de Integración, Análisis e Investigación del INEGI. Sus líneas de investigación se orientan en optimización, matemáticas aplicadas, modelos dinámicos y ciencia de materiales.

**Contacto:** dora.ledesma@inegi.org.mx

---

**Gerardo Núñez Medina**

De nacionalidad mexicana. Es actuario egresado de la Facultad de Ciencias de la UNAM; maestro en Ingeniería en el Área de Planeación Estratégica por la División de Estudios de Posgrado de la Facultad de Ingeniería de la UNAM, así como en Demografía por el Centro de Estudios Demográficos, Urbanos y Ambientales de El Colegio de México; y doctor en Demografía por el Centro de Estudios Demográficos de la Universidad Autónoma de Barcelona. Se desempeña como profesor-investigador adscrito al Departamento de Estudios de Población del Colegio de la Frontera Norte, sede Piedras Negras, Coahuila de Zaragoza. Pertenece al SNI, con nivel I.

**Contacto:** gnunez@colef.mx

## Política y lineamientos editoriales

REALIDAD, DATOS Y ESPACIO REVISTA INTERNACIONAL DE ESTADÍSTICA Y GEOGRAFÍA es una publicación cuatrimestral que sirve de enlace entre la generación de la información estadística y geográfica oficial y la investigación académica para compartir el conocimiento entre especialistas e instituciones con propósitos similares.

Se publicarán solo artículos inéditos y originales relacionados con la situación actual del uso y aplicación de la información estadística y geográfica a nivel nacional e internacional.

Es una revista técnico-científica, bilingüe, cuyos trabajos son arbitrados por pares (especialistas), bajo la metodología doble ciego, con los siguientes criterios de evaluación: trabajos inéditos, originalidad, actualidad y oportunidad de la información, claridad en la definición de propósitos e ideas planteadas, cobertura de los objetivos definidos, estructura metodológica adecuada y congruencia entre la información contenida en el trabajo y las conclusiones.

El resultado del proceso de dictaminación se comunica por correo electrónico y contempla tres variantes: recomendado ampliamente (con modificaciones menores), recomendado (pero condicionado a modificaciones sugeridas) y no recomendado (rechazado). Dos dictámenes aprobados, se notifica al autor que se publica y se envía a corrección de estilo; un aprobado y uno rechazado, se le solicita realizar cambios; y dos rechazados, se notifica la no publicación.

### Indizaciones y registros

- LATINDEX Catálogo (Sistema Regional de Información en Línea para Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal).
- CLASE (Citas Latinoamericanas en Ciencias Sociales y Humanidades).
- REDIB (Red Iberoamericana de Innovación y Conocimiento Científico).

### Lineamientos para publicar

Se publicarán trabajos en español e inglés: artículos de investigación, revisión y divulgación; ensayos; metodologías; informes técnicos; comunicaciones cortas; reseñas de libros; revisiones bibliográficas y estadísticas, entre otros.

1. El artículo —o cualquier otro tipo de escrito de los mencionados— deberá entregarse con una carta dirigida al editor responsable de REALIDAD, DATOS Y ESPACIO. REVISTA INTERNACIONAL DE ESTADÍSTICA Y GEOGRAFÍA en la que se proponga el texto para su publicación, que se declare que es inédito y que no ha sido postulado de manera paralela en otro medio. Asimismo, deben incluirse los datos completos del(os) autor(es), nacionalidad(es), institución(es) de adscripción y cargo(s) que ocupa(n), domicilio(s) completo(s), correo(s) electrónico(s) y teléfono(s). Esto debe dirigirse a la atención de la M. en C. Virginia Abrin Batule, virginia.abrin@inegi.org.mx (tel. 5278 10 00, ext. 1161).
2. El trabajo se debe presentar en versión electrónica (formato *Word* o compatible) con: a) extensión no mayor de 20 cuartillas; b) letra Helvética, Arial o Times de 12 puntos y c) interlineado de 1.5 líneas. El material adicional al texto se requiere por separado: a) las imágenes, con resolución de 300 ppp y un tamaño no menor a 17 centímetros de base (ancho) en formato JPG o TIF —no remuestrear (ampliar) imágenes de menor resolución—; si son líneas o mapas, deben entregarse en formato vectorial (EPS o Ai), en caso de incluirse imágenes en mapa de bits, incrustarlas o enviarlas con el nombre con el cual se creó el vínculo (conservando los requerimientos de resolución y tamaño estipulados); y para fotografías, estas no deben ser menores a 5 megapíxeles; b) las fórmulas o expresiones matemáticas tienen que elaborarse con el editor de ecuaciones propio de *Microsoft*<sup>™</sup>, pero en caso de usar *software* de terceros, incluir en la entrega PDF testigo en el cual figuren exactamente cómo deben representarse; c) las gráficas, que incluyan el archivo en *Excel* con el cual se desarrollaron o, en su defecto, la imagen JPG legible, de origen, en alta resolución; y d) los cuadros, que sean editables, no se deben insertar como imágenes.
3. La colaboración debe incluir: título del trabajo (en español e inglés o viceversa); resúmenes del trabajo en español e inglés (que no excedan de un párrafo de 10 renglones); palabras clave en español e inglés (mínimo tres, máximo cinco); bibliografía u otras fuentes; así como breve(s) semblanza(s) del(os) autor(es) que no exceda(n) de un párrafo de cinco renglones y que incluya(n) nacionalidad(es), grado(s) académico(s), principal(es) experiencia(s) profesional(es), adscripción(es) laboral(es) actual(es) y dirección(es) electrónica(s) de contacto.
4. Las referencias bibliográficas u otras fuentes deberán presentarse al final del artículo de la siguiente manera: nombre(s) del(os) autor(es) comenzando por el(los) apellido(s); título de la publicación con cursivas (si se trata de un artículo, debe estar entrecorillado, seguido de coma y la preposición en con dos puntos y, enseguida, el título de la revista o libro donde apareció publicado, con cursivas); país de origen; editorial; lugar y año de edición; página(s) consultada(s). En el caso de las fuentes electrónicas (páginas *web*) se debe seguir el mismo orden que en las bibliográficas, pero al final se pondrá entre paréntesis DE (dirección electrónica), la fecha de consulta y la liga completa. Se tienen que omitir aquellas que se mencionen como notas a pie de página. Si se aplica la opción de incluir en cuerpo de texto la referencia de nombre de autor y año de la fuente consultada entre paréntesis, si deben aparecer todas las referencias mencionadas.

Página electrónica: <http://rde.inegi.org.mx>

## Editorial Guidelines and Policy

REALITY, DATA AND SPACE INTERNATIONAL JOURNAL OF STATISTICS AND GEOGRAPHY is a four-monthly publication that connects statistics and geographic official information with academic research in order to share knowledge among specialists and institutions with similar aims.

We will publish only original and unpublished articles related to the current use and appliance of statistical and geographical information at both national and international levels.

It is a technical-scientific and bilingual magazine, with articles previously peer-reviewed by specialists under a double-blind methodology with the following evaluation criteria: unpublished works, originality, information related to opportunity and current affairs, we expect clarity in the definition of aims and ideas stated, defined objectives coverage, accurate methodological structure and coherence between the information of the paper as well as its conclusions.

The result of the paper-assessment process is delivered by email, and it involves three possibilities: fully recommended (with slight modifications), recommended (on condition of suggested modifications) and not recommended (i.e. rejected). When there are two reports of approval, the author gets notified that his/her paper will be published and it is sent to a style editing process. When one report approves the paper for publication and another one rejects it, the author is requested to make some changes for the text to be published. If the text submitted receives two non-favourable reports, the author is notified that the text will not be published.

### Index and Registers

- LATINDEX Catalogue (Online Regional Information System for Scientific Journals from Latin America, the Caribbean, Spain and Portugal).
- CLASE (Latin American Quotations in Humanities and Social Sciences)
- REDIB (Latin American Net of Innovation and Scientific Knowledge)

### Publishing Guidelines

Articles will be published in Spanish or English: research, revision and scientific-spreading articles; methodologies; technical reports; short texts; book reviews; and bibliographical and statistical revisions, among others.

1. The article —or any other kind of text from those aforementioned— must be delivered with an attached letter addressed to the chief editor of Reality, Data and Space. International Statistics and Geography Magazine in which the text intended for publication will be submitted. There it must be stated that the text has not been published, and that it has not been submitted for publication in any other media. The names in full of the authors must be included, as well as their nationalities, adscription institutions, position in those institutions, postal address, e-mail address, and telephone numbers. This must be addressed to MSC Virginia Abrin Batule, virginia.abrin@inegi.org.mx (tel (+52) 55) 52.78.10.00, extension 1161.
2. The article must be submitted in an electronic version (a Microsoft Word file or a compatible one) with the following format: a) the text should not exceed the 20 pages of length; b) typography must be Helvetic, Arial or Times (12 points); and c) there should be a 1.5 line spacing in each paragraph. Additional material to the text will be delivered separately: a) images with a resolution of 300 ppp and no smaller than 17 cm width will be delivered in format JPG or TIF —please do not amplify images with lower resolution—. If the added materials are lines or maps, these must be delivered in vectorial format (EPS or Ai). If there are images in bits map, these must be embedded or attached with the name of the original file with which the link was created (keeping the resolution and size requirements above stated). As regards to photographs, these should not be inferior to 5 megapixels; b) mathematical expressions or formulae have to be created with the equations editor by Microsoft<sup>™</sup>, but in case of using third-parties software, please attach a witness PDF in which the exact representation of mathematical formulae or expressions is contained; c) graphics must include the Excel file in which they were created or a legible image in the original JPG format in high resolution; and d) charts must be editable, and must not be inserted as images.
3. The text must include the following: the article's title (both in English and Spanish); the abstract of the article—both in English and Spanish (not longer than a 10-line paragraph); key words—both in English and Spanish (three as minimum and five as maximum); bibliography and other sources; as well as brief biographical sketches of the authors not exceeding a five-line paragraph each including nationalities, academic titles, main professional experiences, current work-related affiliations, and electronic addresses for the authors to be contacted.
4. Bibliographical references and other sources must be included at the end of the article in the following way: author's name (Surname first), and publication's title (in italics). If it is an article, the title must be in quotation marks followed by a comma and the preposition "en" with semicolon (in Spanish), then it should appear the title of the book or magazine in which the article was published (in italics); country of origin; publishing house, edition year, and consulted pages. As regards to electronic sources (web pages) the same order of the bibliographical references must be followed, but at the end the word "EA" (as for Electronic Address) ("DE" in Spanish) must be added within parenthesis followed by consultation date and the complete reference link. Those web links referred previously as footnotes, must be omitted in this section. However, if the name of the author and the year of the consulted source were included in the main body of the text within parenthesis, all these must be included as part of the bibliographical references.

Webpage: <http://rde.inegi.org.mx>

