

### Mujeres en las titularidades de la administración pública

Michelle Castillo Merino y Karen Andrea Santoyo Tapia

### Identificación de especies de plantas de la flora mexicana utilizando aprendizaje por transferencia a través de *Inception-v4*

Inés Fernando Vega-López, Rito Vega-Aviña, Francisco Delgado-Vargas, Zuriel Ernesto Morales-Casas, Eduardo Díaz-Gaxiola, Juan Augusto Campos-Leal, José Abraham Berger-Castro, Gerardo Beltrán-Gutiérrez y Arturo Yee-Rendón

### Midiendo la economía circular en México

Edgar Sandoval-García, Guadalupe Graciela Ramos Rodríguez y Adrián Correa Torres

### Estimación de usos del suelo con base en datos abiertos para la planeación urbana en México

Jorge Alberto Montejano Escamilla, Felipe Gerardo Ávila Jiménez, Camilo Alberto Caudillo Cos y Rodrigo Tapia McClung

### Consideraciones para la evaluación de impacto socioambiental del Aeropuerto Internacional Felipe Ángeles

Maribel Espinosa-Castillo, Germán Raúl Vera Alejandre, Citlalli Reyes Ríos, Víctor Manuel Lozano Noches, Alicia Hermila López Aguilar y Yoselin Juárez Rodríguez

### Reseña del *Estratificador INEGI*

Víctor Alfredo Bustos y de la Tijera y Ana Miriam Romo Anaya



AÑOS DE CONOCER  
**MÉXICO**



## Contenido

<b>Mujeres en las titularidades de la administración pública</b> <i>Women in Public Administration</i> Michelle Castillo Merino y Karen Andrea Santoyo Tapia	4
<b>Identificación de especies de plantas de la flora mexicana utilizando aprendizaje por transferencia a través de <i>Inception-v4</i></b> <i>Plant Species Identification of Mexican Flora Using Transfer Learning via Inception-v4</i> Inés Fernando Vega-López, Rito Vega-Aviña, Francisco Delgado-Vargas, Zuriel Ernesto Morales-Casas, Eduardo Díaz-Gaxiola, Juan Augusto Campos-Leal, José Abraham Berger-Castro, Gerardo Beltrán-Gutiérrez y Arturo Yee-Rendón	22
<b>Midiendo la economía circular en México</b> <i>Measuring the Circular Economy in Mexico</i> Edgar Sandoval-García, Guadalupe Graciela Ramos Rodríguez y Adrián Correa Torres	38
<b>Estimación de usos del suelo con base en datos abiertos para la planeación urbana en México</b> <i>Land Use Estimation based on Open Data for Urban Planning in Mexico</i> Jorge Alberto Montejano Escamilla, Felipe Gerardo Ávila Jiménez, Camilo Alberto Caudillo Cos y Rodrigo Tapia McClung	54
<b>Consideraciones para la evaluación de impacto socioambiental del Aeropuerto Internacional Felipe Ángeles</b> <i>Considerations for Socio-Environmental Impact Assessment of the Felipe Ángeles International Airport</i> Maribel Espinosa-Castillo, Germán Raúl Vera Alejandre, Citlalli Reyes Ríos, Víctor Manuel Lozano Noches, Alicia Hermila López Aguilar y Yoselin Juárez Rodríguez	76
<b>Reseña del <i>Estratificador INEGI</i></b> <i>Review of the INEGI Stratifier</i> Víctor Alfredo Bustos y de la Tijera y Ana Miriam Romo Anaya	92
<b>Colaboran en este número</b>	110



AÑOS DE CONOCER  
**MÉXICO**



# INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA Y GEOGRAFÍA

## Presidencia del Instituto

Graciela Márquez Colín

## Vicepresidencias

Paloma Merodio Gómez

Adrián Franco Barrios

Mauricio Márquez Corona

Vacante

## Direcciones generales de:

### Estadísticas Sociodemográficas

Mauricio Rodríguez Abreu

### Estadísticas de Gobierno, Seguridad Pública y Justicia

Óscar Jaimes Bello

### Estadísticas Económicas

José Arturo Blancas Espejo

### Geografía y Medio Ambiente

Luis Gerardo Esparza Ríos

### Integración, Análisis e Investigación

Rosa Isabel Islas Arredondo

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

Silvia Elena Meza González

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

Julieta Alejandra Brambila Ramírez

### Administración

Ricardo Miranda Burgos

## Contraloría Interna

Manuel Rodríguez Murillo

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

### Editor responsable

En trámite

### Editor técnico

Gerardo Leyva Parra

### Coordinación editorial

Virginia Abrin Batule y Mercedes Pedrosa Islas

### Corrección de estilo

José Pablo Covarrubias Ordiales

### Corrección de textos en inglés

Gerardo Hazael Piña Méndez

### Diseño y formación

Eduardo Javier Ramírez Espino

### 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, Directorio; Citas Latinoamericanas en Ciencias Sociales y Humanidades (CLASE) y en biblat. Bibliografía Latinoamericana en revistas de investigación científica y social.*

REALIDAD, DATOS Y ESPACIO REVISTA INTERNACIONAL DE ESTADÍSTICA Y GEOGRAFÍA, Vol. 14, Núm. 1, enero-abril, 2023, 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](mailto:rde@inegi.org.mx)

Editor responsable: En trámite. Reserva de Derechos al Uso Exclusivo del Título Núm. 04-2014-101310563200-203, e-ISSN Núm. 2395-8537, ambos otorgados por el Instituto Nacional de Derecho de Autor. Domicilio de la publicación: 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.

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

# CONSEJO EDITORIAL

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 PUED de la UNAM  
México

Dra. Graciela Teruel Belismelis  
Universidad Iberoamericana  
Ciudad de México  
México

Dra. Landy Sánchez Peña  
El Colegio de México  
México

Dra. Martha María Téllez Rojo Solís  
Instituto Nacional de Salud Pública  
México

Dr. Víctor Manuel Guerrero Guzmán  
Instituto Tecnológico Autónomo de México  
México



### 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.

## Editorial

A continuación, se describe brevemente el contenido de los artículos que conforman este número.

*Mujeres en las titularidades de la administración pública (Women in Public Administration).* A partir de los datos de los tres niveles de gobierno (federal, estatal y municipal) en México, el objetivo de este trabajo es conocer la distribución de ellas en dichas instancias de trabajo según sexo antes y después de la implementación de la paridad transversal o *en todo*, así como las principales funciones desempeñadas en dichos cargos.

*Identificación de especies de plantas de la flora mexicana utilizando aprendizaje por transferencia a través de Inception-v4 (Plant Species Identification of Mexican Flora Using Transfer Learning via Inception-v4).* Este artículo presenta un estudio comparativo de arquitecturas de redes neuronales convolucionales aplicadas al problema de identificación de vegetación en México a partir de imágenes digitales; con este fin, se construyó un modelo de clasificación con *Inception-v4* usando un conjunto de datos de plantas nativas. Los resultados experimentales muestran que las estrategias de aprendizaje por transferencia y aumento de datos mejoran sustancialmente el desempeño de modelos basados en el aprendizaje profundo.

*Midiendo la economía circular en México (Measuring the Circular Economy in Mexico).* La recuperación y valorización de los residuos permite reutilizar los materiales en la cadena de suministro, promoviendo así la desvinculación del crecimiento económico de las pérdidas medioambientales. El objetivo de este trabajo es el de estimar la tasa de circularidad del país utilizando el marco de Indicadores de Transición Circular propuesto por el Consejo Empresarial Mundial para el Desarrollo Sostenible. Se enfatiza la necesidad de ampliar la búsqueda de información para elevar la precisión de los cálculos y complementarla con técnicas cualitativas para poder desarrollar un ejercicio de procesamiento de datos más robusto.

*Estimación de usos del suelo con base en datos abiertos para la planeación urbana en México (Land Use Estimation based on Open Data for Urban Planning in Mexico)*

presenta un ejercicio técnico-procesual que tiene por objetivo estimar el uso de suelo para todas las manzanas clasificadas como urbanas del territorio nacional únicamente con base en datos censales del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). Dadas las bajas capacidades de generación de información de algunos municipios y la ausencia de catastros en gran parte del país, se presume que el método y el producto de esta investigación pueden ser considerados como un elemento de gran utilidad para servir de insumo base en procesos de planeación urbana, y que también tiene aplicación en estudios espaciotemporales comparativos.

*Consideraciones para la evaluación de impacto socioambiental del Aeropuerto Internacional Felipe Ángeles (Considerations for Socio-Environmental Impact Assessment of the Felipe Ángeles International Airport).* Los resultados de esta investigación indican que la disponibilidad de agua es la afectación más importante encontrada. Representa un avance preliminar de los requerimientos para construir y/o planificar acciones de resarcimiento o mitigación por obras que afecten en las comunidades; se buscó identificar aquellas repercusiones que se presentarán con la creación de infraestructura aeronáutica aplicando algunas herramientas de la Evaluación de Impacto Social (EVIS).

*Reseña del Estratificador INEGI (Review of the INEGI Stratifier).* El Instituto ha buscado desarrollar alternativas que le permitan cumplir simultáneamente con, por una parte, la necesidad de preservar la privacidad de sus informantes, tanto personas físicas como morales, y por la otra, la de difundir información de México que contribuya a la toma de decisiones. Esta herramienta representa un esfuerzo en esa dirección e ilustra una estrategia a seguir: desarrollar servicios para hacer disponibles instrumentos de análisis estadístico para conjuntarlos con datos que no pueden ser difundidos, así como limitar sus resultados a los que no ponen la confidencialidad en riesgo. Esto debe permitir al usuario decidir el tipo de análisis, los datos a ser usados y el nivel de desagregación geográfica deseado.

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

# Mujeres en las titularidades de la administración pública

## Women in Public Administration

Michelle Castillo Merino y Karen Andrea Santoyo Tapia\*

En el artículo se exploran los datos de las titularidades en las instituciones del Poder Ejecutivo en los tres niveles de gobierno: federal, estatal y municipal en México. El objetivo es conocer su distribución en la administración pública según sexo antes y después de la implementación de la paridad transversal o *en todo*, así como las principales funciones desempeñadas en dichos cargos.

**Palabras clave:** mujeres; paridad de género; poder ejecutivo; titulares; administración pública.

This article explores the data on the positions held in the institutions of the Executive Branch at the three levels of government: federal, state, and municipal in Mexico. The article describes the distribution in the Public Administration according to sex —before and after the implementation of the constitutional reform of transversal parity— or “in all”, as well as the main functions performed in such positions.

**Key words:** women; gender parity; executive power; public administration.

Recibido: 13 de abril de 2022.  
Aceptado: 12 de julio de 2022.

\* Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), michelle.castillo@inegi.org.mx y karen.santoyo@inegi.org.mx, respectivamente.



Caras diversas femeninas, patrón inconsútil/Ana Kaidashi/ISTOC

## Introducción

El papel de las mujeres en las esferas pública, social y económica ha sido revalorizado a nivel mundial cobrando mayor importancia en los últimos años y, por lo tanto, impulsando su inclusión en todos los espacios. Prueba de esto es la aprobación y adopción de agendas internacionales que promueven su participación en los ámbitos político y económico, como la Plataforma de Acción de Beijing, los Objetivos del Milenio y los Objetivos de Desarrollo Sostenible. Al interior de los países también existen mecanismos en diferentes esferas que fomentan la igualdad entre

hombres y mujeres. En el área jurídica, por ejemplo, el cambio en la legislación ha permitido que ellas ocupen campos en los que tradicionalmente predominan ellos. En el caso de México, las reformas legislativas han impactado en el Poder Ejecutivo y, por ello, en la toma de decisiones a nivel federal, estatal y municipal.

Este artículo tiene como objetivo principal describir la presencia de las mujeres en los puestos de decisión o titularidades de las instituciones públicas del Poder Ejecutivo antes y después de la implementación de la paridad transversal en

los tres niveles de gobierno: federal, estatal y municipal. También, busca identificar si han logrado encabezar instituciones históricamente presididas por hombres.

En primer lugar, se describe el contexto sobre el mercado laboral en México, en especial, el caso de las mujeres. En segunda instancia se presentan los puntos claves de la reforma sobre la paridad de género. A continuación, se muestran los datos de las personas titulares de las instituciones del Poder Ejecutivo a nivel federal, estatal y municipal. Finalmente, se dan las conclusiones sobre el tema.

## Participación laboral de las mujeres en México

Su inclusión en la fuerza laboral conlleva impactos económicos y sociales que benefician a toda la sociedad, por ejemplo: crecimiento económico, mayor recaudación fiscal, aumento del gasto en salud, educación y alimentación, entre otros (Banco Mundial, 2020). Anteriormente, estos beneficios fueron opacados por la presencia de los roles de género que, de acuerdo con la Organización Internacional del Trabajo (OIT), se definen como los comportamientos aprendidos en una sociedad que condicionan a sus miembros a percibir como masculinas o femeninas ciertas actividades y, en consecuencia, jerarquizarlas y valorizarlas de manera diferenciada.

La Encuesta Nacional de Ocupación y Empleo (ENOE) del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) brinda información para conocer la participación de las mujeres en el mercado de trabajo. Ofrece datos mensuales y trimestrales sobre la fuerza laboral, ocupación, informalidad laboral, subocupación y ocupación. Estos se encuentran disponibles a nivel nacional, entidad y ciudad, y está desagregada según sexo.

La Tasa de Participación Económica muestra la incorporación de las mujeres en el mercado laboral. Esta se define como el porcentaje de la población de 15 años y más de edad que tuvo vínculo con la actividad económica o que la buscaron en

la semana de referencia. Aunque dicha proporción ha sido históricamente menor en mujeres que en hombres, esta aumentó 11.5 % entre el 1.º trimestre del 2005 y el 4.º del 2021. A pesar de este crecimiento, la presencia de ellas en el ámbito laboral continúa siendo inferior a la de ellos: en el último trimestre del 2021, del total de mujeres de 15 años y más, 44.7 % fue económicamente activa; en contraste, la de hombres fue de 76.4 %, como es posible observar en la gráfica 1.

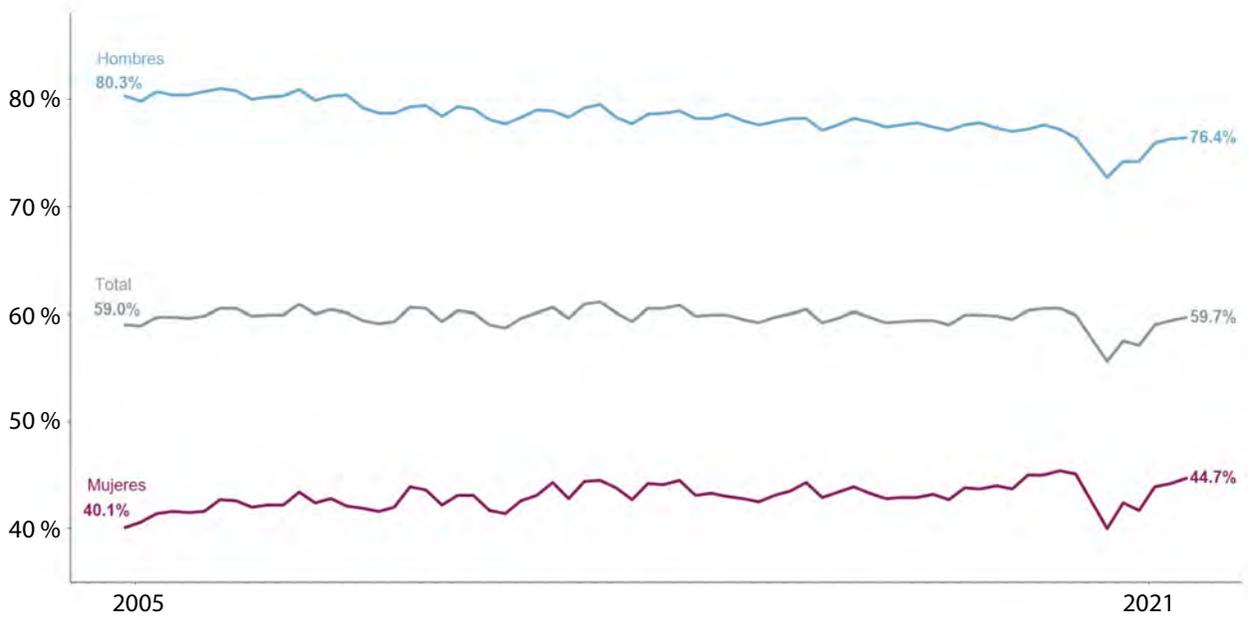
Entre el 2005 y 2021, de las personas económicamente activas, en promedio, 95.8 % estuvo ocupada, en mayor medida, en puestos subordinados y remunerados. En esta categoría hay diversas actividades en los tres grandes sectores de la economía: primario, secundario y terciario. En particular, para este análisis, es de interés la población que laboró en el terciario o de servicios, en específico en gobierno y organismos internacionales. De acuerdo con el *Catálogo de Dependencias e Instituciones de Interés Público (CADIIP)* (INEGI, 2015), dicha clasificación contempla las instituciones de gobierno (como los poderes Judicial y Legislativo); las empresas públicas o paraestatales; los gobiernos federal, estatal y municipal, así como sus dependencias; y los organismos autónomos, entre otros.

A principios del 2005, la ENOE estimó 1.9 millones de personas ocupadas en gobierno y organismos internacionales: 66.1 % hombres y 33.9 % mujeres. En el último trimestre del 2021, la población ocupada en dicha actividad fue de 2.2 millones de personas y, aunque el porcentaje de ellos continúa siendo mayor, la presencia de ellas aumentó: 59.5 % correspondió a hombres y 40.5 %, a mujeres. Es decir, la brecha entre quienes laboran en esas instancias disminuyó, en concreto, en 13.2 puntos porcentuales (pp) entre el 2005 y 2021. En el 2005, la diferencia entre el porcentaje de mujeres y hombres ocupados en este sector fue de 32.2 pp, y para finales del 2021 descendió a 19 pp, como muestra la gráfica 2. Ellas han aumentado su presencia en el ámbito gubernamental, espacio de toma de decisiones.

En resumen, la proporción de mujeres en el mercado laboral en general pasó de 40.1 a 44.7 % entre

Gráfica 1

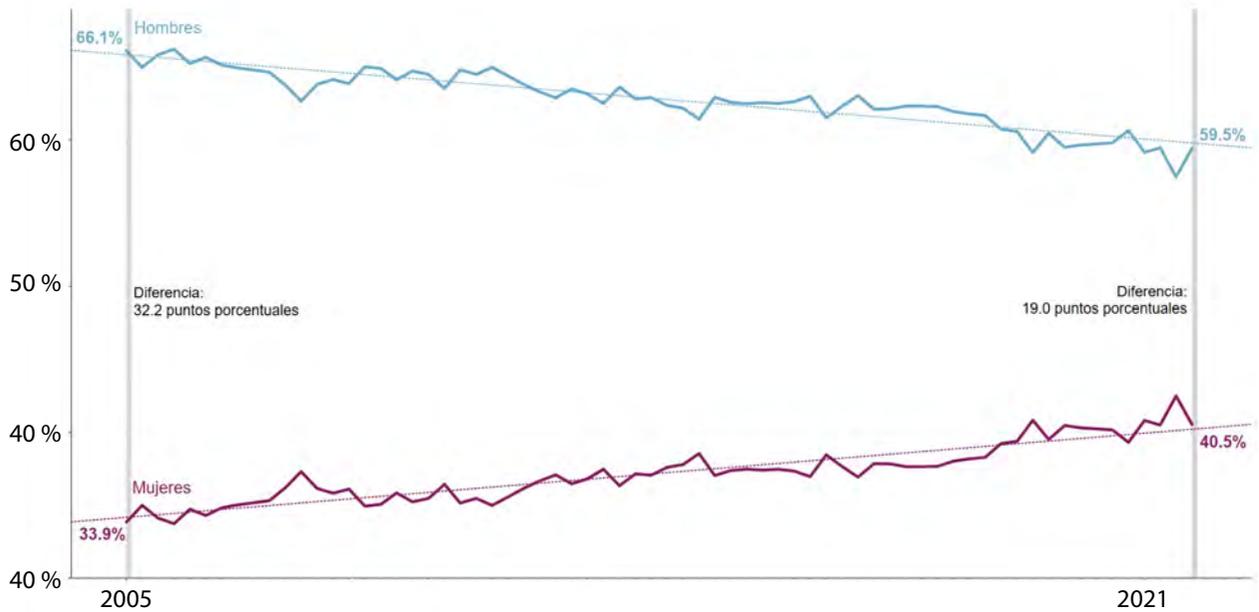
### Tasa de Participación Económica según sexo, México, 2005-2021



Fuente: elaboración propia con base en INEGI. Encuesta Nacional de Ocupación y Empleo. Ediciones 2005-2021.

Gráfica 2

### Distribución de la población ocupada en gobierno y organismos internacionales según sexo, México, 2005-2021



Fuente: elaboración propia con base en INEGI. Encuesta Nacional de Ocupación y Empleo. Ediciones 2005-2021.

el 1.º trimestre del 2005 y el 4.º del 2021, mientras que su presencia en instituciones de gobierno y organismos internacionales tuvo un incremento mayor, pues pasó de 33.9 a 40.5 % en el mismo periodo.

El empoderamiento económico de las mujeres ha sido incentivado por cambios históricos, sociales, culturales, económicos y políticos. También, se ha promovido, desde hace unas cuantas décadas, por la adopción de distintas declaraciones, convenciones y resoluciones a nivel internacional. En la siguiente sección se describen algunas de ellas, así como los cambios jurídicos a nivel nacional de interés para este documento.

## Paridad en todo

Diversos estudios señalan que los estereotipos de género afectan las percepciones sobre las mujeres de manera negativa. Estos las consideran como apropiadas para desempeñar actividades relacionadas con nutrición y cuidado, reproducción y calidez, con la comunidad y educación, y como individuos incapaces de tomar decisiones rápidas, carentes de pensamiento lógico, demasiado blandas y sensibles, más enfocadas al altruismo, la calidez y empatía (Acker, 1992; Wood y Eagly, 2002; Blackstone, 2003; Kroska, 2007; Eagly y Wood, 2012; Heilman, 2012; Mihalčová *et al.*, 2015; Haines *et al.*, 2016; Ellemers, 2018). Estas percepciones permean en la sociedad en general. Joan Acker (1992, 567) utiliza el término *gendered institutions* para definir a las instituciones en las que los roles de género están "... presentes en los procesos, prácticas, imágenes, ideologías y distribución de poder...". De acuerdo con lo revisado en los datos de los Censos Nacionales de Gobierno (CNG), existen instituciones en las cuales los roles de género están presentes y la distribución del poder no ha cambiado, ya que no han tenido mujeres titulares.

Durante el siglo XX, distintos instrumentos establecieron las bases para el reconocimiento de hombres y mujeres con los mismos derechos a la participación en la vida pública y política, entre

ellos, la Declaración Universal de los Derechos Humanos en 1948, la Convención sobre los Derechos Políticos de las Mujeres en 1952 y el Pacto Internacional de Derechos Civiles y Políticos en 1966. Unos años después, en 1979, se aprobó la Convención sobre la Eliminación de Todas las Formas de Discriminación contra la Mujer (CEDAW, por sus siglas en inglés), donde se garantiza la igualdad entre ellas y ellos, esto porque, a diferencia de los anteriores, tiene un carácter más amplio y es jurídicamente vinculante. El artículo 7 señala que los Estados Partes deberán tomar las medidas necesarias para eliminar la discriminación contra la mujer y garantizar su derecho a votar, ser elegibles en comicios públicos, permitir su participación en la formulación de políticas públicas y ocupar cargos públicos.

Otra herramienta relevante en el liderazgo y participación política de ellas es la resolución en este ámbito aprobada por la Asamblea General de las Naciones Unidas en el 2011, la cual reafirma la importancia de su intervención e insta a los Estados a la adopción de medidas diversas y de alcance integral para asegurarla. Uno de los esfuerzos más notables son las cuotas de género, las cuales incrementan la proporción de mujeres en cargos de decisión. Sin embargo, este tipo de acciones afirmativas<sup>1</sup> no suelen impactar de igual manera los distintos niveles de gobierno, sobre todo, el local.

En este sentido, en México se han realizado diversos cambios normativos desde 1993 con la primera medida de acción afirmativa para mejorar la distribución de candidaturas en favor de las mujeres (Vázquez, 2019). En 1996 fue publicado en un artículo transitorio el límite máximo de 70 % de legisladores del mismo sexo (Fernández, 2011). Más adelante, en el 2008, con la reforma al *Código Federal de Instituciones y Procedimientos Electorales (COFIPE)*, se modificó el artículo 175 pasando del término *equidad entre hombres y mujeres* al de *paridad de género* en la vida política (Fernández, 2011) y en el 2019 se incluyó que el registro de candidaturas para el Poder Legislativo estuviera integrado

<sup>1</sup> Es el conjunto de medidas de carácter temporal encaminadas a acelerar la igualdad de hecho entre mujeres y hombres.

con, al menos, 40 % de candidatos del mismo sexo, excepto para mayoría relativa (INE, 2011). Las listas de representación proporcional serían integradas por segmentos de cinco candidaturas y en cada uno habría dos candidaturas de sexo distinto, alternadamente (DOF, 2008). En el proceso electoral del 2014-2015, la paridad de género fue implementada como principio y regla constitucional para incluir a las mujeres en los espacios de decisión pública. Estas acciones estuvieron enfocadas a los procesos electorales y cargos de elección popular.

El 6 de junio de 2019, la Comisión Permanente del H. Congreso de la Unión publicó en el *Diario Oficial de la Federación (DOF)* la reforma constitucional de paridad de género de manera transversal modificando los artículos 2, 4, 35, 41, 52, 53, 56, 94 y 115 (DOF, 2019) que contemplan los tres niveles de gobierno, todos los ámbitos e instituciones, de forma vertical y horizontal. Es decir, este cambio legislativo garantiza que la mitad de los cargos de decisión política sean mujeres. De acuerdo con el artículo 41 constitucional, lo anterior aplica en el nombramiento de las personas titulares de las secretarías del Poder Ejecutivo a nivel federal y estatal. Además, los partidos se verán obligados a garantizar la paridad en las candidaturas de elección popular. A nivel municipal, la reforma establece que el principio de paridad de género también estará presente en la conformación de los ayuntamientos, presidencias municipales, regidurías y sindicaturas.

La reforma también es válida para los poderes Legislativo y Judicial, así como para los organismos autónomos. En el caso del primero, las candidaturas presentadas por los partidos políticos deberán ser paritarias y encabezadas alternadamente en cada periodo electivo. La integración del segundo será mediante concursos abiertos atendiendo la paridad de género. Y en los organismos autónomos, tanto a nivel federal como estatal, el principio de paridad deberá estar presente.

A partir del 7 de junio de 2019, los nombramientos realizados en las instituciones deberán aplicar de manera progresiva la reforma anterior. En mate-

ria de cargos de elección popular, las modificaciones mencionadas aplicaron, por primera vez, en el proceso electoral 2020-2021. México ha tenido avances en los ámbitos jurídicos, políticos y legislativos; sin embargo, a pesar de las reformas legislativas, reglamentarias y regulatorias que obligan a modificar las estructuras en las instituciones, la distribución de poder y recursos continúan siendo inequitativas privilegiando al androcentrismo ideológico (Risman y Davis, 2013). Para que se logre la igualdad, esta debe ser reconocida por todos los actores que toman decisiones respecto al potencial y desempeño de hombres y mujeres, en conjunción con los cambios legislativos (Haines *et al.*, 2016). En este sentido, es relevante identificar la estructura de las titularidades en las instituciones federales, estatales y municipales antes de la reforma y el cambio que ha tenido a partir de su publicación.

Para cumplir con el objetivo de este texto, se utilizó la información de los CNG publicados por el INEGI: Censo Nacional de Gobierno Federal (CNGF), de Gobiernos Estatales (CNGE) y de Gobiernos Municipales y Demarcaciones Territoriales de la Ciudad de México<sup>2</sup> (CNGMD). Aunque la información aún no está disponible para el 2021, el periodo entre el 2010 y 2020 permite identificar la distribución de las titularidades antes y después de la entrada en vigor de la paridad transversal.

## **Poder Ejecutivo**

Este es el responsable de la gestión del Estado, ejecuta las leyes emanadas del Congreso, administra los recursos, es el encargado de las relaciones diplomáticas y dirige a las fuerzas armadas. Todas estas actividades tienen como finalidad lograr el beneficio de la sociedad mediante la satisfacción de sus necesidades, por lo que es imprescindible tomar decisiones. Para realizar sus funciones, las personas que ostentan los cargos de presidencia de la República, gubernaturas estatales y alcaldías

<sup>2</sup> Antes denominado Censo Nacional de Gobiernos Municipales y Delegacionales hasta la edición de 2019.

o presidencias municipales cuentan con instituciones que los apoyan en la toma de decisiones y su ejecución.

Con la publicación de la reforma *paridad en todo* se busca que entre los perfiles más adecuados para encabezar cada una de las instituciones que forman parte del Ejecutivo sean incluidas mujeres. Esto contribuye a que ellas obtengan mayor visibilidad, participación y que se apropien de espacios y funciones que tradicionalmente fueron ocupados por hombres.

El INEGI genera diversos programas estadísticos en materia de gobierno, seguridad pública y justicia; algunos de ellos son los CNG orientados a obtener datos de los poderes ejecutivos. En los CNG se recolectan y estandarizan datos sobre estructura, gestión, función y desempeño de las administraciones públicas a nivel federal, estatal y municipal de manera comparable entre ámbitos de gobierno y en el tiempo.

De manera general, los CNG están divididos en preguntas sobre gestión y desempeño. En la primera sección se consideran datos acerca de la estructura organizacional; los recursos humanos presupuestales y materiales; titulares; la armonización contable; la planeación y evaluación; así como las actividades estadísticas y geográficas. Respecto al desempeño, se recopila información referente a trámites y servicios, protección civil, catastro, catastro municipal y cobro del impuesto predial, servicios públicos, transparencia, control interno, anticorrupción, participación ciudadana, marco regulatorio, gobierno electrónico, defensoría de oficio, medio ambiente, agua potable y saneamiento, residuos sólidos urbanos, justicia cívica y municipal, además de administración de archivos y gestión documental.

En el 2009 se llevó a cabo el primer levantamiento de información de los municipios y delegaciones, ahora demarcaciones territoriales de la Ciudad de México: la Encuesta Nacional de Gobierno, Seguridad Pública y Justicia Municipal (ENGSPJM) 2009. En el 2010 se aplicó a nivel estatal la Encuesta

Nacional de Gobierno 2010-Poder Ejecutivo Estatal (ENGPEE 10). Finalmente, en el 2017 se implementó el primer instrumento de captación correspondiente al 2016 del CNGF 2017.

La información del CNGF se recolecta de manera anual e indaga sobre la conformación y el ejercicio de las políticas públicas nacionales de las instituciones de la Administración Pública Federal (APF) centralizada y paraestatal, así como de las empresas productivas del Estado y sus empresas subsidiarias.

El Censo Nacional de Gobierno, Seguridad Pública y Sistema Penitenciario Estatales (CNGSPSPE) fue aplicado anualmente de 2011 a 2020, pero a partir del 2021 cambió su nombre a Censo Nacional de Gobiernos Estatales, y homologa la información de las administraciones públicas de cada entidad federativa; órganos de servicios periciales o servicio médico forense; oficina catastral; instituto de planeación, ordenamiento territorial, desarrollo urbano o similar; registro público de la propiedad u homólogo; secretaría de medio ambiente; y consejería jurídica y servicios legales de la Ciudad de México.

El CNGMD ha sido un ejercicio bienal desde el 2011. Este censo, además de los temas generales, incluye datos relacionados con los servicios públicos brindados por los municipios y alcaldías, la seguridad pública, justicia cívica, residuos sólidos urbanos, saneamiento y agua potable.

## **a. Federal**

El CNGF recopila información sobre las instituciones de la APF, entre ellas, la Oficina de la Presidencia, Secretaría de Gobernación, así como distintas comisiones, fondos, universidades, hospitales, institutos y centro de investigación.<sup>3</sup> De acuerdo con la edición más reciente de este censo, se recolectó

<sup>3</sup> La totalidad de instituciones de la APF que integran el CNGF 2021 se puede consultar en el esquema conceptual del proyecto en la siguiente página: <https://www.inegi.org.mx/programas/cngf/2021/>

información de 310 instituciones de la APF. En el cuadro 1 están los datos de estas por clasificación administrativa desde el 2016. El total ha disminuido en el tiempo, en particular las de la centralizada, que corresponden a las secretarías de Estado.

Cada una de las instituciones está sujeta a sus propias disposiciones normativas, por lo que, en algunos casos, dos o más de ellas pueden tener el

mismo titular. El primer dato del CNGF, 2016, registró 281 titulares<sup>4</sup> en la APF, 50 mujeres y 231 hombres, 17.8 y 82.2 %, respectivamente, como está en la gráfica 3. Al año siguiente, a pesar de que hubo un aumento en el total de personas titulares, la participación de ellas disminuyó: solo 46 encabezaron instituciones, representando 16 por ciento.

<sup>4</sup> Para el cálculo de porcentajes según sexo solo se consideran las respuestas de *Mujer y Hombre* sin tomar en cuenta los valores *No especificado* ni *Vacantes*.

Cuadro 1

### Instituciones de la APF según clasificación administrativa, 2016-2020

	Año				
	2016	2017	2018	2019	2020
<b>Total</b>	<b>319</b>	<b>323</b>	<b>316</b>	<b>312</b>	<b>310</b>
Administración centralizada*	110	111	109	102	100
Administración paraestatal**	191	193	190	194	193
Empresas productivas del Estado y subsidiarias	18	18	17	16	16

- Se refiere al conjunto de instituciones o dependencias de la Administración Pública Federal que, de acuerdo con la ley orgánica respectiva, fueron creadas para el despacho de los negocios del orden administrativo encomendados al Poder Ejecutivo Federal, tales como la Oficina de la Presidencia de la República, las secretarías de Estado, la Consejería Jurídica del Ejecutivo Federal y los órganos reguladores coordinados en materia energética.
- Se refiere a las instituciones o entidades de la Administración Pública Federal que, de acuerdo con la ley orgánica respectiva, fueron creadas para auxiliar al Poder Ejecutivo Federal, tales como: los organismos descentralizados, las empresas de participación estatal y los fideicomisos públicos; dichas entidades están reguladas por lo dispuesto en la *Ley Federal de Entidades Paraestatales* y se encuentran identificadas en la *Relación de Entidades Paraestatales de la Administración Pública Federal*.

**Fuente:** elaboración propia con base en INEGI. *Censo Nacional de Gobierno Federal*. Ediciones 2017-2021.

Gráfica 3

### Proporción de titulares de las instituciones de la APF según sexo, 2016-2020



**Nota:** no se incluyen las vacantes ni los no especificados para el cálculo de los porcentajes.

**Fuente:** elaboración propia con base en INEGI. *Censo Nacional de Gobierno Federal*. Ediciones 2017-2021.

En el 2018 se mantuvo el total de mujeres titulares, pero aumentó su participación a 17.6 por ciento. En el 2019 fueron registradas 284 personas titulares, de las cuales 23.6 % correspondió a mujeres. Para el 2020, a pesar de la baja en el total de titulares, la participación de ellas disminuyó en 9 por ciento. De acuerdo con el CNGF, entre el 2016 y 2020, la distribución de hombres titulares ha sido de 80.5 %, en promedio, mientras que 19.5 % de las instituciones fue encabezada por ellas. El año con mayor porcentaje de mujeres titulares fue el 2019, mismo en el que fue publicado el decreto sobre la paridad transversal o *en todo*.

Del 2016 al 2018, los titulares hombres fueron más de 80 % del total; con el cambio de gobierno, aumentó el porcentaje de mujeres siendo el número mayor en el 2019 con 67, que representó 23.6 por ciento. Del 2019 al 2020, la proporción de las titulares disminuyó de 23.6 a 22.6 %; en términos absolutos, de 67 a 61 mujeres. A pesar de esta caída, la presencia de ellas en las titularidades federales aumentó 22 % desde el 2016, pasando de 50 a 61 al frente de las instituciones de la APF. Aunque la reforma publicada en el 2019 obliga a que las titularidades sean conformadas en 50 % por mujeres, no existió un cambio significativo al cierre del 2019 ni durante el 2020. A nivel federal, no ha sido implementada de manera efectiva la distribución paritaria. Tomando en cuenta las funciones desempeñadas en las instituciones de la APF, en el análisis de la estructura de las titularidades según sexo destacan las siguientes situaciones:

- Por un lado, existen instituciones cuyas titularidades han recaído solo en personas del sexo masculino. Primero, la presidencia de la República es un cargo de elección popular que únicamente ha sido ocupado por hombres. Segundo, la función de seguridad nacional, comprendida por los titulares de las secretarías de la Defensa Nacional y de Marina y, recientemente, de la Guardia Nacional también, ha sido encabezada por ellos, pues las estructuras tradicionales de estas no permiten que personas del sexo opuesto las dirijan. Tercero, la titularidad del Despacho del Ejecutivo, que

es de libre designación, también ha estado a cargo de hombres. En otras palabras, sin importar la forma de nombramiento o las leyes publicadas, hay funciones que únicamente han sido ejercidas por hombres.

- Por otro lado, en las instituciones con función principal de igualdad de género, las titularidades han recaído en mujeres. Le siguen las instancias dedicadas al gobierno y política exterior, las actividades recreativas y culturales, así como las de la protección social, donde ellas tuvieron una alta participación; sin embargo, la mayoría está a cargo de titulares hombres.

En la gráfica 4 se muestran las funciones principales ejercidas en las instituciones de la APF. En los últimos tres años, por un lado, ellas han encabezado el total de las dedicadas a la igualdad de género y/o derechos de las mujeres. Por el otro, no han tenido participación en aquellas encargadas de la cultura física y/o deporte, protección y seguridad social, readaptación social y seguridad nacional, ni en el Despacho del Ejecutivo y la Presidencia de la República.

Del 2018 al 2019, en la mayoría de las funciones se incrementó la presencia de las mujeres en las titularidades, destacando: relaciones exteriores (66.7 %) y trabajo (50 %), así como gobierno y política interior (38.9 %). Para el 2020, la situación fue distinta, pues la función con mayor presencia de mujeres en el 2019 (relaciones exteriores) era una de las más bajas y en la de turismo ya no tuvieron participación a partir de ese año.

Resalta que del 2018 al 2019, las mujeres tuvieron espacios en nuevas instituciones: desarrollo agrario, territorial, urbano y vivienda, y relaciones exteriores. Del 2019 al 2020 aumentaron las titulares en funciones de gobierno y política interior; arte, cultura y otras manifestaciones sociales; desarrollo agrario, territorial, urbano y vivienda; salud; seguridad pública o ciudadana; así como asuntos financieros y hacendarios. Sin embargo, no se ha cumplido el mandato de la reforma constitucional, ya que no existe la división paritaria ni en la totalidad de las instituciones, ni al interior de estas.

Gráfica 4

## Titulares de la APF por función principal y sexo, 2018-2020

Función principal	Hombres		Mujeres	
	2018	2019	2018	2019
Igualdad de género y/o derechos de las mujeres	100 %	100 %	00 %	00 %
Gobierno y política interior	14.3 %	85.7 %	38.9 %	61.1 %
Trabajo	20.0 %	80.0 %	50.0 %	50.0 %
Arte, cultura y otras manifestaciones sociales	28.6 %	71.4 %	37.5 %	62.5 %
Educación	8.3 %	91.7 %	37.0 %	63.0 %
Función pública	50.0 %	50.0 %	33.3 %	66.7 %
Desarrollo agrario, territorial, urbano y vivienda	0.0 %	100 %	25.0 %	75.0 %
Desarrollo social	45.5 %	54.5 %	33.3 %	66.7 %
Economía	22.2 %	77.8 %	25.0 %	75.0 %
Salud	14.3 %	85.7 %	23.1 %	76.9 %
Ciencia, tecnología e innovación	18.2 %	81.8 %	22.2 %	77.8 %
Seguridad pública o seguridad ciudadana	25.0 %	75.0 %	0.0 %	100.0 %
Asuntos financieros y hacendarios	11.8 %	88.2 %	10.5 %	89.5 %
Relaciones exteriores	0.0 %	100 %	66.7 %	33.3 %
Combustibles y energía	15.4 %	84.6 %	15.4 %	84.6 %
Comunicaciones y transportes	6.9 %	93.1 %	18.8 %	81.3 %
Agricultura y desarrollo rural	20.0 %	80.0 %	13.3 %	86.7 %
Cultura física y/o deporte	0.0 %	100.0 %	0.0 %	100.0 %
Despacho del Ejecutivo	0.0 %	100.0 %	0.0 %	100.0 %
Presidencia de la República	0.0 %	100.0 %	0.0 %	100.0 %
Protección y seguridad social	0.0 %	100.0 %	0.0 %	100.0 %
Readaptación social	0.0 %	100.0 %	0.0 %	100.0 %
Seguridad nacional	0.0 %	100.0 %	0.0 %	100.0 %
Turismo	16.7 %	83.3 %	0.0 %	100.0 %

**Nota:** no se incluyen las vacantes ni los no especificados para los cálculos de los porcentajes.

**Fuente:** elaboración propia con base en el INEGI. *Censo Nacional de Gobierno Federal*. Ediciones 2019-2021.

## b. Estatal

Los CNG estatales registraron que en el 2010 existían 2 137 instituciones que conformaban la Administración Pública Estatal (APE), mientras que para el 2020, la cifra aumentó a 2 239, como lo indica el cuadro 2. El total de estas contempla a las de la admi-

nistración centralizada (como las secretarías y Consejería Jurídica) y la paraestatal.

Los datos de los censos estatales muestran que las mujeres titulares en ese ámbito han aumentado al paso del tiempo, como se presenta en la gráfica 5. En los 10 años mostrados, la brecha entre muje-

Cuadro 2

## Instituciones de la APE según clasificación administrativa, 2010-2020

	Año										
	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
<b>Total</b>	2 137	2 189	2 319	2 310	2 157	2 179	2 210	2 238	2 201	2 206	2 239
Administración centralizada*	770	738	764	705	686	718	716	733	738	746	758
Administración paraestatal**	1 430	1 451	1 555	1 605	1 471	1 461	1 494	1 505	1 463	1 460	1 481

- Se refiere al conjunto de instituciones o dependencias de la Administración Pública de la entidad federativa que, de acuerdo con la ley orgánica respectiva, fueron creadas para el despacho de los negocios de orden administrativo encomendados al Poder Ejecutivo Estatal, tales como: la oficina del(a) gobernador(a) u homóloga, las secretarías, la consejería jurídica u homóloga y las demás instituciones que la disposición normativa en la materia establezca.
- Se refiere a las instituciones o entidades de la Administración Pública de la entidad federativa que, de acuerdo con la ley orgánica respectiva, fueron creadas para auxiliar al Poder Ejecutivo Estatal, tales como los organismos descentralizados, las empresas de participación estatal, los fideicomisos públicos y las demás instituciones que la disposición en la materia establezca.

**Fuente:** elaboración propia con base en INEGI. *Censo Nacional de Gobierno, Seguridad Pública y Sistema Penitenciario Estatales*. Ediciones 2011- 2020 e INEGI. *Censo Nacional de Gobiernos Estatales* 2021.

res y hombres se ha cerrado: en el 2010, las titulares representaron 15.1 % para avanzar a 26.9 % en el 2020; en números absolutos, 91 y 552, respectivamente. A pesar del incremento en el total de las personas titulares de la APE, las mujeres fueron ocupando más lugares.

En la última década, la presencia de mujeres en las titularidades de la APE muestra un crecimiento constante, con mayor ritmo en el periodo 2010-2016. El incremento más elevado se dio entre el 2013 y 2014, cuando las titulares pasaron de 155 a 346. A partir del 2017, el aumento de ellas continuó, pero en menor proporción. A pesar de lo anterior, en los últimos cinco años, un cuarto de las instituciones de la APE ha sido responsabilidad de las mujeres.

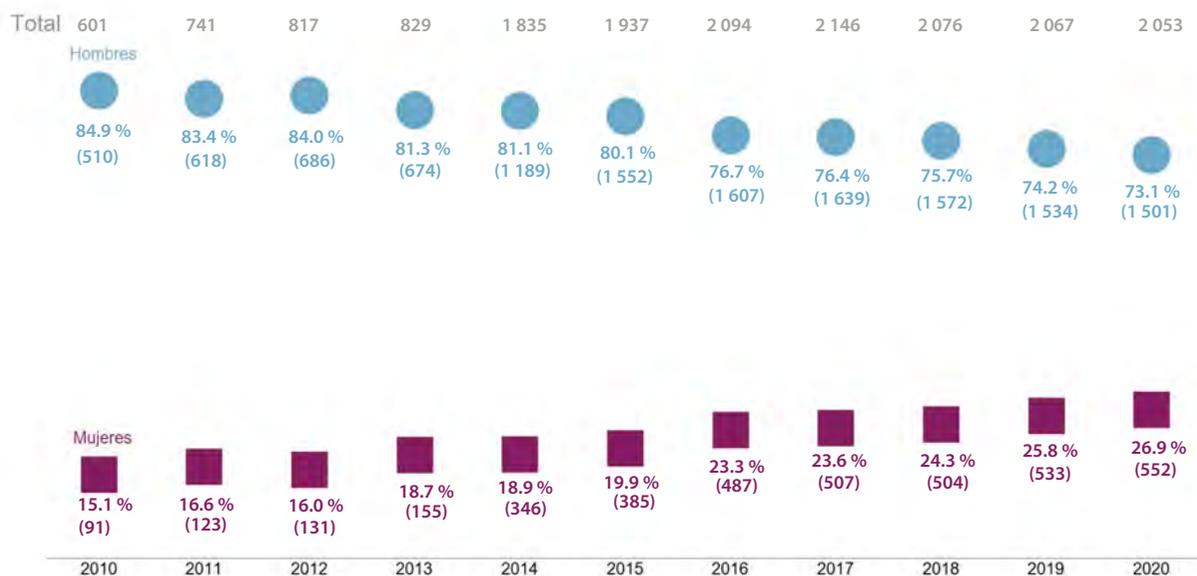
Los datos del 2018 al 2020 que contemplan el CNGSPSE y el CNGE muestran que únicamente

hubo dos titulares mujeres de las gubernaturas o jefaturas de gobierno. Esto indica que, de la totalidad de las decisiones a nivel estatal, solo 6.3 % estuvo a cargo de ellas manteniendo la preponderancia de hombres a cargo de gobiernos estatales. Ambas gobernadoras fueron electas ya con cuotas de género, pero antes de la reforma de paridad transversal y que aplicara de manera más amplia la obligatoriedad de ampliar las candidatas a todos los puestos de elección popular.<sup>5</sup> La gráfica 6 presenta los datos por función principal realizada en las instituciones de la APE. A diferencia de los titulares de la APF, aquellas con funciones de igualdad de género han sido encabezadas también

5 Antes de las elecciones estatales en Aguascalientes, Durango, Hidalgo, Oaxaca, Quintana Roo y Tamaulipas del 5 de junio de 2022 había siete gobernadoras, 21.9 %; con los resultados obtenidos, existen nueve gobernadoras electas, 28.1 %, lo que demuestra la inclusión de las mujeres en las candidaturas y en espacios políticos y de toma de decisiones.

Gráfica 5

### Proporción de titulares de las instituciones de la APE según sexo, 2010-2020



**Nota:** no se incluyen las vacantes ni los no especificados para los cálculos de los porcentajes; hasta el 2013, el programa estadístico captaba únicamente la información de las y los titulares de las instituciones más relevantes por tipo de función principal; a partir del 2014, se comenzó a captar los datos de la totalidad de titulares.

**Fuente:** elaboración propia con base en INEGI. *Censo Nacional de Gobierno, Seguridad Pública y Sistema Penitenciario Estatales*. Ediciones 2011-2020 e INEGI. *Censo Nacional de Gobiernos Estatales 2021*.

Gráfica 6

## Titulares de la APE por función principal y sexo, 2018-2020

Función principal	Hombres		Mujeres	
	2018	2019	2018	2020
Igualdad de género y/o derechos de las mujeres	96.7 %	3.3 %	97.3 %	2.7 %
Desarrollo social	32.7 %	67.3 %	45.0 %	55.0 %
Arte, cultura y otras manifestaciones sociales	45.3 %	54.7 %	44.3 %	55.7 %
Protección y seguridad social	25.0 %	75.0 %	17.9 %	82.1 %
Función pública	29.6 %	70.4 %	34.4 %	65.6 %
Trabajo	31.6 %	68.4 %	34.2 %	65.8 %
Justicia	25.0 %	75.0 %	23.1 %	76.9 %
Asuntos financieros y hacendarios	22.5 %	77.5 %	22.5 %	77.5 %
Asuntos jurídicos	13.2 %	86.8 %	13.6 %	86.4 %
Medio ambiente y ecología	27.4 %	72.6 %	29.8 %	70.2 %
Turismo	21.7 %	78.3 %	28.3 %	71.7 %
Desarrollo agrario, territorial, urbano y vivienda	13.9 %	86.1 %	20.6 %	79.4 %
Cultura física y/o deporte	14.3 %	85.7 %	26.3 %	73.7 %
Educación	24.7 %	75.3 %	23.4 %	76.6 %
Salud	24.4 %	75.6 %	25.0 %	75.0 %
Seguridad pública o seguridad ciudadana	7.8 %	92.2 %	10.2 %	89.8 %
Agricultura y desarrollo rural	4.0 %	96.0 %	15.2 %	84.8 %
Economía	17.0 %	83.0 %	18.0 %	82.0 %
Ciencia tecnología e innovación	22.9 %	77.1 %	16.7 %	83.3 %
Comunicaciones y transportes	9.4 %	90.6 %	16.2 %	83.8 %
Gobierno y política interior	23.3 %	76.7 %	14.3 %	85.7 %
Despacho del Ejecutivo	13.3 %	86.7 %	21.3 %	78.7 %
Servicio público	9.7 %	90.3 %	7.4 %	92.6 %
Protección civil	11.1 %	88.9 %	12.8 %	87.5 %
Gubernatura o Jefatura de Gobierno	6.3 %	93.8 %	6.3 %	93.8 %
Reinserción social	2.5 %	75.0 %	0.0 %	100.0 %

**Nota:** no se incluyen las vacantes ni los no especificados para los cálculos de los porcentajes.

**Fuente:** elaboración propia con base en INEGI. *Censo Nacional de Gobierno, Seguridad Pública y Sistema Penitenciario Estatales*. Ediciones 2019-2021 e INEGI. *Censo Nacional de Gobiernos Estatales 2021*.

por hombres en el 2018 y 2019; en el 2020 fueron presididas por mujeres. Después de esta área, las dedicadas al arte, cultura y otras manifestaciones culturales, así como al desarrollo social, son las dos con mayor participación de mujeres, en el 2018 y 2020, aunque con un cambio en la distribución: la primera pasó de 45.3 a 40.6 %, mientras que la segunda, de 32.7 a 47.1 por ciento.

En el 2018, las mujeres tuvieron participación como titulares en todas las instituciones; esto cambió en el 2019 y 2020 cuando las que tienen encargos de reinserción social fueron encabezadas por hombres. De las 26 funciones mostradas, entre el 2018 y 2020, en ocho disminuyó el porcentaje de mujeres titulares, las cuales son: arte, cultura y otras manifestaciones sociales; ciencia, tecnología e innovación; educación; gobierno y política interior; medio ambiente y ecología; protección civil; reinserción social; y salud. En cambio, las que presentaron mayor incremento de personal femenino titular son: agricultura y desarrollo rural, así como asuntos jurídicos, con aumentos de 16.5 y 15 %,

respectivamente. En las instituciones de desarrollo social aumentó el porcentaje de mujeres del 2018 al 2020 en 14.4.

Además de las áreas relacionadas con la igualdad de género, las mujeres no han sido mayoría en la APE. Incluso en algunas instituciones, como las relacionadas con la reinserción social, ellas fueron desplazadas: en el 2018, su proporción fue de 25 % y para el 2020, la totalidad de las instituciones fue encabezada por hombres. Ellos predominan en la APE al tener titularidad mayor a 50 % en todas las instituciones. Las funciones que mostraron un incremento constante de las mujeres en este periodo y que en el 2020 al menos 25 % de las instituciones estuvo a cargo de ellas, fueron: función pública, trabajo y asuntos jurídicos.

Aunque ha aumentado el porcentaje de personal femenino titular en las instituciones de la APE y, por lo tanto, ha disminuido la brecha entre mujeres y hombres, al interior de estas no ha sido el mismo comportamiento. Existen institu-

ciones en las cuales ellas no han tenido participación como titulares, incluso después de la reforma, como las funciones de reinserción social. Con excepción de aquellas con encargos de igualdad de género, no se ha cumplido lo publicado en la reforma: las mujeres representan menos de la mitad de las titularidades.

### c. Municipal

La Presidencia Municipal, las regidurías y sindicaturas integran la estructura organizacional del ayuntamiento o alcaldía:

- La Presidencia Municipal, cuyo titular es un cargo electo mediante voto popular, tiene entre sus funciones ejecutar los acuerdos del ayuntamiento y ser responsable de llevar a cabo la administración pública de este.
- Las regidurías están encargadas de administrar los intereses del municipio y cumplir las comisiones señaladas por el ayuntamiento.
- Las sindicaturas vigilan los aspectos financieros del ayuntamiento, además de

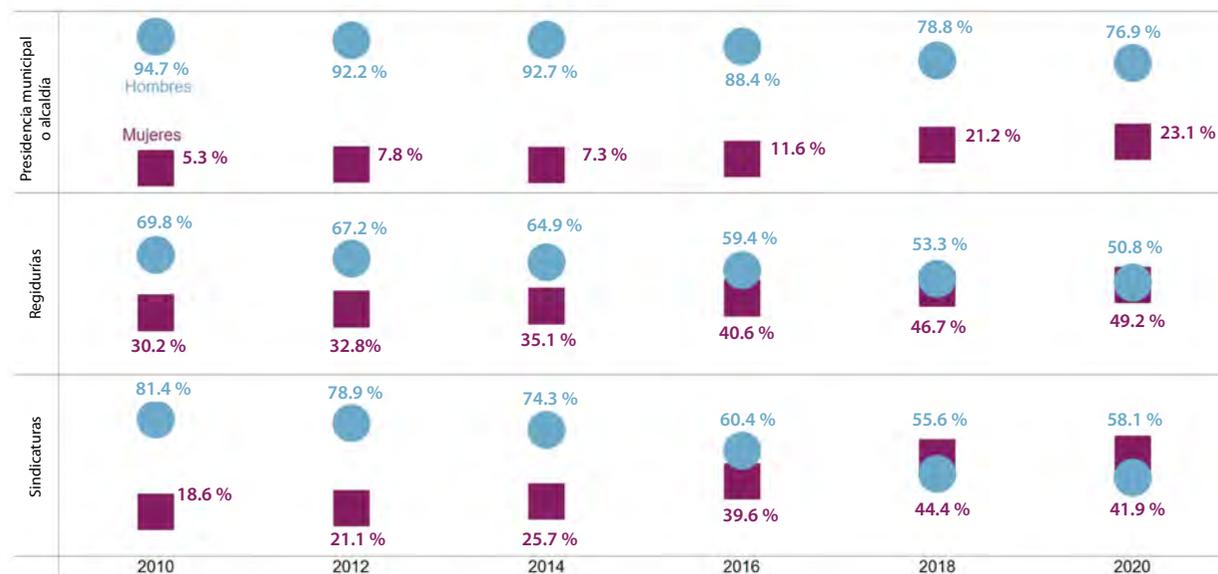
representarlo jurídicamente en los litigios de los que tome parte.

La gráfica 7 muestra la distribución de los puestos mencionados según sexo para el periodo 2010-2020. En el primer año, las presidencias municipales tuvieron la mayor brecha de género (89.4 pp), pues 94.7 % fue encabezado por hombres y 5.3 %, por mujeres. Le siguen las sindicaturas, donde ocho de cada 10 personas correspondieron a hombres, y a continuación las regidurías (39.6 pp): 69.8 % integradas por hombres y 30.2 %, por mujeres.

Para el último año, en las presidencias municipales o alcaldías, los hombres ocuparon 76.9 % y las mujeres, 23.1 por ciento. En el caso de las regidurías, destaca que, tanto ellos como ellas tuvieron proporciones similares, 50.8 y 49.2 %, respectivamente, mientras que, en las sindicaturas, las mujeres fueron mayoría con 58.1 %; el restante 41.9 % fue atendido por hombres. Esto puede ser consecuencia de las reformas electorales que establecen las cuotas de género para las candidaturas.

Gráfica 7

### Proporción de integrantes de los ayuntamientos según sexo, 2010-2020



**Nota:** no se incluyen las vacantes ni los no especificados para los cálculos de los porcentajes; la información para el 2020 es preliminar y parcial.

**Fuente:** elaboración propia con base en INEGI. *Censo Nacional de Gobiernos Municipales y Delegacionales*. Ediciones 2011-2017 e INEGI. *Censo Nacional de Gobiernos Municipales y Demarcaciones Territoriales de la Ciudad de México*. Ediciones 2019-2021.

Tomando en cuenta la información del periodo 2010-2020, las presidencias, regidurías y sindicaturas del ayuntamiento han acortado la brecha de género entre sus integrantes. En mayor medida, las dos últimas, si bien en las presidencias municipales la brecha ha disminuido constantemente desde el 2010, aún existe una diferencia importante. A lo largo de ese lapso, la presencia de mujeres en las presidencias municipales pasó de 5.3 % en el 2010 a 23.1 % en el 2020.

En el 2018 y 2020, ellas tuvieron una mayor presencia en las sindicaturas que ellos. La distribución entre ambos sexos para las regidurías fue, en general, equitativa. Las presidencias municipales registraron la proporción más elevada de mujeres: 21.2 % en el 2018 y 23.1 % en el 2020. Dicho lo anterior, es posible distinguir que las mujeres en los ayuntamientos realizan funciones mayormente administrativas y de vigilancia que los hombres.

El total de las instituciones de la Administración Pública Municipal (APM) contempla la de la administración centralizada y la paramunicipal. Las instituciones municipales han aumentado constantemente desde el 2010. En el primer levantamiento del CNGMD se registraron 37 964 en total; 10 años después se reportaron 47 803 (cuadro 3).

Al igual que en la integración de ayuntamientos, en las instituciones de la APM también ha disminuido la brecha de género. La gráfica 8 muestra que, para el periodo 2010-2020, la proporción de mujeres titulares en la APM pasó de 21.6 a 31.7 %; en términos absolutos significó un aumento de 8 465 mujeres más en la toma de decisiones a nivel municipal. A pesar de lo anterior, los hombres continúan predominando en este nivel, pues representaron 68.3 % de las titularidades en el 2020.

Entre el 2010 y 2020 hubo un incremento constante de la proporción de mujeres en las instituciones de la APM, el mayor ocurrió del 2016 al 2018, cuando la presencia de las titulares rebasó 30 %; en otras palabras, las titulares a nivel municipal crecieron en más del doble en los últimos 12 años: pasaron de 6 436 a 14 928.

En el 2020 destacan dos situaciones: la primera, y al igual que en los niveles federal y estatal, las titulares predominaron en las instituciones dedicadas a la igualdad de género y/o derechos de las mujeres, desarrollo social, salud y educación, funciones que han sido asociadas a actividades tradicionalmente desempeñadas por mujeres; y la segunda, en instancias con actividades asociadas de manera histórica a los hombres, es decir, aquellas

Cuadro 3

### Instituciones de la APM según clasificación administrativa, 2010-2020

	Año					
	2010	2012	2014	2016	2018	2020
<b>Total</b>	<b>37 964</b>	<b>41 848</b>	<b>42 726</b>	<b>41 952</b>	<b>45 146</b>	<b>47 803</b>
Administración centralizada*	35 258	39 627	39 477	39 196	41 676	44 508
Administración paraestatal**	2 706	2 221	3 249	2 756	3 470	3 295

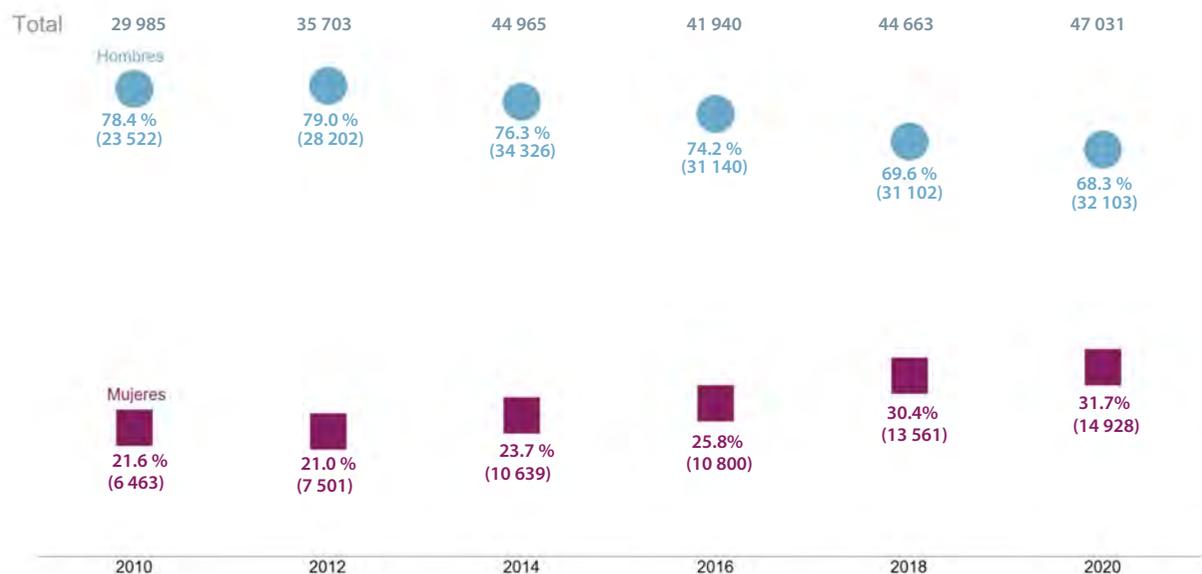
\* Se refiere al conjunto de instituciones o dependencias de la Administración Pública del municipio o demarcación territorial que, de acuerdo con la ley orgánica u homóloga y/o reglamento interno u homólogo respectivo, fueron creadas para el despacho de los negocios de orden administrativo encomendados al Poder Ejecutivo municipal o de la demarcación territorial, tales como la oficina del(a) presidente(a) municipal o alcalde(sa) u homóloga, las secretarías u homólogas, la Consejería Jurídica u homóloga y las demás instituciones que la disposición normativa en la materia establezca.

\*\* Se refiere a las instituciones o entidades de la Administración Pública del municipio o demarcación territorial que, de acuerdo con la ley orgánica u homóloga y/o reglamento interno u homólogo respectivo, fueron creadas para auxiliar al Poder Ejecutivo municipal o de la demarcación territorial, tales como: los organismos descentralizados, las empresas de participación mayoritaria, los fideicomisos públicos y las demás instituciones que la disposición normativa en la materia establezca.

**Fuente:** elaboración propia con base en INEGI. *Censo Nacional de Gobiernos Municipales y Delegacionales*. Ediciones 2011-2017 e INEGI. *Censo Nacional de Gobiernos Municipales y Demarcaciones Territoriales de la Ciudad de México*. Ediciones 2019-2021.

Gráfica 8

### Proporción de titulares de las instituciones de la APM según sexo, 2010-2020



**Nota:** no se incluyen las vacantes ni los no especificados para los cálculos de los porcentajes; hasta el 2013, el programa estadístico captaba únicamente la información de las y los titulares de las instituciones más relevantes por tipo de función principal; a partir del 2014, se comenzó a captar los datos de la totalidad de titulares.

**Fuente:** elaboración propia con base en INEGI. *Censo Nacional de Gobiernos Municipales y Delegacionales*. Ediciones 2011-2017 e INEGI. *Censo Nacional de Gobiernos Municipales y Demarcaciones Territoriales de la Ciudad de México*. Ediciones 2019-2021.

dedicadas al derecho, política y economía (Acker, 1992), las mujeres incrementaron su presencia, tal es el caso de las relacionadas con cultura física, seguridad pública, justicia y asuntos jurídicos.

En las instituciones municipales cuya función principal es la igualdad de género y/o derechos de las mujeres, 87.8 % fueron encabezadas por ellas en el 2018; este porcentaje aumentó a 90.1, como se muestra en la gráfica 9. Adicionalmente, presenta que en todas las funciones ejercidas por las instituciones de la APM hay titulares mujeres, algo que no ocurre en los ámbitos estatal y federal.

Por un lado, la titularidad de mujeres disminuyó en seis de las 26 funciones entre el 2018 y 2020: arte, cultura y otras manifestaciones sociales; ciencia, tecnología e innovación; desarrollo agrario, territorial, urbano y vivienda; gobierno y política interior; servicios públicos; y turismo. La de desarrollo agrario, territorial, urbano y vivienda fue la que tuvo mayor decrecimiento: 7.2 puntos porcentuales. Por el otro, las funciones que regis-

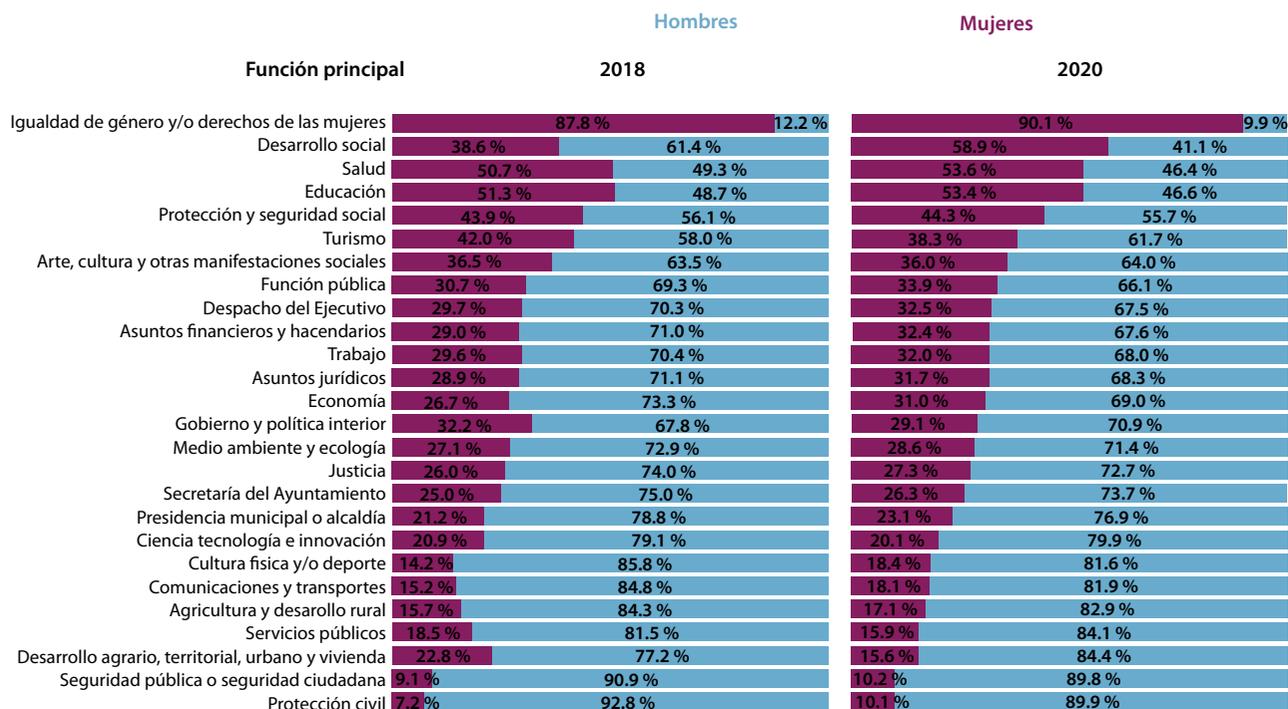
traron aumentos son: desarrollo social, economía y cultura física y/o deporte, con 20.3, 4.3 y 4.2 pp, respectivamente.

En el ámbito municipal, la paridad de género es visible en los cargos de elección popular: las regidurías y sindicaturas; sin embargo, no ocurre lo mismo en las presidencias municipales ni alcaldías, a pesar de también ser un puesto derivado de comicios. A nivel de titulares de instituciones, las mujeres siguen siendo minoría y no encabezan la mitad de los puestos, como lo señala la reforma constitucional.

## Conclusiones

De acuerdo con la OIT (2019), las empresas con una representación más equilibrada de mujeres en órganos decisorios obtienen mejores resultados financieros en comparación con aquellas que tienen unas estructuras de liderazgo menos diversas. En la administración pública, la inclusión de más mu-

## Titulares de la APM según sexo y por función principal, 2018-2020



**Nota:** no se incluyen las vacantes ni los no especificados para los cálculos de los porcentajes; hasta el 2013, el programa estadístico captaba únicamente la información de las y los titulares de las instituciones más relevantes por tipo de función principal; a partir del 2014, se comenzó a captar los datos de la totalidad de titulares.

**Fuente:** elaboración propia con base en INEGI. *Censo Nacional de Gobiernos Municipales y Demarcaciones Territoriales de la Ciudad de México*. Ediciones 2019-2021.

eres en puestos de toma de decisiones permitiría desarrollar una perspectiva integral que impacte positivamente en las políticas públicas de los tres niveles de gobierno.

Tomando en cuenta la reforma de paridad de género, entre el 2018 y 2020, las titularidades a cargo de mujeres en la administración pública se incrementaron en mayor proporción a nivel federal con 32.6 %; en el orden estatal, el cambio fue de 9.2 %; y en el municipal, de 10.1 por ciento. Aunque en la APF y APE ha sido mayor el crecimiento en la participación de las mujeres en las titularidades, al 2020 solo dos de cada 10 personas titulares son mujeres, mientras que en las instituciones de la APM la distribución es 68.3 % hombres y 31.7 % mujeres.

La titularidad de los gobiernos federal y estatales se han mantenido sin cambios en los años ana-

lizados. Actualmente, existen siete gobernadoras (21.9 % de las entidades), lo cual podría indicar que la integración de las mujeres en decisiones de política pública estatal sigue en aumento. A nivel federal, ha habido candidatas mujeres;<sup>6</sup> sin embargo, estas han quedado en tercer lugar de votos,<sup>7</sup> en el mejor resultado. En el municipal, la brecha de género se ha acortado en mayor medida en la integración de los ayuntamientos que en las titularidades de instituciones de la APM.

Al interior de las administraciones públicas, la titularidad de las mujeres en instituciones públicas de los tres niveles de gobierno ha aumentado, no así su participación en todas las funciones. En los municipios, ellas participan como titulares en to-

6 Rosario Ibarra de Piedra (1982 y 1988), Cecilia Soto y Marcela Lombardo (1994), Patricia Mercado (2006), Josefina Vázquez Mota (2012) y Margarita Zavala (2018).

7 Josefina Vázquez Mota obtuvo 26 % de los votos.

das las instituciones, lo que no ocurre en los gobiernos federal y estatales.

Sin duda, los distintos esfuerzos constitucionales han ayudado a la reducción de la brecha de género en el mercado laboral, en especial en la existente en el ámbito gubernamental. Aunque esto no necesariamente ha impulsado la incorporación de ellas en las áreas de mayor incidencia en el desarrollo y crecimiento del país. También, es importante notar que las funciones con mayor participación de las mujeres son las asociadas típicamente a los roles de género: protección y desarrollo social, educación, salud, arte y cultura.

En general, la inclusión de las mujeres en cargos de elección popular ha sido impulsada por las reformas electorales que propician la participación política y que con las cuotas de género para candidaturas modifican el mapa político del país. La reforma de paridad en todo tiene como objetivo abrir todos los cargos y puestos de las instituciones federales, estatales y municipales; sin embargo, no ha sido implementada de manera extendida, por lo que su impacto ha sido limitado.

Además de las barreras estructurales a las que ellas se enfrentan al momento de participar en la vida económica y política de un país, existen obstáculos relacionados con las capacidades desarrolladas por las mujeres y su permanencia en los puestos de toma de decisiones. En este sentido, las medidas elaboradas para acelerar la participación de las mujeres deben ser integrales. En otras palabras, la creación y modificación de leyes deben complementarse con reglamentos que especifiquen cómo se materializarán estas.

A pesar de los cambios sociales, económicos y legislativos, todavía existen brechas de género en las titularidades de las instituciones de los tres niveles de gobierno, en las que los hombres representan más de 70 %, en los niveles federal y estatal. De la misma manera, en las funciones ejercidas en estas, los patrones que presentan los titulares han sido constantes, ya que no han contado con la participación de mujeres. Es necesario

la implementación de la reforma en todos los niveles, así como la creación de mecanismos de seguimiento y vigilancia para cumplir con la *paridad en todo*.

## Fuentes

- Acker, Joan. "From Sex Roles to Gendered Institutions", en: *Contemporary Sociology*. Vol. 21, Núm. 5, 1992, pp. 565-568.
- Banco Mundial. *La participación laboral de la mujer en México*. Washington D. C., Grupo Banco Mundial, 2020, pp. 7, 11 y 12.
- Blackstone, Amy. "Gender Roles and Society", en: *Human Ecology: An Encyclopedia of Children, Families, Communities, and Environments*. Estados Unidos de América, 2003, pp. 335-337.
- Diario Oficial de la Federación (DOF). *Código Federal de Instituciones y Procedimientos Electorales*. México, Cámara de Diputados, 2008, pp. 59 y 73.
- \_\_\_\_\_. *Decreto por el que se reforman los artículos 2, 4, 35, 41, 52, 53, 56, 94 y 115; de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, en materia de Paridad entre Géneros*. México, Cámara de Diputados, 2019.
- Eagly, Alice H. y Wendy Wood. "Social Role Theory", en: *Handbook of Theories of Social Psychology*. India, 2012, pp. 459, 462, 465 y 467.
- Ellemer, Naomi. "Gender Stereotypes", en: *Annual Review of Psychology*. Países Bajos, 2018, pp. 276-277, 279, 281, 286 y 292.
- Fernández Poncela, Anna María. "Las cuotas de género y la representación política femenina en México y América Latina", en: *Argumentos*. Vol. 24, Núm. 66. Ciudad de México, UAM Xochimilco, 2011, pp. 9, 14-16.
- Haines, Elizabeth L., Kay Deaux y Nicole Lofaro. "The Times They Are a-Changing... or Are They Not? A Comparison of Gender Stereotypes, 1983-2014" en: *Psychology of Women Quarterly*. Reino Unido, 2016, pp. 3, 8-9.
- Heilman, Madeline E. "Gender stereotypes and workplace bias", en: *Research in Organizational Behavior*. Estados Unidos de América, 2012, pp. 114-115, 123, 127-129.
- INEGI. *Catálogo de Dependencias e Instituciones de Interés Público (CADIIIP)*. México, INEGI, 2015, pp. 3-5.
- \_\_\_\_\_. *Censo Nacional de Gobiernos Estatales (CNGE)*. México, INEGI. Varios años (DE) [www.inegi.org.mx](http://www.inegi.org.mx), miércoles 23 de marzo de 2022; <https://bit.ly/38Qjt3v>
- \_\_\_\_\_. *Censo Nacional de Gobierno Federal (CNGF)*. México, INEGI. Varios años (DE) [www.inegi.org.mx](http://www.inegi.org.mx), lunes 28 de marzo de 2022; <https://bit.ly/37KIIZy>
- \_\_\_\_\_. *Censo Nacional de Gobiernos Municipales y Delegacionales (CNGMD)*. México, INEGI. Varios años (DE) [www.inegi.org.mx](http://www.inegi.org.mx), miércoles 30 de marzo de 2022; <https://bit.ly/3Efhm4Q>
- \_\_\_\_\_. *Censo Nacional de Gobiernos Municipales y Demarcaciones Territoriales de la Ciudad de México (CNGMD)*. México, INEGI. Varios años

- (DE) [www.inegi.org.mx](http://www.inegi.org.mx), miércoles 30 de marzo de 2022; <https://bit.ly/303Prct>
- \_\_\_\_\_. *Censo Nacional de Gobierno, Seguridad Pública y Sistema Penitenciario Estatales (CNGSPSPE)*. México, INEGI. Varios años (DE) [www.inegi.org.mx](http://www.inegi.org.mx), miércoles 23 de marzo de 2022; <https://bit.ly/3vaiRgA>
- \_\_\_\_\_. *Encuesta Nacional de Ocupación y Empleo (ENOE)*. México, INEGI. Varios años (DE) [www.inegi.org.mx](http://www.inegi.org.mx), jueves 31 de marzo de 2022; <https://bit.ly/3rhW1T9>
- Instituto Nacional de las Mujeres. *Ley General para la Igualdad entre Mujeres y Hombres. ¡Conócela!* México, 2007, p. 9.
- Instituto Nacional Electoral (INE). *Breve cronología sobre cuotas y paridad de género en México*. México, INE, 2018 (DE) <https://igualdad.ine.mx/paridad/evolucion-normativa-de-la-paridad-de-genero/> 1 de abril de 2022.
- \_\_\_\_\_. *Impacto del registro paritario de candidaturas en el proceso electoral federal 2014-2015*. Ciudad de México, INE, 2015, pp. 39-41.
- Kroska, Amy. "Gender Ideology and Gender Role Ideology", en: *The Blackwell Encyclopedia of Sociology*. India, 2007, pp. 1867-1868.
- Mihalčová, Bohuslava, Michal Pružinský y Barbora Gontkovičová. "The Consequences of Gender Stereotypes in The Work of Managers", en: *Procedia Economics and Finance*. 23, 2015, p. 1261.
- Naciones Unidas. *Declaración del Milenio*. Nueva York, Naciones Unidas, 2000.
- \_\_\_\_\_. *Transformar nuestro mundo: la Agenda 2030 para el desarrollo sostenible*. Nueva York, Naciones Unidas, 2015.
- Organización Internacional del Trabajo (OIT). *¿Qué son los roles de género?* México, OIT, 2013 (DE) [www.oitcinterfor.org](http://www.oitcinterfor.org); martes 5 de abril de 2022; <https://bit.ly/36VVWNO>
- \_\_\_\_\_. *Un paso decisivo hacia la igualdad de género: en pos de un mejor futuro del trabajo para todos*. Ginebra, OIT, 2019, pp. 31-32.
- ONU Mujeres. *Guía estratégica. Empoderamiento político de las mujeres: marco para una acción estratégica*. Panamá, 2014, pp. 20-23.
- Risman, Barbara J. y Davis Georgiann. "From sex roles to gender structure", en: *Current Sociology*. Estados Unidos de América, 2013, pp. 743-745, 748.
- Vázquez Correa, Lorena. "Reforma Constitucional de Paridad de Género. Rutas para su implementación", en: *Cuaderno de investigación Núm. 58*. Ciudad de México, Instituto Belisario Domínguez, 2019, pp. 1-3.
- Wood, Wendy y Alice H. Eagly. "A Cross-Cultural Analysis of the Behavior of Women and Men Implications for the Origins of Sex Differences", en: *Psychological Bulletin*. Vol. 128, Núm. 5. Estados Unidos de América, 2002, pp. 701, 704-705, 710, 722.

# *Identificación de especies de plantas de la flora mexicana* **utilizando aprendizaje por transferencia a través de Inception-v4**

## *Plant Species Identification of Mexican Flora Using Transfer Learning via Inception-v4*

**Inés Fernando Vega-López,\* Rito Vega-Aviña,\* Francisco Delgado-Vargas,\* Zuriel Ernesto Morales-Casas,\*\* Eduardo Díaz-Gaxiola,\* Juan Augusto Campos-Leal,\* José Abraham Berger-Castro,\* Gerardo Beltrán-Gutiérrez\* y Arturo Yee-Rendón\***

A partir del 2012, las técnicas de aprendizaje profundo (AP) se han convertido en la base de grandes avances en la identificación automatizada de plantas. Este artículo presenta un estudio comparativo de arquitecturas de redes neuronales convolucionales aplicadas al problema de identificación de especies de la flora mexicana a partir de imágenes digitales. Con este fin, se construyó un modelo de clasificación a partir de la arquitectura de *Inception-v4* usando un conjunto de datos de vegetación nativa de México. Este consta de 17 900 imágenes

Since 2012, deep learning techniques have become the foundations of many breakthroughs in automated identification of plants from digital images. This paper presents a comprehensive study of Convolutional Neural Network (CNN) architectures applied to the problem of classification of Mexican plant species from digital images. For this purpose, a classification model was built based on the Inception-v4 architecture using a dataset of Mexican native flora. This dataset consists of 17 900 color images of 202 plant species. The experimental

\* Universidad Autónoma de Sinaloa (UAS), ifvega@uas.edu.mx (autor principal), rito.vega@gmail.com, fdelgado@uas.edu.mx, eduardogaxiola@uas.edu.mx, juan.campos@uas.edu.mx, abraham.bc17@gmail.com, gerardo@uas.edu.mx y arturo.yee@uas.edu.mx (autor de correspondencia), respectivamente.

\*\* Intellion, zuriel.morales@intellion.io

**Nota:** los autores desean agradecer al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por las becas otorgadas durante sus estudios y por el apoyo otorgado en la convocatoria del Fondo Sectorial CONACYT-INEGI 2017 en el proyecto 291772.



Ruinas de Palenque, México/Javerman3/iStock

de 202 especies de plantas. Los resultados experimentales nos muestran que las estrategias de aprendizaje por transferencia y aumento de datos mejoran sustancialmente el desempeño de modelos basados en el AP. En particular, para *Inception-v4* observamos una tasa de aciertos de 86.97 y 94.39 % en los índices *Top-1* y *Top-5*, respectivamente.

**Palabras clave:** técnicas de aprendizaje profundo; arquitectura CNN; identificación de especies vegetales; aprendizaje por transferencia; aumento de datos.

Recibido: 16 de marzo de 2022.

Aceptado: 22 de julio de 2022.

## I. Introducción

México se caracteriza por tener una amplia y rica variación geológica, orográfica y ambiental. Además, es una de las naciones con mayor diversidad biológica en el mundo. La conservación y uso sustentable de esta es indispensable para el desarrollo del país, y el impacto de su buen manejo es global.

results show that transfer learning and data augmentation significantly improve a model's performance for plant species identification. In particular, the best performance achieved by Inception-v4 was 86.97% for Top-1 accuracy and 94.39% for Top-5.

**Key words:** Deep Learning Techniques; CNN Architecture; plant species identification; Transfer Learning; Data Augmentation.

La riqueza de especies en México está soportada en la biodiversidad de plantas que tiene; las 23 314 especies registradas al 2016 lo ubican en el cuarto lugar mundial (Villaseñor, 2016). Esta cifra aún puede aumentar de manera considerable debido a que hay extensas zonas que han sido insuficientemente exploradas o están sin explorarse, y los ecosistemas de muchas de estas

zonas están siendo alterados sin tener un inventario del caudal florístico.

Conocer esta diversidad se ha vuelto una tarea complicada debido a que los trabajos de campo realizados por diferentes grupos de investigación requieren de la participación de botánicos que conozcan del manejo de las plantas y de taxónomos que las identifiquen de forma adecuada. A este respecto, el número de expertos en el país en estas materias que garanticen la identidad de las especies es muy limitado, de manera que se vuelve prácticamente imposible que cada grupo realizando trabajo de campo para hacer estudios de biodiversidad cuente con su apoyo *in situ*.

La idea detrás de esta investigación es demostrar que el uso de herramientas tecnológicas, basadas en la inteligencia artificial (IA), es una estrategia viable para solventar el déficit de expertos en actividades relacionadas con el estudio y la cuantificación de la biodiversidad de una región. En este sentido, la comunidad científica ha tenido algunos avances desde el 2010, sobre todo en el ámbito internacional, con el desarrollo de algunos sistemas para la identificación automatizada de plantas (Müller, 2010). Las primeras propuestas reportadas en la literatura se enfocan en la identificación de un número reducido de especies de plantas (50 o menos) a partir de imágenes de hojas tomadas en condiciones de laboratorio. Esta es una simplificación del problema que se estudia en este trabajo, pues la morfología prácticamente bidimensional de la hoja ayuda a obtener muestras fotográficas sin variaciones de escala, luz o perspectiva, por ejemplo.

Para que una propuesta tecnológica sea de utilidad práctica en estudios de diversidad florística, esta debe ser capaz de identificar, utilizando únicamente imágenes digitales, un gran número de especies. Este solo reto es muy complejo, pues se requiere lidiar con formas y texturas irregulares, además de mucha variabilidad intraclase y pequeñas diferencias interclase (Sulc *et al.*, 2014), aunado a las variaciones morfológicas (entre órganos) y fenológicas de cada especie. Se agrega compleji-

dad si se espera que la identificación se realice con imágenes adquiridas en condiciones de campo, pues esto incorpora factores de variación, como cambios de iluminación, color, posición, rotación, fondo y escala.

En este contexto, las técnicas tradicionales de IA y aprendizaje de máquina (AM) no logran un desempeño aceptable. Sin embargo, las de IA basadas en el aprendizaje profundo (AP, en inglés *deep learning*) combinadas con las de aprendizaje por transferencia (AT, en inglés *transfer learning*) y de aumento de datos (AD, en inglés *data augmentation*) han permitido la generación de propuestas de solución a este problema con resultados prometedores. Esto ha quedado reflejado en las diferentes ediciones del reto *LifeCLEF* (Joly *et al.*, 2014), un evento anual destinado a impulsar la investigación en inteligencia artificial aplicada a estudios de biodiversidad a través de retos científicos en el área de aprendizaje de máquina. En particular, *PlantCLEF* (que forma parte de *LifeCLEF*) ha fomentado el desarrollo de propuestas metodológicas con resultados sobresalientes en la identificación de plantas a partir de imágenes digitales. Destacan por sus resultados el uso de redes neuronales convolucionales (CNN, por sus siglas en inglés). *PlantCLEF* consiste en identificar especies utilizando imágenes de uno o más de sus órganos distintivos, como hojas, frutos, tallos y flores. Inicialmente, el número de estas usado en el reto era muy limitado, con menos de 100 especies y poco más de 5 mil imágenes. Al día de hoy, ambas cantidades han crecido de manera significativa, alcanzando su máximo en el 2019 con 10 mil y 434 251, respectivamente.

Este trabajo presenta una parte de los resultados de la ejecución del Fondo Sectorial CONACYT-INEGI 2017, proyecto 291772, para generar una herramienta informática para el reconocimiento de especies vegetales, características de los tipos de vegetación de México, a partir de fotografías tomadas con dispositivos móviles. Las principales contribuciones del estudio son las siguientes: a) una evaluación exhaustiva que demuestra la efectividad de la arquitectura de red neuronal profunda,

*Inception-v4*, para la identificación automatizada de especies de la flora nativa de México a partir de imágenes tomadas por dispositivos móviles en condiciones de campo y b) una base de datos, curada por taxónomos expertos, con imágenes de 202 especies de la vegetación del país, donde manualmente se registraron zonas de interés de los órganos de las plantas para favorecer la construcción de modelos que permitan la identificación automatizada de estas especies utilizando técnicas de aprendizaje profundo. Esta base de datos puede ser utilizada como un punto de partida para el desarrollo de nuevas y mejores técnicas de identificación de flora.

El resto de este trabajo se organiza de la siguiente manera: la segunda sección incluye una descripción de las redes neuronales convolucionales y una revisión de la literatura de trabajos basados en técnicas de AP para la identificación automatizada de plantas a partir de imágenes; la tercera presenta la metodología propuesta, en particular, se describen la arquitectura de CNN *Inception-v4*, el conjunto de datos, además de las técnicas de aprendizaje por transferencia y aumento de datos; la cuarta contiene la evaluación experimental y los resultados que muestran la tasa de aciertos de los modelos generados utilizando diferentes arquitecturas de redes neuronales profundas; y en la quinta se dan las conclusiones.

## II. Clasificación de objetos en imágenes mediante CNN

En contraste con las técnicas tradicionales de AM, por ejemplo, las máquinas de vectores de soporte y árboles de decisión, las CNN tienen la ventaja de ser capaces de encontrar por sí mismas las características visuales que ayudan a discriminar entre las clases que se les presentan; esto elimina la necesidad de desarrollar manualmente detectores de características especializados, una actividad conocida por el término ingeniería de características (*feature engineering*). El principal problema que se encuentra en el uso de CNN es la gran cantidad de datos que se requieren para su entrenamiento; sin

embargo, proyectos como *PlantCLEF* han contribuido a la obtención de un conjunto de datos que cubre la alta diversidad de vegetación en el planeta. Además, en la actualidad, otros como *Pl@ntNet*<sup>1</sup> e *iNaturalist*<sup>2</sup> se apoyan de comunidades de voluntarios para obtener y clasificar plantas alrededor del mundo.

### Descripción de CNN

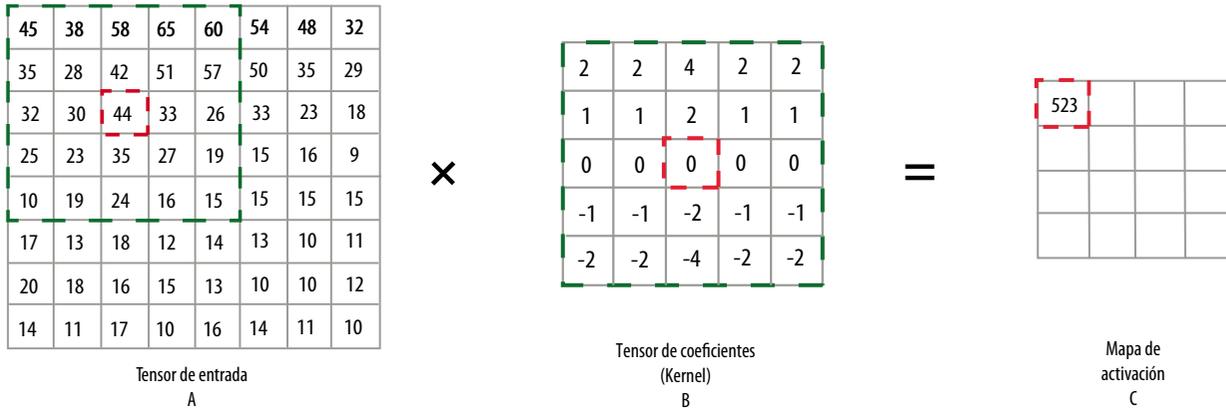
La idea básica detrás de las CNN es el uso de convoluciones. Una convolución es un operador matemático que transforma dos funciones  $f$  y  $g$  en una tercera que representa la magnitud en la que se superponen  $f$  y una traslación invertida (reflejada) de  $g$  (Kim, 2019; Fernández-Blanco, 2019). En el ámbito de las CNN, se describe como una operación matemática que recibe como entrada un tensor (arreglo multidimensional de datos) y aplica sobre él uno de coeficientes (kernel) para obtener un mapa de activación (*activation map*) del tensor de entrada. La convolución se realiza deslizando el kernel sobre un tensor de entrada, generalmente comenzando en la esquina superior izquierda, para moverlo a través de todas las posiciones donde se ajuste por completo dentro de los límites del tensor de entrada (Kim, 2019).

Un ejemplo del proceso de convolución se ilustra en la figura 1, donde se realiza una multiplicación elemento a elemento utilizando el tensor de entrada A y el de coeficientes B, es decir, cada elemento del primero se multiplica por el elemento correspondiente en el segundo; después, se suman los valores de las multiplicaciones y se guarda el resultado en el mapa de activación C. El área de acción del kernel está denotada con un borde verde y el elemento resultante en el mapa de activación C está en color rojo. Este proceso se aplica a todo el tensor de entrada, desplazando el kernel sobre este, como previamente hemos descrito.

1 *Pl@ntNet* <https://identify.plantnet.org/es>

2 *iNaturalist* <https://www.inaturalist.org/>

Figura 1



(A) es un tensor de entrada al que se le aplica un tensor de coeficientes (B) y como resultado se obtiene un mapa de activación (C). El tensor (B) se desplaza de izquierda a derecha y de abajo hacia arriba en el tensor de entrada (A).

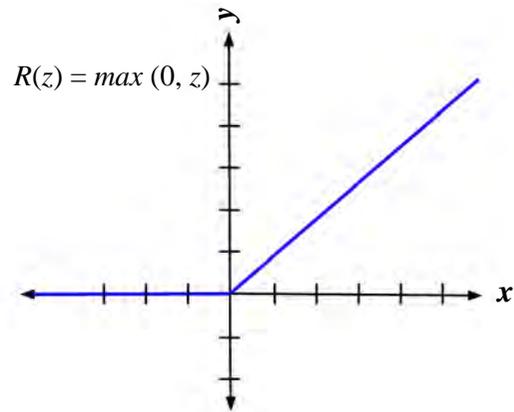
La idea principal detrás del proceso de convolución es capturar algún patrón contenido en el tensor de entrada (al principio es una imagen) y pasarlo a la siguiente capa de convolución. Los valores negativos no representan información importante en el patrón y son convertidos a 0, mientras que los positivos pasan de manera intacta a la siguiente capa. Por lo tanto, se debe definir una función que permita procesar los valores de salida del proceso. *ReLU* (del inglés *Rectified Linear Unit*), ecuación 1, es una función lineal que genera como valor de salida la entrada recibida si es positiva, y de 0 si es negativa:

$$R(z) = \max(0, z) \quad (1)$$

*ReLU* es la función de activación más utilizada en CNN. La gráfica 1 ilustra el comportamiento descrito de esta.

Además del operador convolución del cual toman su nombre, las CNN utilizan uno de agrupación (*pooling*). Una capa de agrupación en una CNN opera sobre el mapa de activación para reducir la cantidad de datos al quedarse solo con un valor representativo de una región del mapa. Esto

Gráfica 1



Función *ReLU* representada por  $R(z) = \max(0, z)$ , si el valor de entrada  $z$  es negativo el de salida será 0, de lo contrario, el de salida será  $Z$ .

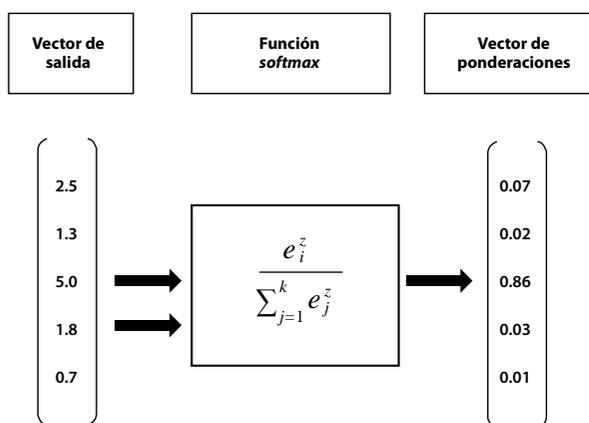
se realiza mediante la extracción de estadísticas, por ejemplo, el promedio (*average pooling*) o el máximo (*max pooling*) de una región fija. Por último, para que los resultados de una CNN puedan ser interpretados como una probabilidad, la capa final (capa de *softmax*) utiliza la función *softmax*, también conocida como exponencial normaliza-

da, para asignar probabilidades a cada clase en un problema de múltiples clases. La figura 2 ilustra un ejemplo del proceso para obtener las probabilidades para cada clase. Al vector de ejemplo del lado izquierdo se le aplica la función *softmax*, descrita en la ecuación 2, y como resultado se obtiene el de ponderaciones del lado derecho:

$$f(z) = \frac{e_i^z}{\sum_{j=1}^k e_j^z} \quad (2)$$

El rango de salida de la función *softmax* es  $[0,1]$ , y la suma de todos los valores en el vector de salida debe ser igual a 1.

**Figura 2**  
**Ejemplo de los valores finales de una CNN**  
**utilizando una función *softmax***



## Trabajos relacionados

Al día de hoy, las técnicas basadas en aprendizaje profundo generan los mejores resultados en el reto de identificar los objetos presentes en una imagen (He y Tian, 2016). La comunidad científica ha organizado una gran cantidad de retos en los que se invita a colegas investigadores a hacer propuestas para la clasificación de objetos en imágenes. El de *ImageNet* es, sin duda, el más altamente referido. Este evalúa técnicas de detección de objetos ge-

néricos y clasificación de imágenes a gran escala. Aunque este reto se ha modificado con el tiempo, su esencia es la siguiente: dado un conjunto de imágenes se debe diseñar un modelo que permita, a una computadora, clasificar mil clases distintas de objetos en estas imágenes. Para estos retos, el comité organizador hace público un conjunto de imágenes que han sido manualmente anotadas. En el 2012, la arquitectura *AlexNet* (Krizhevsky *et al.*, 2012) se convirtió en la primera propuesta de CNN en ganar el reto *ImageNet*. Desde entonces, las CNN se han mantenido al frente en tareas de clasificación de objetos a partir de imágenes, obteniendo resultados consistentemente superiores a cualquier otra técnica en diversos retos de clasificación.

La clasificación automatizada de organismos biológicos a partir de imágenes ha tomado gran relevancia. La de plantas, en particular, es un reto muy complejo, pues la cantidad de especies que hay es muy grande y pueden existir semejanzas significativas entre especies. Lee *et al.* (2015) realizaron una comparación entre un modelo de clasificación de *AlexNet* y métodos tradicionales basados en la extracción manual de características; este trabajo utilizó como base de comparación al conjunto de datos *MalayaKew Leaf*, que consiste en imágenes de hojas de 44 especies de plantas; los resultados revelan que el *AlexNet* superó, de manera significativa, a los métodos tradicionales mencionados. Reyes *et al.* (2015) utilizaron un modelo de clasificación de *AlexNet* y lo reentrenaron con el conjunto de datos de *LifeCLEF*; esta propuesta obtuvo una tasa de aciertos de 48.7 % en el reto principal de *LifeCLEF* 2015, superando los mejores resultados obtenidos en la edición previa del reto.

En fecha reciente, los trabajos con CNN se han enfocado en optimizar las arquitecturas de los modelos para incrementar la precisión en las predicciones y para clasificar utilizando múltiples órganos distintivos de las plantas (Lee *et al.*, 2018). En el 2016, Lee *et al.* (2016) utilizaron la arquitectura *VGG-16* como base de su propuesta para la clasificación de especies basada en múltiples órganos; el modelo combina capas para órganos, especies y de fusión, esto para el reto *PlantCLEF* 2016; el objetivo

de la edición 2016 de este fue identificar mil especies vegetales y, a su vez, rechazar clases desconocidas. En el mismo año, Hang *et al.* (2016) utilizaron una red tipo *VGG-16*, la cual fue modificada reemplazando la última capa de agrupación (*pooling*) por una llamada *spatial pyramid pooling*, que da como resultado una salida de tamaño fijo; los autores también sustituyeron la función de activación *ReLU* por una *Parametric ReLU*, alcanzando un puntaje *MAP (Mean Average Precision)* de 0.827, el más alto de entre todos los participantes del reto. Por otro lado, Mehdipour *et al.* (2016) utilizaron en conjunto dos arquitecturas de redes convolucionales, *GoogLeNet* (ahora conocida como *Inception*) y *VGG-16*, además de usar *AT* del reto *ImageNet*; los modelos generados por esas arquitecturas fueron reentrenados con el conjunto de datos de *LifeCLEF 2015*; adicionalmente, los autores entrenaron un modelo de *GoogLeNet* para rechazar imágenes que no correspondieran a plantas en general; el sistema alcanzó una tasa de aciertos de 73.8 por ciento.

En el 2017, Toma *et al.* (2017) utilizaron aprendizaje por transferencia de un modelo de *AlexNet* para el reto de clasificación *PlantCLEF 2017*; los autores reportaron un *MRR (mean reciprocal rank)* de 0.361 en su mejor corrida. Pawara *et al.* (2017), por su parte, emplearon *AlexNet* y *GoogLeNet* para clasificar los conjuntos de datos *Folio*, *AgrilPlant* y *Swedish Leaf* usando, a su vez, una serie de técnicas de *AD* con la finalidad de mejorar la tasa de aciertos de los modelos. Por otro lado, Barré *et al.* (2017) diseñaron un sistema para la identificación de plantas basado en *CNN* llamado *LeafNet*, el cual demostró tener un desempeño superior a métodos tradicionales para la clasificación de imágenes en los conjuntos de datos de *Foliage*, *LeafSnap* y *Flavia*; los autores reportaron las siguientes tasas de aciertos: 95.8, 86.3 y 97.9 %, respectivamente. Carpentier *et al.* (2018) utilizaron la arquitectura *ResNet* para identificar especies de árboles nativos de Canadá a partir de sus cortezas; los autores crearon un conjunto de datos de 23 mil imágenes de estas de 23 diferentes especies: la tasa de aciertos del modelo de clasificación osciló entre 93.88 % (para varios recortes en

una sola imagen) a 97.81 % (empleando todas las imágenes del tronco).

En el 2020, Zhao *et al.* (2020) generaron un clasificador de múltiples órganos para identificar 17 especies de árboles de la flora de China; para ello, utilizaron las arquitecturas *ResNet50* y *DenseNet121* como extractores de características de imágenes de órganos de corteza y hojas empleando una máquina de vectores de soporte como clasificador; el conjunto de datos usado corresponde a 400 imágenes de cada órgano por cada especie, y la tasa de aciertos reportada por los autores es de 84 % y este porcentaje se incrementa a 92 cuando se utiliza la técnica de aumento de datos. En el mismo año, Hieu *et al.* (2020) realizaron un análisis comparativo de diversas arquitecturas de *CNN*; en este trabajo crearon un conjunto de datos de la flora de Vietnam que contiene 28 046 imágenes de 109 especies, las cuales fueron recolectadas a partir de descargas automatizadas del sitio de *Enciclopedia de la vida* (EOL, por sus siglas en inglés); las arquitecturas comparadas fueron *VGG-16*, *Resnet V2*, *InceptionResnet V2* y *MobileNet V2*; sus resultados experimentales indican que la tercera es la que obtiene la mejor tasa de aciertos con 83.9 por ciento.

En síntesis, el estado del arte indica que la identificación de especies de plantas es un reto muy complejo, pues se requiere lidiar con formas y texturas irregulares, además de mucha variabilidad intraclase y pequeñas diferencias interclase. Por otro lado, la disponibilidad de datos e imágenes para cada especie de la flora es diferente. Existen especies muy representadas, bien sea por su atractivo o amplia distribución geográfica, y hay otras con escasa representación, quizá por su poca frecuencia o distribución alejada de grandes asentamientos humanos. En la siguiente sección se describe la propuesta metodológica para dar solución al problema de identificación de especies de la flora nativa de México.

### III. Metodología

Nuestra propuesta pretende resolver un problema denominado clasificación de grano fino. De acuer-

do con la revisión de literatura, las complejidades de la identificación automatizada de especies de plantas son, al menos, las siguientes:

- a) La cantidad de especies que hay es muy grande y pueden existir semejanzas significativas entre especies.
- b) Muchas presentan una gran variación morfológica entre individuos. Incluso, el mismo individuo puede exhibir variaciones morfológicas y fenológicas significativas de manera estacional; por ejemplo, el paso de una flor a fruto o la maduración y caída de hojas.
- c) Existen grupos florísticos, o zonas geográficas, escasamente explorados y muestreados, lo que nos enfrenta a un problema de deficiencia de datos.

La presente investigación está basada en el uso de redes neuronales convolucionales. Se evalúan varias arquitecturas para determinar aquella que nos ofrece el mejor desempeño en el caso de estudio. Las consideradas son las que han reportado los mejores resultados en tareas de identificación de especies de plantas. En concreto, se evaluó *Inception-v4* y se contrastó su desempeño contra *AlexNet*, *VGG-16* y *VGG-19*. Los resultados experimentales fueron ratificados con el método de validación cruzada de  $k$ -iteraciones (conocido en inglés como *k-fold cross-validation*).

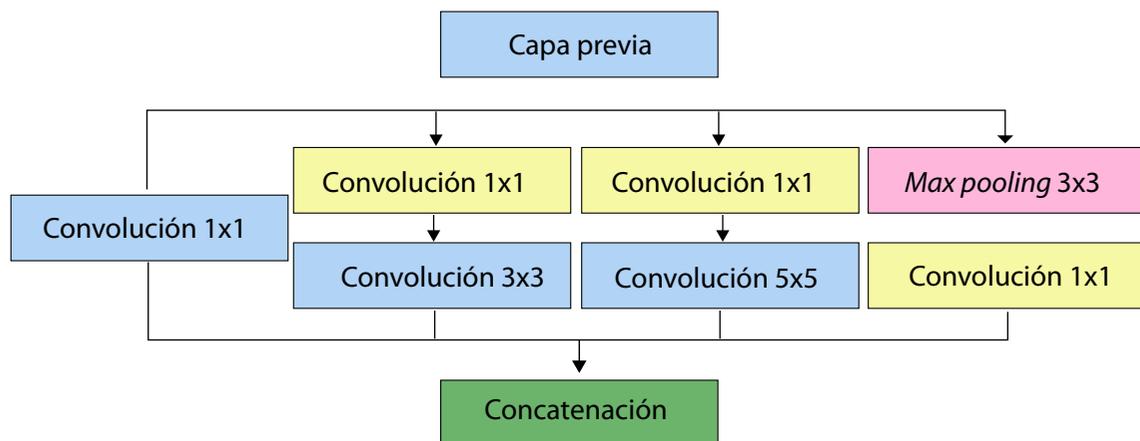
Para lidiar con la complejidad derivada de la diversidad morfológica de las plantas, hemos creado un conjunto de imágenes de flora nativa de México en el que se han indicado claramente los órganos de interés de una especie, y cada uno se considera una clase diferente en el problema de clasificación. La creación de este conjunto de datos también ayuda a mitigar la complejidad derivada de la deficiencia de estos. También, para atender esa faltante, se hace uso de las estrategias de aumento de datos y de aprendizaje por transferencia.

A continuación, describimos de manera detallada la arquitectura *Inception*, el conjunto de datos utilizado, así como los conceptos de AT y AD.

### Arquitectura *Inception*

Investigadores de *Google* presentaron la primera versión de *Inception* en el 2015 bajo el nombre de *GoogLeNet* (Szegedy *et al.*, 2015); en su trabajo, los investigadores señalan el problema de seleccionar un tamaño correcto del kernel debido a la potencial variación en el tamaño y la localización de las áreas de interés en las imágenes. Para solucionar esto, se propuso el módulo *Inception* (ver figura 3), que consiste de una combinación de capas convolucionales paralelas, cuyas salidas se concatenan al final. En concreto, cuenta con cuatro posibles

Figura 3



El módulo *Inception* propuesto por (Szegedy *et al.*, 2016) contiene ocho bloques interconectados que representan las operaciones de convolución, agrupación y concatenación (unión de los mapas de activación).

rutas que van desde la capa previa hasta un nodo de concatenación. Tres de estas tienen capas convolucionales con filtros de  $1 \times 1$ ,  $3 \times 3$  y  $5 \times 5$ , y la cuarta posee una de agrupación máxima (*max pooling*). Todas las variantes de la arquitectura *Inception* consisten en diversas configuraciones de este módulo.

La principal ventaja del módulo *Inception* es que le permite a la red determinar el tamaño de filtro más relevante para aprender, ya que utiliza filtros de distintos tamaños en sus capas convolucionales. En particular, la arquitectura *Inception-v4* es una simplificación de versiones anteriores que contiene más módulos de *Inception*. El número de parámetros entrenables es de 43 millones.

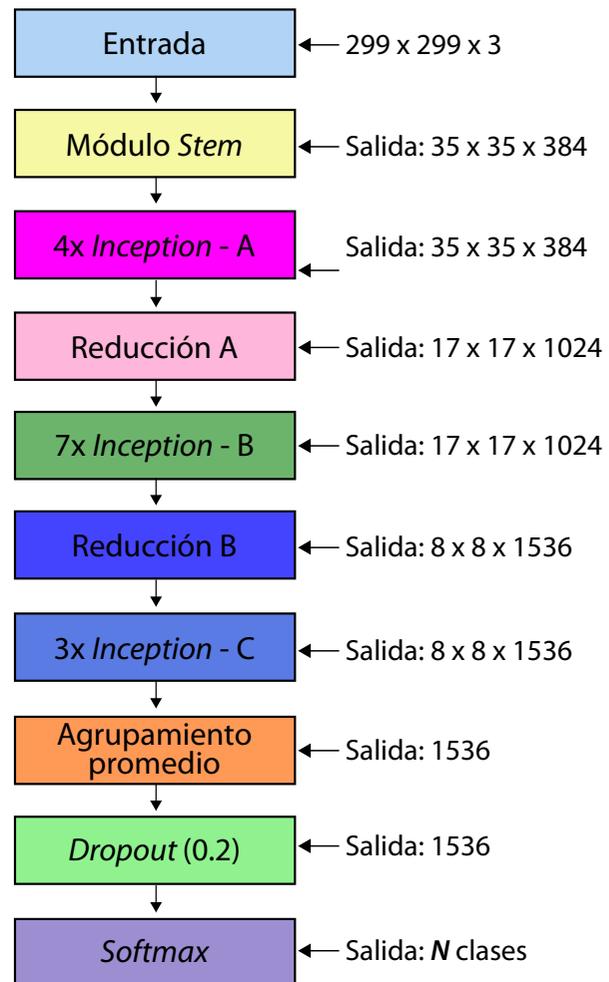
La figura 4 muestra la arquitectura de *Inception-v4* (Szegedy et al., 2017), que consiste de un módulo *stem*, cuatro *Inception A*, otro de reducción A, siete de *Inception B*, uno de reducción B, tres de *Inception C*, una capa de agrupamiento, una de *dropout* (que permite eliminar un porcentaje de parámetros para evitar el sobreajuste del modelo) y, por último, una capa final (*softmax*).

El módulo *Stem* está compuesto por 11 capas convolucionales y dos de agrupación máxima con filtros de  $1 \times 1$ ,  $3 \times 3$  y  $7 \times 7$ . El *Inception A* utiliza siete capas convolucionales y una de agrupación promedio con filtros de  $1 \times 1$  y  $3 \times 3$ . El *Inception B* tiene 10 convolucionales y una de agrupación promedio con filtros de  $1 \times 1$ ,  $1 \times 7$  y  $7 \times 7$ . El *Inception C* contiene 10 convolucionales y una de agrupación promedio con filtros de  $1 \times 1$ ,  $1 \times 3$  y  $3 \times 3$ . El de reducción A tiene cuatro convolucionales y una de agrupación máxima con filtros de  $1 \times 1$  y  $3 \times 3$ . El de reducción B está compuesto por seis convolucionales y una de agrupación máxima con filtros de  $1 \times 1$ ,  $1 \times 7$ ,  $3 \times 3$  y  $7 \times 7$ .

### Descripción del conjunto de datos

El conjunto de datos utilizado en los experimentos que aquí se reportan fue generado principalmente a partir de imágenes tomadas durante expedicio-

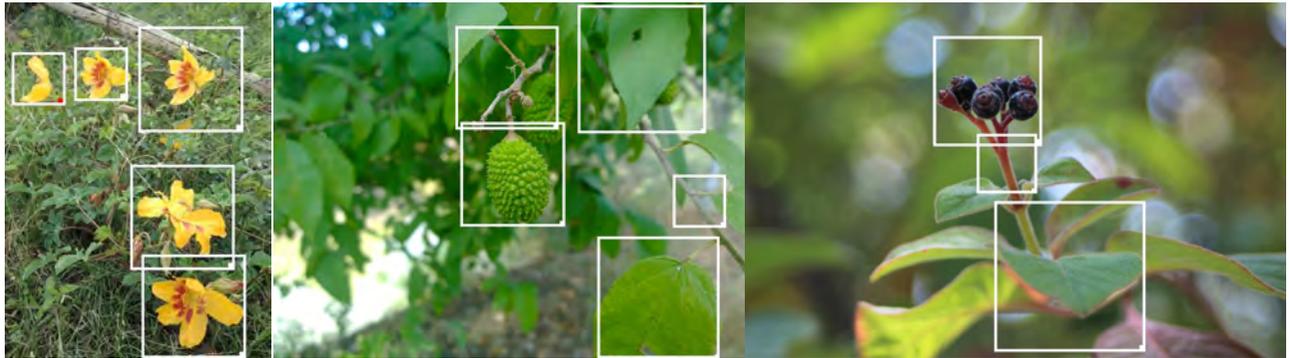
Figura 4  
**Esquema general de arquitectura Inception-v4 (Szegedy et al., 2017)**



nes a campo realizadas por equipos de biólogos y taxónomos expertos. Se usaron también las descargadas del sitio web de *Naturalista* (CONABIO, 2021), una red social en línea para compartir información sobre biodiversidad, y del reto *iNaturalist* (2019). Las imágenes originales tomadas de estas tres fuentes pasaron por una etapa de preprocesamiento manual para indicar regiones de interés. Cada una de las (anotación de órganos distintivos) marcadas en las imágenes originales generó una nueva imagen que se incorporó al conjunto de datos utilizado para construir y validar los modelos. Algunos ejemplos de anotación se muestran en la figura 5.

Figura 5

### Anotaciones de regiones de interés: hojas, flores, tallos y frutos



Las regiones marcadas se extrajeron de las imágenes originales para generar una nueva por cada área de interés. Las generadas en este proceso son siempre cuadradas. Estas se anotaron y recortaron cuidadosamente mediante el uso de una herramienta desarrollada por los autores, denominada *PitCrop*.<sup>3</sup> El número de imágenes incorporadas en este conjunto de datos a partir de las expediciones fue de 11 250 y en ellas se representan 139 especies de plantas. Del sitio de *Naturalista* se tomaron e incorporaron 4 350 de 46 especies,

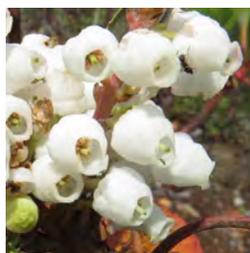
mientras que del reto *iNaturalist* se incluyeron 2 300 de 17 especies. En total, el conjunto de datos consta de 17 900 imágenes en color de 202 especies de plantas de la flora mexicana, las cuales se dividen en 358 clases con 50 imágenes cada una y que corresponden a órganos distintivos de las especies, como hojas, flores, tallos y frutos, aunque no todas tienen representación de todos sus órganos en este conjunto de datos. Además, las imágenes del conjunto final contienen variaciones en el fondo, ángulos, iluminación, contraste y escala. Algunos ejemplos se presentan en la figura 6.

<sup>3</sup> *PitCrop* está disponible al público en <https://github.com/zemc77/PitCrop>

Figura 6

### Ejemplos de imágenes del conjunto de datos

Continúa



*Arbutus xalapensis* FLOR.



*Arbutus xalapensis* FRUTO.



*Arbutus xalapensis* HOJA.



*Arbutus xalapensis* TALLO.



*Hamelia patens* FLOR.



*Hamelia patens* FRUTO.



*Hamelia patens* HOJA.



*Hamelia patens* TALLO.

## Ejemplos de imágenes del conjunto de datos



Pachira aquatica FLOR.



Pachira aquatica FRUTO.



Pachira aquatica HOJA.



Pachira aquatica TALLO.



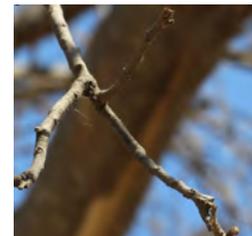
Crateva palmeri FLOR.



Crateva palmeri FRUTO.



Crateva palmeri HOJA.



Crateva palmeri TALLO.

## Aprendizaje por transferencia

Este permite reutilizar los valores de los parámetros adquiridos por un modelo de clasificación. La idea principal de esta técnica es utilizar el conocimiento obtenido de un modelo entrenado en una tarea y aplicarlo a una segunda similar. En la práctica, se emplean modelos que fueron entrenados empleando conjuntos de datos a gran escala, como *ImageNET* y *PlantCLEF*. Debemos destacar que, en el aprendizaje por transferencia, solo se usan los valores de los parámetros (coeficientes) de las capas convolucionales del modelo base (previamente entrenado). Por lo común, hay dos formas de utilizar los modelos previamente entrenados. La primera es conocida como extracción de características (*feature extraction*) y la segunda, como refinamiento (*fine-tuning*). Cuando un modelo se usa como un extractor de características, los valores de los parámetros de las capas convolucionales no se modifican; por otro lado, en el refinamiento se utilizan los del modelo base como punto de partida y se ajustan estos valores durante el entrenamiento del modelo en otro conjunto de datos destino. Los principales beneficios del AT son la reducción del tiempo de entrenamiento de los modelos y la

mejora del desempeño del modelo final. Además, esta técnica permite mitigar la ausencia de una gran cantidad de datos para el entrenamiento de los modelos (Torrey y Shavlik, 2009).

## Aumento de datos

Cuando se busca generar modelos basados en aprendizaje profundo, la disponibilidad de datos es siempre un problema (y no menor). La cantidad de parámetros entrenables es muy grande (millones) y si el conjunto de datos no tiene suficientes observaciones, ocurrirá un sobreentrenamiento. Cuando no es posible conseguir más datos, se recurre a una estrategia llamada AD, que consiste en generar nuevas observaciones aplicando transformaciones a las imágenes existentes, como rotación, reflexión y escalamiento.

En la siguiente sección se describen las configuraciones experimentales que se realizaron para encontrar el mejor modelo de clasificación de especies de la flora nativa de México. Para ello, se evaluaron cuatro arquitecturas de redes neuronales profundas con técnicas de aprendizaje por transferencia y aumento de datos.

## IV. Experimentos y resultados

Los experimentos fueron realizados en una computadora especializada con las siguientes características de *hardware/software*: procesador Intel Xeon W-2133, 32 GB de RAM, tarjeta de procesamiento gráfico NVIDIA GTX 1080, sistema operativo Ubuntu 18.04, CUDA toolkit 10.0. Para la implementación de las arquitecturas de redes neuronales profundas se utilizó Keras versión 2.2.4, que es una interfaz de programación de aplicaciones orientada al diseño y manejo de modelos de aprendizaje máquina, escrita en Python. Además, se usó la biblioteca de *software* TensorFlow 1.13.1 y se creó un entorno virtual de ejecución con Anaconda 4.6.7.

### Consideraciones generales para el entrenamiento de los modelos

Para validar los modelos basados en CNN, se empleó el método de validación cruzada de  $k$ -iteraciones (conocido en inglés como *k-fold cross-validation*). Este consiste en dividir el conjunto de datos de forma aleatoria en subconjuntos de aproximadamente el mismo tamaño; se utilizan  $k - 1$  subconjuntos para entrenar el modelo, y con el subconjunto restante se valida. Este proceso se repite  $k$  veces usando un subconjunto distinto como validación en cada iteración. Este método genera  $k$  estimaciones del desempeño, cuyo promedio se emplea como estimación final. Para este trabajo, se utilizó un valor de  $k = 5$ .

En el entrenamiento de los modelos de clasificación, se empleó el algoritmo de entrenamiento de descenso de gradiente estocástico (SGD, por sus siglas en inglés) con una tasa de aprendizaje de  $1 \times 10^{-5}$ , impulso (*momentum*) de  $9 \times 10^{-1}$ , tamaño de lote de 16 y 60 épocas. Como función de pérdida se utilizó la entropía cruzada categórica. El cuadro 1 proporciona un resumen de los valores de los parámetros usados durante el entrenamiento de los modelos.

Los resultados experimentales fueron reportados como la tasa de aciertos en las primeras respuestas (conocido en inglés como *Top-k accuracy*); princi-

palmente, se reportan el *Top-1*, es decir, la respuesta del modelo debe ser exactamente la esperada, y el *Top-5*, que significa que cualquiera de las cinco primeras respuestas de mayor probabilidad del modelo debe coincidir con la esperada.

Cuadro 1

### Valores de los parámetros utilizados para el entrenamiento de los diferentes modelos basados en arquitecturas de CNN

Parámetros	Valores
Optimizador	SGD
Tasa de aprendizaje	$1 \times 10^{-5}$
Impulso	$9 \times 10^{-1}$
Tamaño de lote	16
Número de épocas	60

### Descripción de los experimentos

Los experimentos se dividieron en tres etapas. En la primera se entrenan los modelos en evaluación sin utilizar las estrategias de aprendizaje por transferencia ni aumento de datos; esto nos ayuda a establecer una línea base del desempeño de los modelos. La segunda consiste en usar como base modelos de clasificación previamente entrenados en el reto de *ImageNet* para hacer AT. En la tercera se emplean los entrenados en el reto de *PlantCLEF 2018*. En este caso solo se utiliza la arquitectura que obtuvo la mejor tasa de aciertos en la segunda. Para las etapas segunda y tercera, las configuraciones experimentales para el entrenamiento y comparación de los modelos de clasificación son las siguientes:

- 1) Entrenamiento de modelos utilizando solo la técnica de aprendizaje por transferencia de modelos previamente entrenados haciendo un reentrenamiento completo.
- 2) Entrenamiento usando las técnicas de AT (reentrenamiento completo) y aumento de datos. Para el AD, se utilizaron tres transformaciones a las imágenes: rotación de  $90^\circ$ , así como volteo horizontal y vertical.

## Resultados de la primera etapa experimental

Los obtenidos en esta fase se muestran en el cuadro 2. Esos resultados son una línea base para la evaluación de los modelos en las etapas posteriores. El entrenamiento de todos se realizó a partir de valores aleatorios en sus coeficientes (se le llama entrenamiento a partir de 0). Como se puede apreciar, todos los valores son pobres (inferiores a 40 % en tasa de aciertos para el índice *Top-1*), aunque se aprecia que los modelos más simples obtienen mejores resultados. Los valores bajos son de esperarse, pues el número de imágenes en el conjunto de datos utilizado para entrenar los modelos es muy pequeño. Todas las arquitecturas evaluadas fueron propuestas para clasificar las imágenes del reto *ImageNet*, cuyo conjunto de datos contiene 1 millón de estas. Las 17 900 imágenes en el conjunto de datos empleado en este experimento simplemente resultan insuficientes para que los modelos obtengan una mayor tasa de aciertos.

Cuadro 2

### Tasa de aciertos de los modelos entrenados desde 0

Modelo	Tasa de aciertos (%)	
	<i>Top-1</i>	<i>Top-5</i>
<i>AlexNet</i>	37.86	59.27
<i>VGG-16</i>	30.58	48.81
<i>VGG-19</i>	27.57	43.46
<i>Inception-v4</i>	18.31	39.16

## Resultados de la segunda etapa experimental: modelos basados en *ImageNet*

Los obtenidos en esta fase se muestran en el cuadro 3. Estos resultados son considerablemente mejores a los mostrados el cuadro 2 y esto se debe a lo siguiente: cuando empleamos aprendizaje por transferencia, los modelos utilizan el conocimiento adquirido de otro problema (en esta etapa experimental, del reto *ImageNet*) como punto de partida, y durante el entrenamiento se modifican de manera sutil sus parámetros para obtener un mejor resultado (mejor generalización) sobre el conjunto final. La mejora obtenida fue entre 14 y 42 % con respecto a los modelos entrenados desde 0. En particular, *Inception-v4* obtuvo la mejor tasa de aciertos, que fue 60 % en *Top-1* y 80.22 % en *Top-5*, respectivamente. Por otro lado, el aumento de datos permitió incrementar el conjunto de imágenes de entrenamiento y así agregar una mayor variabilidad reduciendo el sobreajuste de los modelos. Esta técnica mejoró la tasa de aciertos entre 10 y 15 puntos porcentuales sobre los modelos entrenados con aprendizaje por transferencia. Nuevamente, el mejor fue *Inception-v4* con una tasa de aciertos de 75.85 % en *Top-1* y 89.50 % en *Top-5*.

Las curvas de aprendizaje permiten conocer el comportamiento de los modelos durante el entrenamiento utilizando un conjunto de validación para medir qué tan bien están generalizando. Las gráficas 2 muestran las curvas de aprendizaje de los modelos que se evaluaron. Por cuestiones de espa-

Cuadro 3

### Tasa de aciertos de los modelos entrenados

Modelos	AT		AT + AD	
	Tasa de aciertos (%)		Tasa de aciertos (%)	
	<i>Top-1</i>	<i>Top-5</i>	<i>Top-1</i>	<i>Top-5</i>
<i>AlexNet</i>	56.76	78.32	65.23	84.19
<i>VGG-16</i>	44.82	66.06	69.20	87.64
<i>VGG-19</i>	44.61	66.26	69.67	87.91
<i>Inception-v4</i>	60.00	80.22	<b>75.85</b>	<b>89.50</b>

cio, solo se presenta una gráfica por cada arquitectura. En a, b y c, correspondientes a *AlexNet*, *VGG-16* y *VGG-19*, se presenta un amplio margen entre la tasa de aciertos en el conjunto de entrenamiento (la curva color rojo) y en el de validación (la púrpura). La diferencia entre ambas curvas es cercana a 20 %, lo que sugiere un sobreajuste en los modelos. Por otro lado, la gráfica d, que es la del *Inception-v4* muestra una menor diferencia (menos de 10 %), lo cual sugiere un mejor ajuste del modelo. Este análisis nos ayuda a explicar los resultados que aparecen en el cuadro 3.

### Resultados de la tercera etapa experimental: modelos basados en *PlantCLEF 2018*

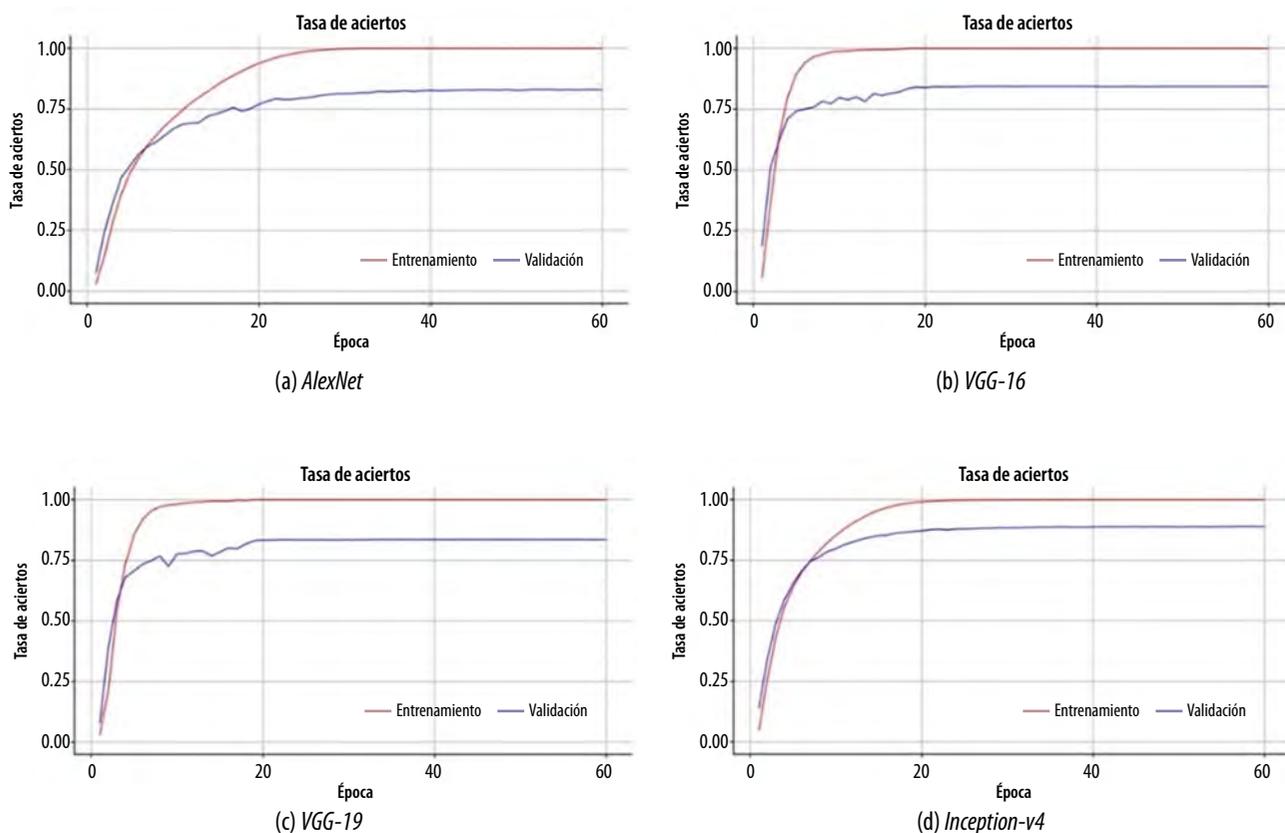
A partir de los resultados de la etapa previa, se decidió utilizar la arquitectura *Inception-v4* para

generar modelos que usen aprendizaje por transferencia a partir del reto *PlantCLEF 2018* (es para la identificación de especies de plantas)<sup>4</sup> (Sulc *et al.*, 2018). Lo obtenido se muestra en el cuadro 4 y proporciona evidencia de que emplear AT de una tarea similar a la que se está atendiendo permite generar modelos con mejores resultados que los que se generan cuando se utiliza aprendizaje por transferencia a partir de una tarea genérica (como lo es el reto *ImageNet*). En particular, observamos un incremento de 22 puntos porcentuales (*Top-1*) cuando pasamos del AT a partir de *ImageNet* a aprendizaje por transferencia desde *PlantCLEF*. Por otra parte, el modelo *Inception-v4* entrenado con AT y AD fue el que obtuvo la mejor tasa de aciertos, con 86.97 % en *Top-1* y 94.39 % en *Top-5*. Este resultado era esperado a partir de la varia-

4 <http://ptak.felk.cvut.cz/personal/sulcmila/models/LifeCLEF2018/>

Gráficas 2

### Curvas de aprendizaje de los modelos durante el entrenamiento



bilidad que las transformaciones de aumento de datos incorporan a las imágenes utilizadas para el entrenamiento de los modelos.

Cuadro 4

**Tasa de aciertos del modelo *Inception-v4***

Modelos	Tasa de aciertos (%)	
	<i>Top-1</i>	<i>Top-5</i>
<i>Inception-v4 con AT</i>	82.02	93.26
<i>Inception-v4 con AD + AT</i>	<b>86.97</b>	<b>94.39</b>

**V. Conclusiones**

La identificación de plantas es un reto complejo, aun para personas con conocimientos especializados en el área. Se trata de una tarea de clasificación donde detalles finos hacen la diferencia entre una especie y otra, mientras que, al mismo tiempo, existen discrepancias importantes entre individuos de una misma especie.

Al día de hoy, la literatura científica nos indica que las técnicas de inteligencia artificial basadas en el aprendizaje profundo son las más efectivas para automatizar esta tarea. Durante su desarrollo, los sistemas basados en estas técnicas deben exponerse a un conjunto de imágenes debidamente identificadas en un proceso conocido como entrenamiento. A mayor diversidad de especies y cantidad de observaciones por especie en este conjunto de imágenes, se espera que mejor sea el desempeño de dichos sistemas.

En la práctica, uno de los problemas para el desarrollo de sistemas para la identificación automatizada de plantas es la carencia de estos conjuntos de imágenes donde se encuentre representado un número significativo de especies de una región en particular, como en el caso de México.

En el presente trabajo hemos evaluado varias arquitecturas de redes neuronales profundas en combinación con técnicas paliativas para atender este problema de deficiencia de datos, además de crear un conjunto con imágenes de especies nativas de México. A partir de nuestra evaluación experimental, podemos concluir lo siguiente:

- La estrategia de aumento de datos durante el entrenamiento de redes neuronales profundas brinda mejoras significativas en la tarea de clasificación de plantas. Esto se cumple para las cuatro arquitecturas evaluadas con ganancias de entre 9 y 25 % en la tasa de aciertos *Top-1*. Ello se debe a que la estrategia de AD introduce variabilidad en el conjunto de imágenes de entrenamiento de los modelos reduciendo el sobreajuste.
- La estrategia de aprendizaje por transferencia también incorpora mejoras en el desempeño del modelo; aquí se observan ganancias en la tasa de aciertos que van desde 14 hasta 42 % si contrastamos los resultados de la línea base con respecto a los de la segunda etapa experimental. Debemos mencionar que es de gran importancia el tipo de imágenes con las que fue entrenado el modelo a partir del cual se hace la transferencia. En nuestros experimentos pudimos observar un incremento en la tasa de aciertos de aproximadamente 22 % cuando se utiliza AT desde un modelo entrenado con imágenes de plantas con respecto a partir de uno con imágenes de objetos genéricos. Por otro lado, debemos dejar en claro que, además de la limitación intrínseca de su dependencia de un conjunto de imágenes suficientemente expresivo, las técnicas de aprendizaje profundo solo pueden utilizar las características visuales presentes en una imagen durante el proceso de aprendizaje e identificación de especies.
- El uso de otras características importantes disponibles para un humano a través de sentidos como el olfato o el tacto no es posible para las técnicas de inteligencia artificial descritas en este trabajo, lo que reduce (al menos de manera potencial) su capacidad de discernir entre especies similares visualmente.

**Fuentes**

Barré, P., B. C. Stöver, K. F. Müller y V. Steinhage. "Leafnet: A computer vision system for automatic plant species identification", en: *Ecological Informatics*. 40, 2017, pp. 50-56.

- Carpentier, M., P. Giguere y J. Gaudreault. "Tree species identification from bark images using convolutional neural networks", en: *Proceedings of the International Conference on Intelligent Robots and Systems*. October 1-5. Madrid, España, IEEE, 2018, pp. 1075-1081.
- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). *Naturalista*. 2021 (DE) <http://www.naturalista.mx>, consultado el 3 de diciembre de 2021.
- Fernández-Blanco, R. "Deep learning para la generación de imágenes histopatológicas realistas mediante aritmética de vectores conceptuales", en: *Tesis de maestría en Bioinformática y Bioestadística*. Universitat Oberta de Catalunya (UOC), 2019.
- Hang, S. T., A. Tatsuma y M. Aono. "Bluefield (kde tut) at lifeclef 2016 plant identification task", en: *Proceedings of the Conference and Labs of the Evaluation Forum*. September 5-8. Évora, Portugal, CEUR-WS, 2016, pp. 459-468.
- He, A. y X. Tian. "Multi-organ plant identification with multi-column deep convolutional neural networks", en: *Proceedings of the International Conference on Systems, Man, and Cybernetics*. October 9-12. Budapest, Hungary, IEEE, 2016, pp. 2020-2025.
- Hieu, N. V. y N. L. H. Hien. "Automatic Plant Image Identification of Vietnamese species using Deep Learning Models", en: *International Journal of Engineering Trends and Technology*. 68(4), 2020, pp. 25-31.
- iNaturalist reto 2019. *iNaturalist.org*. 2019 (DE) <https://sites.google.com/view/fgvc6/competitions/inaturalist-2019>, consultado el 3 de diciembre de 2021.
- Joly, A., H. Goëau, H. Glotin, C. Spampinato, P. Bonnet, W. Vellinga, R. Planqué, A. Rauber, R. B. Fisher y H Müller. "LifeCLEF 2014: Multimedia Life Species Identification Challenges", en: *Proceedings of the International Conference of the CLEF Initiative*. September 15-18. Sheffield, UK, Springer, 2014, pp. 229-249.
- Kim, H. "The definition of convolution in deep learning by using matrix", en: *Journal of Engineering and Applied Sciences*. 14, 2019, pp. 2272-2275.
- Krizhevsky A., I. Sutskever y G. E. Hinton. "Imagenet classification with deep convolutional neural networks", en: *Proceedings of the Annual Conference on Neural Information Processing Systems*. December 3-6. Lake Tahoe, Nevada, United States, 2012, pp. 1106-1114.
- Mehdipour, M., B. Yanikoğlu y E. Aptoula, "Open-set plant identification using an ensemble of deep convolutional neural networks", en: *Proceedings of the Conference and Labs of the Evaluation Forum*. September 5-8. Évora, Portugal, CEUR-WS, 2016, pp. 518-524.
- Müller, H., P. Clough, T. Deselaers y B. Caputo. "Experimental Evaluation in Visual Information Retrieval", en: *The Information Retrieval Series*. 32, Springer, 2010.
- Lee, S. H., C. S. Chan, P. Wilkin y P. Remagnino. "Deep-plant: Plant identification with convolutional neural networks", en: *Proceedings of the International Conference on Image Processing*. September 27-30. Quebec City, QC, Canada, IEEE, 2015, pp. 452-456.
- Lee, S. H., Y. L. Chang, C. S. Chan y P. Remagnino. "Plant identification system based on a convolutional neural network for the lifeclef 2016 plant classification task", en: *Proceedings of the Conference and Labs of the Evaluation Forum*. September 5-8. Évora, Portugal, CEUR-WS, 2016, pp. 502-510.
- Lee, S. H., C. S. Chan y P. Remagnino. "Multi-organ plant classification based on convolutional and recurrent neural networks", en: *IEEE Transactions on Image Processing*. 27(9), 2018, pp. 4287-4301.
- Pawara, P., E. Okafor, L. Schomaker y M. Wiering. "Data augmentation for plant classification", en: *Proceedings of the International Conference on Advanced Concepts for Intelligent Vision Systems*. September 18-21. Antwerp, Belgium, Springer, 2017, pp. 615-626.
- Reyes, A. K., J. C. Caicedo y J. E. Camargo. "Fine-tuning deep convolutional networks for plant recognition", en: *Proceedings of the Conference and Labs of the Evaluation forum*. September 8-11. Toulouse, France, CEUR-WS, 2015.
- Sulc, M. y J. Matas. "Texture-based leaf identification", en: *Proceedings of the European Conference on Computer Vision*. September 6-7 and 12. Zurich, Switzerland, Springer, 2014, vol. 8928, pp. 185-200.
- Sulc, M., L. Picek y J. Matas. "Plant recognition by Inception networks with test-time class prior estimation", en: *Proceedings of the Conference and Labs of the Evaluation Forum*. September 10-14. Avignon, France, CEUR-WS, 2018, p. 2125.
- Szegedy, C., W. Liu, Y. Jia, P. Sermanet, S. Reed, D. Anguelov, D. Erhan, V. Vanhoucke y A. Rabinovich. "Going deeper with convolutions", en: *Proceedings of the Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*. June 7-12. Boston, MA, USA, IEEE, 2015, pp. 1-9.
- Szegedy, C., V. Vanhoucke, S. Ioffe, J. Shlens y Z. Wojna. "Rethinking the inception architecture for computer vision", en: *Proceedings of the Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*. June 27-30. Las Vegas, NV, USA, IEEE, 2016, pp. 2818-2826.
- Szegedy, C., S. Ioffe, V. Vanhoucke y A. Alemi. "Inception-v4, Inception-ResNet and the Impact of Residual Connections on Learning", en: *Proceedings of the AAAI Conference on Artificial Intelligence*. 31(1), 2017 (DE) <https://doi.org/10.1609/aaai.v31i1.11231>.
- Toma, A., L. Stefan y B. Ionescu. "Upb hes so @ plantclef 2017: Automatic plant image identification using transfer learning via convolutional neural networks", en: *Conference and Labs of the Evaluation Forum*. September 11-14. Dublin, Ireland, CEUR-WS, 2017, p. 1866.
- Torrey, L. y J. Shavlik. "Transfer Learning", en: *Handbook of Research on Machine Learning Applications*. 2009.
- Villaseñor, J. L. "Checklist of the native vascular plants of Mexico", en: *Revista Mexicana de Biodiversidad*. 87(3), 2016, pp. 559-902.
- Zhao, Y., X. Gao, J. Hu, Z. Chen y Z. Chen. "Tree species identification based on the fusion of bark and leaves", en: *Mathematical Biosciences and Engineering*. 17(4), 2020, pp. 4018-4033.

# Midiendo la economía circular en México

## Measuring the Circular Economy in Mexico

Edgar Sandoval-García, Guadalupe Graciela Ramos Rodríguez y Adrián Correa Torres\*

\* Tecnológico Nacional de México/ITES de Cuautitlán Izcalli, edgar.sg@cuautitlan.tecnm.mx, guadalupe.rr@cuautitlan.tecnm.mx y 193138024@cuautitlan.tecnm.mx, respectivamente.



Promoción del reciclaje/IS BioGeo/Stock

En una economía circular, la recuperación y valorización de los residuos permite reutilizar los materiales en la cadena de suministro, promoviendo así la desvinculación del crecimiento económico de las pérdidas medioambientales. Ante la pregunta de investigación, ¿qué tan circular es México?, el objetivo de esta propuesta es el de estimar la tasa de circularidad del país utilizando el marco de Indicadores de Transición Circular propuesto por el Consejo Empresarial Mundial para el Desarrollo Sostenible. Dados los supuestos y limitantes descritas en el texto, se obtiene una primera aproximación del Porcentaje de Circularidad en México de 15.14 %, 5.51 puntos por encima del valor actual de residuos sólidos urbanos reciclados de 9.63 por ciento. Hace falta ampliar la búsqueda de información para elevar la precisión de los cálculos y complementarla con técnicas cualitativas para poder desarrollar un ejercicio de procesamiento de datos más robusto.

**Palabras clave:** economía circular; Porcentaje de Circularidad; México; medición.

Recibido: 28 de junio de 2022.

Aceptado: 23 de septiembre de 2022.

## Introducción

En una economía lineal tradicional, los procesos industriales se caracterizan por un flujo unidireccional de materiales, con materias primas que se transforman en un producto final y, por último, en un elemento desechable. En el nuevo concepto de economía circular (EC), la recuperación y valorización de los residuos permite reutilizar los materiales en la cadena de suministro, desvinculando finalmente el crecimiento económico de las pérdidas medioambientales (Ghisellini *et al.*, 2016).

La propuesta innovadora de la EC se fundamenta en la metodología 6Rs basada en múltiples sistemas de ciclos de vida de los productos (ver diagrama 1), la cual comprende:

1. Reducir: se enfoca en la disminución de recursos en la premanufactura, además de la reducción tanto en el uso de energía, mate-

In a circular economy, the recovery and valorization of waste allows the reuse of materials in the supply chain, thus promoting the decoupling of economic growth from environmental losses. Given the research question of How circular is Mexico? the objective of this proposal is to estimate the circularity rate of Mexico using the Circular Transition Indicators framework proposed by the World Business Council for Sustainable Development (WBCSD). Given the assumptions and limitations described in the text, a first approximation of the value of Percentage of Circularity in Mexico of 15.14% is obtained, 5.51 percentage points above the current percentage value of recycled Urban Solid Waste of 9.63%. It is necessary to broaden the search for information to increase the precision of the calculations and to complement it with qualitative techniques in order to develop a more robust data processing exercise.

**Key words:** circular economy; % Circularity; Mexico; measurement.

riales y otros recursos durante la manufactura como de emisiones y desperdicios en la etapa de uso/consumo.

2. Reusar: se refiere al uso del producto en su totalidad, o sus componentes, después de su primer ciclo de vida, promoviendo nuevos ciclos, evitando así el requerimiento de materiales vírgenes para la producción de nuevos productos y componentes.
3. Reciclar: involucra el proceso de convertir insumos que de otra forma se considerarían como basura en nuevos materiales y productos.
4. Recuperar: proceso de recolección de productos al final de su etapa de uso y su posterior desmontaje, clasificación y limpieza para su utilización en posteriores ciclos de vida.
5. Rediseñar: actividad que implica diseñar la próxima generación de productos, permitiendo un uso más eficiente de componentes, materiales y recursos recuperados del ciclo de vida anterior o de la anterior producción.

6. Remanufacturar: implica el reprocesar productos ya utilizados para su restauración a un estado original o como un nuevo modelo a través de la reutilización de la mayor cantidad de partes como sea posible sin pérdida de funcionalidad (Jawahir y Bradley, 2016).

De acuerdo con la economía circular, el primer paso para cerrar los ciclos es repensar los modelos de negocio, el rediseño y la reducción de recursos, buscando que desde la creación de los productos se piense en la circularidad de sus componentes; después, se debe tomar en cuenta la recuperación al concluir su uso y tomar la decisión de reutilizar o remanufacturar, siguiendo el reciclado; y, finalmente, para los productos que no puedan ser recuperados, realizar la degradación mediante composta industrial controlada.

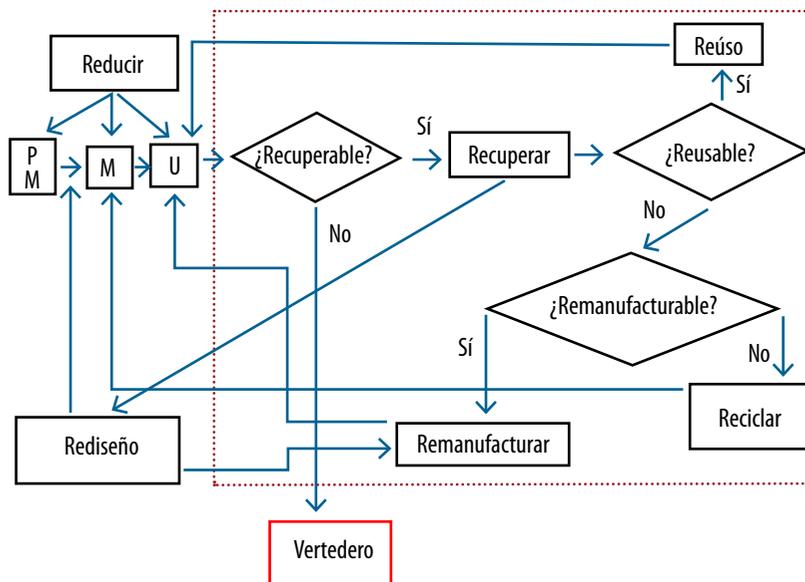
Conforme al *Circularity Gap Report* (CGR, 2022a), en solo 50 años, el uso global de materiales casi se ha cuadruplicado, superando el crecimiento de la población. En 1972, cuando se publicó el informe

*Los límites del crecimiento del Club de Roma*, el mundo consumía 28 600 millones de toneladas; para el 2000, este había aumentado a 54 900 millones y, a partir del 2019, superó los 100 mil millones. El aumento de los niveles de residuos acompaña a la rápida aceleración del consumo: en última instancia, más de 90 % de todos los materiales extraídos y utilizados se desechan; o, por otro lado, solo 8.6 % se reintegra a la economía. Y está empeorando: en solo dos años, la circularidad global se contrajo de 9.1 % en el 2018 a 8.6 % en el 2020.

A nivel mundial, Países Bajos es la nación líder en la carrera hacia la EC con una métrica de circularidad de 24.5 %, al consumir cada año 221 millones de toneladas de materiales (minerales, combustibles fósiles, metales y biomasa), faltando reincorporar a la economía 167 millones de toneladas. A corto y mediano plazo, el gobierno holandés ostenta metas ambiciosas: una economía que sea 50 % circular para el 2030 y 100 % para el 2050 (CGR, 2022b).

Diagrama 1

### Aplicación de la metodología 6Rs en el ciclo de vida del producto



PM = premanufactura, M = manufactura, U = uso.

Fuente: elaboración propia con base en propuesta de Jawahir y Bradley (2016).

Ejercicios previos, prácticas existentes y conocimiento acumulado demuestran que, en México, la gestión de los residuos sólidos urbanos (RSU) debe ser una prioridad para la estrategia de implementación de la EC (Muñoz *et al.*, 2021). De hecho, en el país se generan diariamente 102 895 toneladas de estos, de los cuales se recolectan solo 83.93 % y se disponen en sitios de disposición final 78.54 %, reciclando únicamente 9.63 % de los RSU generados (SEMARNAT, 2017).

Otros objetivos adicionales para complementar las estrategias de EC, acorde con Muñoz *et al.* (2021), deben considerar los desechos tanto agrícolas como electrónicos y los plásticos de un solo uso, de los cuales su producción crece a un ritmo acelerado y donde es necesario un análisis más detallado para derivar planes de gestión y explotación. Existe una subclasificación adicional de desechos que también requieren atención, como los peligrosos y los de manipulación especial (en particular, los de construcción y demolición de edificios), esto es, todos los flujos que podrían impactar la salud pública o conducir al país hacia caminos más sostenibles, resilientes e inclusivos.

Acorde con estimaciones de la Asociación Nacional de Industrias del Plástico (ANIPAC), mencionado por Sánchez (2019), el mercado nacional de reciclaje tiene un valor superior a los 3 mil millones de dólares —80 % del costo del nuevo Aeropuerto Felipe Ángeles (Arellano, 2022)—; asimismo, en el 2019 se estimaba una producción de alrededor de 14.9 millones de toneladas de residuos sólidos que pueden reutilizarse, de los cuales 39 % corresponden a papel, cartón y similares; 30.7 %, a plásticos; y 16.6 %, a vidrio; y el nivel de reciclaje era del orden de 56 % del papel y cartón desechado, 50 % en plásticos, pero solo 12 % del vidrio.

Uno de los mayores beneficios de promover la EC es que al utilizar material reciclado en lugar de virgen se gasta menos energía porque se reintroduce el material de nuevo en un ciclo de vida, evitando su valorización energética (por ejemplo, en plantas termo-valorizadoras-incineradoras, menos efectivas) y/o también su disposición final, por

ejemplo, en rellenos sanitarios. Asimismo, al incorporar la metodología 6Rs se disminuye el gasto de energía asociado a la obtención y el procesamiento de material virgen, entre otros cobeneficios, además de que, al reducir la demanda energética, se mitigan emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) (INECC, 2020).

La historia moderna del reciclaje en México, tal como lo señalan Lugo *et al.* (2019), inició por un producto que *per se* requiere un manejo especial: los acumuladores LTH. En 1990, esa compañía inauguró una nueva planta destinada a cerrar el círculo ecológico en materia de reciclaje en el municipio de Ciénega de Flores, Nuevo León, la cual tuvo por nombre Transformadora de Materiales, S. A. (TRAMASA).

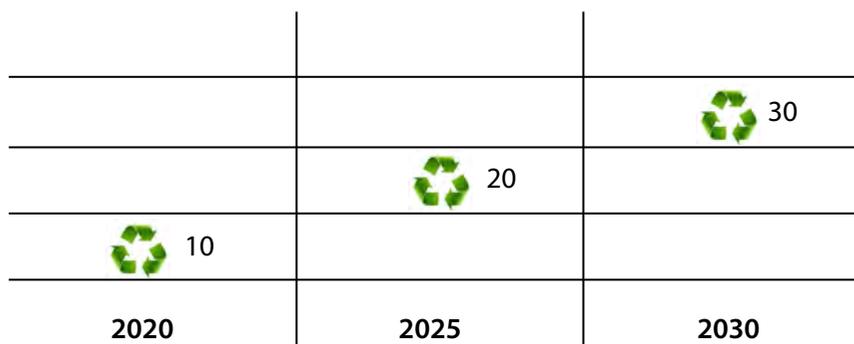
En la actualidad, a nivel nacional se encuentran registradas 4 528 empresas recicladoras, 284 que reutilizan, 121 que recuperan y 71 que reducen y reparan (INEGI, 2022).

Recientemente, en el país se decretó la *Ley General de Economía Circular* (Cámara de Senadores, 2021), la cual pretende reducir el impacto ambiental derivado de las actividades económicas, minimizar el desperdicio de materiales y disminuir el consumo de materias vírgenes a través de la reutilización, el reciclaje y el rediseño. Un principal antecedente a la Ley fue el *Acuerdo nacional para la nueva economía del plástico en México* elaborado en el 2020 por 74 empresas del giro industrial con el objetivo principal de identificar acciones para eliminar envases y empaques innecesarios para el 2030 (CESPEDES, 2020).

Conforme al acuerdo antes mencionado, el sector industrial se compromete a que los envases y empaques deberán incrementar del actual 10 % de material reciclado a 20 % al 2025 y para el 2030 alcanzar 30 % (ver diagrama 2).

Ante la pregunta de investigación, ¿qué tan circular es México?, el objetivo de la propuesta de este trabajo es el de estimar la tasa de circularidad del país utilizando un conjunto de métricas cuanti-

### Porcentaje de contenido de material reciclado



Fuente: Elaboración propia con base en CESPEDES (2020).

tativas, reconociendo los riesgos lineales asociados y las oportunidades circulares.

La metodología utilizada se basa en la aplicación del marco de Indicadores de Transición Circular (ITC) propuesta por el Consejo Empresarial Mundial para el Desarrollo Sostenible (WBCSD, por sus siglas en inglés).

En este trabajo se propone la evaluación del Porcentaje de Circularidad (%Ci) a nivel país.

### Metodología

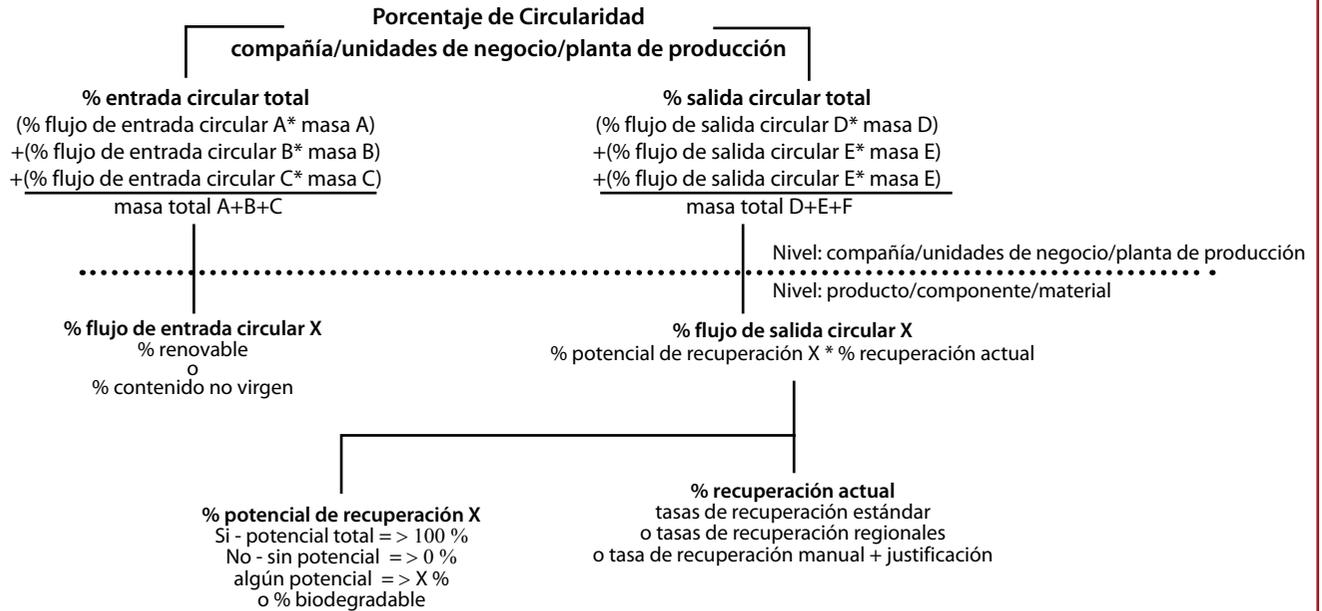
Con base en la propuesta del WBCSD, la aplicación del marco de ITC se basa en una evaluación de los flujos de materiales dentro de los límites de la empresa, combinados con indicadores adicionales sobre la eficiencia y eficacia de los recursos, así como el valor agregado por el negocio circular.

El marco ITC fue diseñado para ser de fácil implementación y de alcance versátil, permitiendo a las empresas medir la circularidad en cualquier nivel, desde el de producto hasta el negocio completo, dándoles la posibilidad de poder usar los indicadores al nivel que mejor se adapte a su negocio.

El desempeño de una empresa respecto al cierre de ciclos se expresa cómo %Ci, que es el promedio ponderado entre el porcentaje de entrada circular y el de salida, como se describe en la estructura de la fórmula que se muestra en el diagrama 3. A su vez, el porcentaje de entrada circular está determinado por el de contenido no virgen y el de contenido renovable (fuentes de base biológica cultivadas de forma sostenible). El porcentaje de flujo de salida circular está determinado por el de recuperación potencial (centrado en el diseño) y la recuperación real. Estos tres pilares abordan diferentes aspectos del negocio: adquisición para el flujo de entrada, diseño para la recuperación potencial e innovación del modelo de negocio (WBCSD, 2022).

Dada la complejidad de los diferentes materiales, productos, plantas de producción, unidades de negocio y compañías que se localizan en el territorio nacional, en esta investigación se plantea evaluar el %Ci a nivel país calculándolo a partir de aquellos productos de la industria manufacturera que más demanda energética requieren para su obtención (y que se pueda), dado que el ahorro energético es uno de los principales beneficios de la implementación de la EC y las externalidades positivas que se derivan.

### Estructura de fórmula de %Ci



Fuente: elaboración propia con base en WBCSD (2022).

Para la obtención de los datos requeridos, se consultaron diferentes publicaciones de carácter académico y de negocios, así como bases de datos gubernamentales y de cámaras industriales representativas.

### Revisión de la literatura

Acorde con el informe publicado por la Fundación Ellen MacArthur (2019), cuando se aplican las estrategias de EC a cuatro materiales industriales clave (cemento, acero, plástico y aluminio) sería posible coadyuvar a reducir las emisiones de GEI en 40 % hacia el 2050. En el sistema alimentario, la disminución podría llegar a 49 % el mismo año. De manera general, estas reducciones podrían acercar las emisiones de esas áreas 45 % más a las metas de emisiones netas cero.

Otros beneficios directos están asociados a la ganancia en competitividad que las industrias y sectores pueden lograr al reducir la dependencia en materias primas vírgenes (con volatilidad de precios en muchos mercados), así como al dismi-

nuir los desperdicios o desechos que usualmente demandan recursos adicionales para su gestión y disposición final. De igual manera, estas industrias se favorecen al revalorizar los insumos que se intercambian comercialmente en mercados de materias primas recuperadas o componentes de segunda mano (INECC, 2021).

En cuanto a la importancia de contar con políticas de reciclaje y gestión de desechos, Reike *et al.* (2018) mencionan una amplia comparación geopolítica entre países asiáticos, europeos y los Estados Unidos de América (EE. UU.), que describen los objetivos establecidos y las tasas reales de recuperación y reciclaje. Para los EE. UU., se planteaba un objetivo de recuperación de 44 % para los desechos municipales al 2001 y la ambición de elevarlo a 51 % en el 2008. Los datos disponibles en línea del 2016 por parte de la Agencia de Protección Ambiental (EPA, por sus siglas en inglés) muestran que el reciclaje aumentó a niveles de solo 34 % en el 2013, mientras que 53 % de los residuos sólidos municipales aún se depositaban en vertederos. En un estudio detallado que incluye estimaciones de incertidumbre se mostró que, en el periodo de

1980 al 2010, la tasa de recuperación del final de la vida útil del aluminio se encontraba entre 38 y 65 % y el reciclaje real variaba entre 34 y 61 % con una tendencia creciente y el pico que se produjo en el 2008.

En el caso de Japón, acorde con los autores antes mencionados, el reciclaje de residuos municipales alcanzaba 20 % en el 2006, con una meta de 24 % para el 2015; algunos de los objetivos de reciclaje japoneses en el 2010 para materiales específicos eran mucho más altos: 91 % vidrio, 62 % papel, 50-70 % diversos electrodomésticos y 40-85 % diversas formas de desperdicio de alimentos; el propósito más ambicioso en ese país fue el de residuos de la construcción: 95-98 % para los diversos materiales en el 2012. Se pueden encontrar políticas aún más ambiciosas en Corea del Sur, con un objetivo de reducción general de 61 % en el 2012. Respecto a Europa, el mejor ejemplo está basado en las políticas holandesas, las cuales, en el 2015, dieron como resultado tasas de reciclaje para varios flujos de residuos entre 85 y 97 % (83 % vidrio, 85 % papel, 97 % automóviles, > 95 % neumáticos, 95 % metal —doméstico—, 97 % de construcción) y tasas más bajas para algunos otros flujos de materiales (alrededor de 45 % en madera y de 51 % de los residuos plásticos domésticos), pero en todos los casos significativamente más altos que hace 25 años. Sin embargo, estas altas tasas de circularidad ocultan que el *downcycling* (ocuparse al final de la vida útil del producto) sigue siendo la regla en lugar de la mejora. Si bien los documentos de política holandeses piden explícitamente opciones de ciclo más corto, aún faltan objetivos nacionales más allá del *reciclaje* y la *recuperación*.

Respecto a las materias primas consideradas críticas, Gaustad *et al.* (2018) las definen por tener: problemas potenciales en su suministro, sustitutos limitados y aplicaciones de importancia, tal como en energía limpia, defensa, atención médica y electrónica. Las interrupciones en el suministro de materiales críticos pueden tener graves repercusiones negativas para las empresas, los consumidores y las economías. Un conjunto potencial de estrategias de mitigación para las compañías que se enfrentan

a problemas de *críticidad* es la implementación de principios de economía circular en su cadena de suministro, operaciones y gestión del final de la vida útil. Los resultados indican el potencial de reducción de riesgos que podría obtenerse de la implementación de estrategias integradoras de circularidad; en específico, el reciclaje, por ejemplo, puede proporcionar una fuente en el corto plazo, horas (para chatarra rápida o de fabricación), o al menos una fuente doméstica (para chatarra posconsumo) para materiales críticos; hasta 24 % para el caso del uso del indio en China.

En cuanto a las estrategias de EC que influyen en mayor medida en el modelo de negocio, estas se basan en el desarrollo de alianzas estratégicas para la circularidad y la participación de las partes interesadas a lo largo de la cadena de valor, así como la implementación de tecnologías digitales (por ejemplo, Industria 4.0) que permitan la circularidad. Los componentes básicos más influenciados por la EC son la segmentación de clientes, las relaciones con los clientes y las asociaciones clave (Salvador *et al.*, 2021).

En un sector específico, el médico, la revisión de las prácticas actuales de economía circular realizada por Kane *et al.* (2018) mostró que ya existe cierta circulación de productos y materiales en este, en varias formas diferentes y niveles de madurez. Por ejemplo, la renovación de equipos complejos ya se realiza en la práctica hasta cierto punto, con pautas de diseño bien documentadas. Por el contrario, la recuperación higiénica de dispositivos de alta *críticidad* y valores de medio a alto, aunque es una práctica generalizada, a menudo se hace de manera deficiente y, por lo general, no se tiene en cuenta en el diseño del equipo, y muchos de estos dispositivos se venden innecesariamente como *de un solo uso*. Se ha demostrado que las oportunidades de recuperación en el sector médico dependen, sobre todo, de la *críticidad* higiénica, el valor del producto y la estructura de soporte ambiental, lo que afecta los requisitos de control de infecciones por un lado y los recursos para reparación, renovación y reciclaje por el otro. Tales parámetros han derivado en las siguientes estrategias de diseño:

- a) En el caso de dispositivos de alto valor y alta *críticidad*: diseño para recuperación higiénica, ciclos fijos, confiabilidad y de productos híbridos.
- b) Para artículos de bajo valor y baja *críticidad*: diseño para la separación, la gestión de desechos y el reciclaje.
- c) Para artículos de alto valor y alta *críticidad*: diseño para la gestión de desechos infecciosos o *diseños alternativos* que es el diseño fuera de la necesidad primaria de tal producto.
- d) Los dispositivos de alto valor y baja *críticidad* se identificaron como alineados con las estrategias circulares existentes para equipos complejos de larga duración.

Las ciudades son motores de crecimiento que requieren seguimiento y control. Estas son la principal causa del cambio climático y representan hasta 76 % de todas las emisiones de carbono. A pesar de ocupar menos de 2 % del área de la Tierra, significan 75 % del uso mundial de recursos naturales y 50 % de la generación global de basura. En términos de soluciones, las urbes atraen talento creativo y así permiten transformaciones sociales hacia la sostenibilidad tanto en el sector público como en el comercial. Los asentamientos humanos se encuentran entre las entidades más poderosas que pueden tener un impacto favorable en el desarrollo si se vuelven circulares:

- a) Los gobiernos locales pueden fomentar la reutilización de materiales de construcción de sus propios proyectos de construcción, renovación y demolición. Como resultado, se estimula el mercado de materiales de construcción reciclados.
- b) También, pueden utilizar subvenciones, incentivos y exenciones de impuestos para fomentar el desarrollo de nuevas tecnologías.
- c) Asimismo, pueden cooperar con otras ciudades avanzadas para facilitar la implementación de la economía circular y apoyar los esfuerzos abajo-arriba (concursos de ideas, financiación de empresas emergentes).

Los asentamientos humanos son uno de los mayores consumidores de recursos, pero al mismo

tiempo son incubadoras de innovación y tienen un enorme potencial para liderar la transición hacia una economía circular. Se ha vuelto realmente importante comprender y definir indicadores de urbes circulares operables para comprender dónde las ciudades y los ciudadanos pueden tener un impacto real (Birgovan *et al.*, 2022).

## Desarrollo

Acorde con información disponible en la Base de Indicadores de Eficiencia Energética (BIEE, 2022), la industria manufacturera nacional requirió 1 472.7 PJ de energía en el 2019, siendo las del hierro y acero, química y cemento las que más demanda energética requirieron (ver cuadro 1).

Ya identificadas las industrias-producto que más consumen energía, a continuación se presenta la información disponible para la obtención de datos y poder substituirlos en la fórmula de %Ci.

**Cuadro 1**  
**Demanda energética nacional por tipo de industria en el 2019, PJ**

Consumo final de energía por tipo de industria (PJ)	2019
1. Hierro y acero	251.56
2. Química	159.99
3. Cemento	139.03
4. Alimentaria, bebida y tabaco	79.23
5. Minera	74.93
6. Papel	54.85
7. Vidrio	52.19
8. Azucarera	37.77
9. Petroquímica	35.77
10. Automotriz	19.33

Fuente: elaboración propia con base en BIEE (2022).

## Industria del hierro y acero

A nivel nacional, en la actualidad se utilizan 16.1 GJ por cada tonelada de acero producido, 19 % menos que el promedio mundial. Asimismo, a diferencia de la media internacional de 23 %, la producción de acero en México está ampliamente basada en el reciclaje con una participación de 38 % (CANACERO, 2021). También, el acero presenta altas tasa de recuperación para reciclar, cercanas a 98 % (ALACERO, 2022).

Respecto a la fabricación, el tipo de materia prima condiciona el proceso a utilizar. Para elaborar acero a partir de arrabio, se emplea el convertidor con oxígeno, mientras que partiendo de chatarra como único insumo se usa exclusivamente el horno de arco eléctrico (proceso electro-siderúrgico). Los procesos en este medio de producción podrían utilizar como materia prima la chatarra metálica al 100 %, sin embargo, la media de las estadísticas actuales calcula que es sobre 85 % (Anónimo, 2022).

A nivel nacional, la producción de acero crudo en el 2019 fue de 18.4 millones de toneladas, de las cuales 77 % provino del proceso en horno eléctrico (ver cuadro 2). En el mismo año se produjeron 7.14 millones de toneladas de mineral de hierro y el valor agregado de la industria del hierro y el acero fue de 173 873.008 millones de pesos del 2013 (BIEE, 2022).

Respecto a la clasificación de la chatarra de acero que se vende a los depósitos, se pueden definir tres tipos principales, según su origen:

- Obsoleta: proviene de productos e infraestructuras que ya han llegado al fin de su vida útil; estos (desde automóviles, mobiliario y electrodomésticos viejos hasta edificios) se envían a un depósito de chatarra donde se recuperan los elementos de acero.
- Industrial o inmediata: es el deshecho que resulta de la fabricación de productos en plantas de automoción, electrodomésticos, etc., o en centros de mecanizado; este remanente que se almacena es subastado y vendido a compradores de chatarra.
- Doméstica: es la que se produce de forma interna en las acerías como resultado de la producción de acero (recortes, residuos, entre otros); en este caso no se suele recolectar ni vender, se devuelve al horno (Ferro Planes, 2022).

## Plásticos (industria química)

Dada la información disponible, en este trabajo se considera tanto la de la industria nacional del plástico como la de la química. Así, durante el 2021, la ANIPAC informó que el consumo aparente de resinas en México fue de 6.9 millones de toneladas en el 2020; de estas, el polipropileno (PP) representó 18 % y el polietileno de alta densidad (PEAD), 17.34 %, siendo la producción de resinas con material reciclado del orden de 4.5 millones de toneladas, donde el PET significó 31.34 % y el PEAD, 17.8 por ciento. Respecto a la producción de resinas sin material reciclado, esta fue de 3.4 millones de toneladas, donde el PET representó 28.5 %; el PEAD, 17 %; y el PP, 13.2 % (Forbes, 2021).

Cuadro 2

### Producción de acero crudo en México, 2016-2019

Producción (miles de toneladas)	2016	2017	2018	2019
Acero crudo	18 824.0	19 924.0	20 204.0	18 387.0
Acero crudo no eléctrico	4 919.0	4 721.0	4 885.0	4 242.0
Acero crudo eléctrico	13 904.0	15 203.0	15 319.0	14 145.0
Mineral de hierro	6 969.6	6 927.6	7 085.4	7 140.9

Fuente: elaboración propia con base en BIEE (2022).

Asimismo, acorde con la fuente antes citada, del total del plástico producido en la industria nacional, 47 % es utilizado en el empaque, envase y embalaje; 21 % se destina a consumo general; 12 %, al sector de la construcción; 7 %, al de electrónica; 6 %, a la industria automotriz; 3 %, al agrícola, 2 %, al médico; y 2 % corresponde a otros.

Conforme al acuerdo nacional promovido por el Consejo Coordinador Empresarial (CESPEDES, 2021), actualmente 71 % de los envases y empaques son reutilizables, reciclables, compostables o aprovechables. Respecto al contenido de material reciclado que se incorpora en los envases y empaques, este valor solo representa 10 por ciento.

En el mismo informe se menciona que para lograr valorizar y convertir de nuevo en materia prima los residuos plásticos, disminuyendo así la generación de desechos, la recuperación de residuos plásticos es fundamental, por lo que se establece la meta de acopio de 70 % en PET y 30 % en promedio de todos los plásticos para el 2025.

De hecho, la valorización de las botellas PET posconsumo representa ventajas ambientales respecto a no haber realizado ninguna acción de aprovechamiento o valorización. Un estudio llevado a cabo por el Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (2013) estimó una reducción entre 500-600 % de impactos ambientales al cambio climático, agotamiento de recursos abióticos y de la capa de ozono, así como acidificación con respecto a esquemas sin valorización.

## **Cemento**

De manera global, la edificación consume 40 % de materia prima y energía primaria, además de generar 35 % de los residuos industriales. Un estudio de caso relacionado con la construcción de vivienda social en México (Mercader-Moyano *et al.*, 2021) concluyó que este sector consume 1.24 t/m<sup>2</sup> de materias primas y produce 0.083 t/m<sup>2</sup> de residuos de construcción y demolición (RCD). Los RCD cementosos, cerámicos y mixtos

representan 83.44 % del total de estos. Al considerar este tipo de insumos inertes como un recurso reciclable, 78 % de los RCD terminan en vertederos y solo 22 % son dirigidos a plantas de reciclaje, por lo que resulta necesario reemplazar los materiales de construcción actuales por aquellos ecoeficientes.

## **Papel y cartón**

A nivel nacional, se recicla alrededor de 56 % de este material desechado, y se estima que, aproximadamente, 80 % del utilizado viene de papel reciclado; el restante proviene de la importación de celulosa, materia prima para fabricarlo papel (Bustos, s. f., mencionado en INECC, 2020)

## **Vidrio**

Este puede reciclarse de manera interminable sin apenas perder sus propiedades iniciales. En México, solo se recicla 12 % del material y esto se debe, principalmente, a situaciones de oferta y demanda (INECC, 2020).

## **Alimentaria, bebida y tabaco**

Ante la gran complejidad que representa esta industria, dada la cantidad de materiales involucrados, no se considerará en el cálculo de %Ci, pero sí se hará mención de su importancia en la instauración de la economía circular al representar los residuos orgánicos 51.6 % de los RSU en el país (SEMARNAT, 2017, mencionado en INECC, 2020), lo que significa la generación de 19.4 millones de toneladas de residuos de forma anual y la posibilidad de generar entre 2.7 mil millones de m<sup>3</sup> y 5.5 mil millones de m<sup>3</sup> de biometano o entre 102.81 PJ y 205.62 PJ de energía —considerando un rendimiento de biometano de 0.25 a 0.5 m<sup>3</sup>/kg SV y 75 % de sólidos volátiles (Hambaliou *et al.*, 2016)—, energía que podría cubrir el requerimiento de la industria alimentaria, bebida y tabaco en el mediano y largo plazo.

## Automotriz

Tal como lo señalan Van Hoof *et al.* (2022), la cadena automotriz en México presenta oportunidades de circularidad en la explotación de residuos sólidos, como los empaques plásticos, y aquellos generados por los procesos industriales, por ejemplo, agua contaminada con aceite, solventes o remanentes de pinturas. Los modelos de negocio documentados hasta el momento permiten identificar una tendencia orientada, principalmente, al aprovechamiento de materiales con el desarrollo de subproductos a partir de residuos de la industria, prevención de la extracción de recursos evitando emisiones y a la conservación de fuentes de recursos con la integración de las operaciones con redes energéticas renovables. En la actualidad, ya se presentan avances en programas de capacitación en economía circular con la formulación de proyectos en más de nueve empresas y un clúster en el estado de Querétaro.

## Resultados

Con base en la revisión de las diferentes publicaciones consultadas en la sección anterior (*Desarrollo*), en el cuadro 3 se muestran los datos de los porcentajes de contenido no virgen, potencial de recuperación y recuperación actual de las industrias-producto para las cuales fue posible encontrar información suficiente para ser substituida en la fórmula de %Ci propuesta por el WBCSD.

Con los datos identificados y organizados, se procedió a obtener, primeramente, el porcentaje de salida circular de cada industria producto, por ejemplo, para el caso del *Papel* se obtuvo al multiplicar  $0.56 * 0.71 = 0.398$ .

Este nuevo valor se multiplica por su nivel de producción:  $40 \% * 5\ 805\ 400 = 2\ 308\ 242.5$ .

Para la obtención del porcentaje de entrada circular, ante la disponibilidad limitada de información, en esta investigación se considera la cantidad producida de cada material más 10 % para obtener el valor de cantidad de material origen.

En el caso del *Papel*, este valor se obtiene al multiplicar:  $80 \% * (5\ 805\ 400 * 1.1) = 5\ 108\ 786.3$ .

Y así sucesivamente para cada industria-producto. En el cuadro 4 se muestran los resultados.

Para el cálculo de porcentajes de entrada y salida circular total, se divide la sumatoria obtenida en el paso anterior entre la de producción del 2019 (32 646 922.0 toneladas). Para el caso del porcentaje de entrada, el valor antes mencionado se afecta igualmente por 10 % considerándolo como merma en el proceso de transformación de materia prima a producto, siendo el valor ajustado por merma del orden de 35 911 614.2 toneladas. En el cuadro 5 se muestran los porcentajes así obtenidos.

Cuadro 3

### Datos utilizados para el cálculo del %Ci

	Vidrio	Papel	Acero crudo eléctrico	Plástico*
Flujo de entrada				
% contenido no virgen	10	80	85	10
Flujo de salida				
% potencial de recuperación	100	71	98	71
% recuperación actual	12	56	38	15
Producción, miles de toneladas (2019)	4 824.5	5 805.4	14 145.0	7 872.0

\* El dato de producción total de plásticos es del 2020. Si bien para el sector de plásticos se prevé un valor de recuperación de 30 % al 2025, por falta de información para este trabajo se supone uno actual de 15 por ciento.

Fuente: elaboración propia con base a BIEE (2022) y los valores porcentuales expuestos en la sección *Desarrollo* de este documento.

Cuadro 4

**Resultantes de flujos de entrada y salida por tipo de industria-producto**

	Vidrio	Papel	Acero crudo eléctrico	Plástico	Sumatoria
Flujo de entrada (toneladas)	530 693.1	5 108 786.3	13 225 575.0	865 920.0	19 730 974.4
Flujo de salida (toneladas)	578 938.0	2 308 242.5	5 267 598.0	838 368.0	8 993 146.5

Fuente: elaboración propia.

Finalmente, para obtener el promedio ponderado, se multiplican entre sí los valores estimados de porcentajes de entrada y salida circulares totales, obteniéndose que el valor de %Ci en México es de 15.14. Este representa 5.51 puntos porcentuales por arriba del valor actual de RSU reciclados de 9.63 por ciento.

Cuadro 5

**Porcentajes de entrada y salida circular total**

	Entrada circular total	Salida circular total
Valor estimado	55	28

Fuente: elaboración propia.

Por otra parte, con la intención de estimar el potencial económico que representa la separación de productos valorizables, se procede a realizar el cálculo partiendo de que de los 37.6 millones de toneladas anuales de RSU que se generan en el país, solo 14.9 millones pueden reutilizarse; posteriormente, obteniendo el porcentaje de contenido

por tipo de material valorizable recolectado acorde con el Censo Nacional de Gobiernos Municipales y Delegacionales<sup>1</sup> (mencionado en SEMARNAT, 2022) y el precio de compra reportado en el portal de la compañía Suprareciclaje, se estima un valor de 30 % por arriba de lo reportado por la ANIPAC en 2019 (3.9 mil millones de dólares), actualizando así la valorización de los RSU considerados como reutilizables (ver detalle en el cuadro 6).

Solo como ejercicio comparativo, durante el 2018, en el estado de Querétaro se instaló una planta automatizada separadora capaz de procesar 1 200 toneladas de basura al día en 14 horas de trabajo, la cual requirió una inversión de 300 millones de pesos (GTAambiental, 2021). Esto significa que, de valorizarse en su totalidad los RSU reusables y aplicarse en la transición de la EC, se podrían instalar en el país hasta 260 plantas como la descrita

<sup>1</sup> Programa estadístico del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI).

Cuadro 6

**Estimación del potencial económico de los RSU reusables**

Continúa

	Potencial millones, toneladas	%	Reusable millones, toneladas	%	Precio Pesos/kg	Potencial millones, toneladas		
RSU, total	37.6						37.6	
RSU, reusables	14.9	100		100				
Papel y cartón	5.811	39	4.8	32	\$3.00	\$14 286.12	12.0	\$36 009.34
Plásticos	4.5743	31	1.1	7.15	\$5.00	\$5 326.75	2.7	\$13 426.51
Vidrio	2.4734	17	0.3	1.99	\$1.20	\$355.81	0.7	\$896.85
PET			2.4	15.8	\$7.00	\$16 479.40	5.9	\$41 537.68
Aluminio			0.2	1.4	\$22.00	\$4 589.20	0.5	\$11 567.46
Cobre, bronce y plomo			0.2	1.3	\$91.50	\$17 723.55	0.5	\$44 673.68

### Estimación del potencial económico de los RSU reusables

	Potencial millones, toneladas	%	Reusable millones, toneladas	%	Precio Pesos/kg	Potencial millones, toneladas		
Fierro, lámina y acero			0.7	4.9	\$ 4.50	\$3 285.45	1.8	\$8 281.25
Vidrio			2.1	13.8	\$1.20	\$2 467.44	5.2	\$6 219.39
Electrónicos y electrodomésticos			0.8	5.1	\$10.00	\$7 599.00	1.9	\$19 153.90
Otros			2.5	16.6	\$2.50	\$6 183.50	6.2	\$15 586.02
<b>Total, millones de pesos</b>						<b>\$78 296.22</b>	<b>\$197 352.06</b>	
<b>Total, millones de dólares</b>						<b>\$3 914.81</b>	<b>\$9 867.60</b>	

**Fuente:** elaboración propia con base en SEMARNAT (2022); los precios utilizados para el ejercicio se obtuvieron en línea del portal web de la empresa Suprareciclaje el 21/05/2022; el tipo de cambio utilizado fue de 20 pesos/dólar.

con una capacidad de procesar hasta tres veces la cantidad de RSU totales que se generan diariamente a nivel nacional.

Coadyuvando a la definición de estrategias de implementación de EC, se parte de la revisión de las buenas prácticas aplicadas en el reciclaje de dos productos considerados como casos de éxito a nivel nacional, dado su alto nivel de cierre de ciclos en sus procesos productivos, el del acero (Lara, 2017) y el del PET (PTMéxico, 2016), las cuales se enlistan a continuación:

1. Es necesario un marco legal e institucional adecuado para llevar a su máximo potencial a la industria del reciclaje, dado que la gran mayoría de este sector se encuentra en la informalidad, requiriéndose garantías laborales para todas las personas involucradas en la cadena de valor.
2. Promover el carácter obligatorio de los esfuerzos empresariales de toda la cadena de valor, desde los fabricantes de productos hasta los usuarios en sus diferentes ordenes de participación.
3. Suscitar la inclusión social en el proceso de recuperación de los residuos, una característica arraigada en muchos países en desarrollo, al ser un factor determinante para lograr mejores tasas de recuperación.
4. Fomentar la simbiosis industrial en la medida de lo posible, el cual es un proceso innovador

que permite a las empresas hacer uso de los residuos que otras producen, convirtiéndolos en valiosos recursos para sus propios procesos de producción; por ejemplo, cuando el acero se encuentra en estado líquido, se producen algunos subproductos, como la llamada escoria, la cual es separada del resto para formar un aditivo que se inyecta en el cemento para duplicar la resistencia del concreto, y que se utiliza, sobre todo, en la construcción de vialidades.

5. No solo es necesario poder acceder a la mejor tecnología disponible, también es vital una fuerza laboral técnicamente preparada y productiva, una estructura administrativa eficiente y una logística que permita entregar los productos a tiempo.
6. Continuar creando productos a partir del material (sometido a alguna de las 6Rs) para ingresar a nuevos mercados.

La transición hacia una economía circular también requiere de promover proyectos de colaboración Academia-industria como una vía alterna de implementación de la EC, así como desarrollar ideas y conceptos con personal interno, apoyándose en socios estratégicos (clientes y proveedores).

Asimismo, es recomendable un diseño efectivo desde el origen, que se ajuste a los diversos ciclos de materiales. Como resultado, estos fluirían

a través de los diferentes ciclos de EC manteniendo su utilidad y valor durante el mayor tiempo posible, asegurando así, en gran medida, la reducción del desperdicio. Algunas consideraciones de diseño son:

- a) Reducir la cantidad de materiales requeridos para entregar un servicio particular (aligeramiento); prolongación de la vida útil de los productos (durabilidad).
- b) Disminuir el uso de energía y materiales en las fases de producción y uso (eficiencia).
- c) Bajar el uso de materiales peligrosos o difíciles de reciclar en productos y procesos de producción (sustitución).
- d) Crear mercados para materias primas secundarias (reciclados) y materiales (basados en estándares, contratación pública, entre otros).
- e) Diseñar productos que sean más fáciles de mantener, reparar, actualizar, remanufacturar o reciclar (ecodiseño).
- f) Fomentar una elección más amplia y adecuada para los consumidores a través del alquiler, préstamo o servicios compartidos como alternativa a la propiedad de productos, salvaguardando al mismo tiempo los intereses de los consumidores (en términos de costos, protección, información, condiciones del contrato, aspectos de seguros, entre otros) (COM, 2014).

## Conclusiones

En una economía circular, los residuos se minimizan. El enfoque se desplaza de usar y tirar a rediseñar, remanufacturar, reutilizar, reparar, restaurar y reciclar materiales y productos existentes. La propuesta de investigación da respuesta a la pregunta planteada al estimar el Porcentaje de Circularidad del país en 15.14 por ciento.

Diferentes sectores productivos nacionales han demostrado que es posible lograr niveles de circularidad por encima de la media internacional, por lo que su experiencia adquirida podría ser replicada adecuándola a la singularidad de los sectores con bajo nivel de implementación.

Resulta ineludible el promover y hacer cumplir a nivel nacional la reciente *Ley General de Economía Circular* para lograr metas más ambiciosas, como el de ser una nación con 100 % de circularidad en el mediano plazo, logrando que todo residuo pueda ser transformado en materia prima al someterse a alguna de las 6Rs, incrementando así su valorización y evitando su disposición en vertederos e incineradoras. Esto conlleva proponer, evaluar, implementar y financiar estrategias tanto arriba-abajo como abajo-arriba involucrando a la sociedad en general.

Al ser la EC una vía de descarbonización de las economías, al reducir el consumo de energía y recursos, requiere de definir objetivos y metas claras de implementación, así como de contar con los instrumentos adecuados e indicadores de transición que permitan redireccionar los esfuerzos de la ruta a seguir. Como ya lo han mencionado otros autores, el considerar a los RSU debe ser una prioridad para la estrategia general de implementación de la EC. Hace falta ampliar la búsqueda de información para elevar la precisión y confiabilidad de los cálculos y complementarla con técnicas cualitativas para poder desarrollar un ejercicio de procesamiento de datos más robusto.

## Fuentes

- Asociación Latinoamericana del Acero (ALACERO). *El acero es el único material que puede ser reciclado ilimitadamente al 100%*. 2022 (DE) <https://www.alacero.org/noticias/el-acero-es-el-unico-material-que-puede-ser-reciclado-ilimitadamente-al-100>
- Anónimo. *Proceso de fabricación del acero*. Universidad Politécnica de Cataluña, 2022 (DE) <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/3319/55868-7.pdf?sequence=7&isAllowed=y>
- Arellano, C. "Se inaugura hoy el AIFA en el plazo y costo prometidos", en: *La Jornada*. 2022 (DE) <https://www.jornada.com.mx/notas/2022/03/21/politica/se-inaugura-hoy-el-aifa-en-el-plazo-y-costos-prometidos/>
- Base de Indicadores de Eficiencia Energética (BIEE). *Base de datos. Estadísticas. Indicadores de energía*. Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía, 2022 (DE) <https://www.biee-conuee.net/site/index.php>
- Birgovan, A. L., E. S. Lakatos, A. Szilagyi, L. I. Cioca, R. L. Pacurariu, G. Ciobanu y E. Rada. "How Should We Measure? A Review of Circular Cities Indicators", en: *Int. J. Environ. Res. Public Health*. 19, 2022, p. 5177 (DE) <https://doi.org/10.3390/ijerph19095177>

- Cámara de Senadores. *Ley General de Economía Circular*. Nota legislativa. Instituto Belisario Domínguez. Senado de la República, 2021 (DE) [http://bibliodigitalibd.senado.gob.mx/bitstream/handle/123456789/5431/125.NL\\_Economia\\_circular.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://bibliodigitalibd.senado.gob.mx/bitstream/handle/123456789/5431/125.NL_Economia_circular.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Cámara Nacional de la Industria del Hierro y del Acero (CANACERO). Radiografía de la industria del acero en México 2021. CANACERO, 2021 (DE) [https://www.canacero.org.mx/aceroenmexico/descargas/Radiografia\\_de\\_la\\_Industria\\_del\\_Acero\\_en\\_Mexico\\_2021.pdf](https://www.canacero.org.mx/aceroenmexico/descargas/Radiografia_de_la_Industria_del_Acero_en_Mexico_2021.pdf)
- CGR. FIVE YEARS of the Circularity Gap Report. Circularity Gap Reporting Initiative, 2022a (DE) <https://www.circularity-gap.world/2022#Download-the-report>
- \_\_\_\_\_. *The Circularity Gap Report, the Netherlands*. Circularity Gap Reporting Initiative, 2022b (DE) <https://www.circularity-gap.world/netherlands>
- COM. *Communication "Towards a circular economy: A zero waste programme for Europe"*. 398 final/2. European Commission, 2014 (DE) <http://hytechcycling.eu/wp-content/uploads/Towards-a-circular-economy-A-zero-waste-programme-for-Europe.pdf>
- Comisión de Estudios del Sector Privado para el Desarrollo Sustentable (CESPEDES). *1.º informe del acuerdo nacional para la nueva economía del plástico en México*. CESPEDES, 2021 (DE) <https://cespedes.org.mx/wp-content/uploads/2021/02/1er-Informe-Acuerdo-Nacional-Plasticos.pdf>
- Ellen MacArthur Foundation. *Completing the picture: How the circular economy tackles climate change*. 2019 (DE) <https://ellenmacarthurfoundation.org/completing-the-picture>
- Ferros Planes. *Reciclado de acero*. 2022 (DE) <https://ferrosplanes.com/reciclado-de-acero/>
- Forbes. *Consumo de resinas en México supera 6 millones de toneladas en 2020: ANIPAC*. 2021 (DE) <https://www.forbes.com.mx/consumo-de-resinas-en-mexico-supera-6-millones-de-toneladas-en-2020-anipac/>
- Gaustad, G., M. Krystofik, M. Bustamante y K. Badami. "Circular economy strategies for mitigating critical material supply issues", en: *Resources, Conservation and Recycling*. Volume 135, 2018, pp. 24-33, ISSN 0921-3449 (DE) <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.08.002>
- Ghisellini, P., C. Cialani, y S. Ulgiati. "A review on circular economy: the expected transition to a balanced interplay of environmental and economic systems", en: *Journal of Cleaner Production*. Volume 114, 2016, pp. 11-32 (DE) <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.09.007>
- GTAambiental. *Querétaro: rumbo a 4 años con su planta separadora de residuos*. 2021 (DE) <https://gtaambiental.com/queretaro-planta-separadora-residuos/>
- Hambaliou, B. et al. "Methane emissions from digestate at an agricultural biogas plant", en: *Bioresource Technology*. Volume 216, 2016, pp. 914-922 (DE) <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2016.06.031>
- Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC). *Estudio de análisis de ciclo vida (ACV) del manejo de envases de bebidas de polietileno tereftalato (PET) en la fase de posconsumo*. 2013 (DE) [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/416326/2013\\_CGCSA\\_Estudio\\_de\\_Analisis\\_de\\_Ciclo\\_de\\_Vida\\_de\\_Envases\\_de\\_Bebidas\\_de\\_Polietileno\\_Tereftalato\\_en\\_la\\_Fase\\_de\\_Pos-Consumo.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/416326/2013_CGCSA_Estudio_de_Analisis_de_Ciclo_de_Vida_de_Envases_de_Bebidas_de_Polietileno_Tereftalato_en_la_Fase_de_Pos-Consumo.pdf)
- \_\_\_\_\_. *Metodología para la identificación y cuantificación de acciones de mitigación por el reciclaje de residuos sólidos urbanos*. 2020 (DE) [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/644839/102\\_2020\\_Metodologia\\_acciones\\_mitigacion\\_reciclaje\\_residuos\\_solidos\\_urbanos.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/644839/102_2020_Metodologia_acciones_mitigacion_reciclaje_residuos_solidos_urbanos.pdf)
- \_\_\_\_\_. *Economía circular y cambio climático. Cuaderno de trabajo. Unidad 2*. 2021 (DE) [https://pubhtml5.com/thnx/rxax/Unidad\\_2\\_EC\\_Cuaderno\\_de\\_trabajo\\_2022/9](https://pubhtml5.com/thnx/rxax/Unidad_2_EC_Cuaderno_de_trabajo_2022/9)
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). *Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas (DENUE)*. México, INEGI, 2022 (DE) <https://www.inegi.org.mx/temas/directorio/>
- Jawahir, I. S. y R. Bradley. "Technological Elements of Circular Economy and the Principles of 6R-Based Closed-loop Material Flow", en: *Sustainable Manufacturing, Procedia CIRP*. 40, 2016, pp. 103-108 (DE) <https://doi.org/10.1016/j.procir.2016.01.067>
- Kane, G., C., Bakker y A. Balkenende. "Towards design strategies for circular medical products", en: *Resources, Conservation and Recycling*. Volume 135, 2018, pp. 38-47, ISSN 0921-3449 (DE) <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.07.030>
- Lara, R. *Las historias de #Expansión500: DeAcero hace negocio con el reciclaje*. 2017 (DE) <https://expansion.mx/empresas/2017/07/26/las-historias-de-expansion500-deacero-hace-negocio-con-el-reciclaje>
- Lugo, E., C. Ramos, A. Cid y M. Quevedo. *Reciclar, la falacia de la industria en la lucha contra la contaminación plástica*. 2019 (DE) <https://cdn2.hubspot.net/hubfs/2617486/Greenpeace/templates/pages/alianza/resumen-ejecutivo-reciclar-la-falacia-de-la-industria-en-la-lucha-contra-la-contaminacion--plastica.pdf>
- Mercader-Moyano, P., P. Camporeale y J. López-López. "A construction and demolition waste management model applied to social housing to trigger post-pandemic economic recovery in Mexico", en: *Waste Management and Research*. Volume 40(7), 2021, pp. 1027-1038 (DE) <https://doi.org/10.1177/0734242X211052856>
- Munoz-Melendez, G., G. C. Delgado-Ramos y R. Díaz-Chávez. "Circular Economy in Mexico", en: Ghosh, S. K. (ed.). *Circular Economy: Recent Trends in Global Perspective*. Singapore, Springer, 2021 (DE) [https://doi.org/10.1007/978-981-16-0913-8\\_16](https://doi.org/10.1007/978-981-16-0913-8_16)
- PTMéxico. *El reciclaje de PET en México escasó de éxito*. 2016 (DE) <https://www.ptmexico.com/articulos/el-reciclaje-de-pet-en-mexico-es-caso-de-exito>
- Reike, D., W. Vermeulen y S. Witjes. "The circular economy: New or Refurbished as CE 3.0? — Exploring Controversies in the Conceptualization of the Circular Economy through a Focus on History and Resource Value Retention Options", en: *Resources, Conservation and Recycling*. Volume 135, 2018, pp. 246-264, ISSN 0921-3449 (DE) <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.08.027>
- Salvador, R., M. Barros, F. Freire, A. Halog, C. Piekarski y A. de Francisco. "Circular economy strategies on business modelling: Identifying

- the greatest influences", en: *Journal of Cleaner Production*. Volume 299, 2021, p. 126918, ISSN 0959-6526 (DE) <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.126918>
- Sánchez, A. *Vidrio, el residuo 'olvidado' en el proceso de reciclaje en México*. 2019 (DE) <https://www.elfinanciero.com.mx/empresas/vidrio-el-residuo-olvidado-en-el-proceso-de-reciclaje-en-mexico/>  
Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). *Residuos sólidos urbanos (RSU)*. 2017 (DE) <https://www.gob.mx/semarnat/acciones-y-programas/residuos-solidos-urbanos-rsu>
- \_\_\_\_\_. *Datos abiertos. Materiales valorizables recolectados*. 2022 (DE) [https://datos.gob.mx/busca/dataset/indicadores-basicos-del-desempeno-ambiental--residuos-solidosresource/6fa5ea71-6e45-4895-8d97-9edf3e9c01c3?inner\\_span=True](https://datos.gob.mx/busca/dataset/indicadores-basicos-del-desempeno-ambiental--residuos-solidosresource/6fa5ea71-6e45-4895-8d97-9edf3e9c01c3?inner_span=True)
- Suprareciclaje. *Compra venta de chatarra y reciclados por kilogramos*. 2022 (DE) <https://www.supraciclaje.com/precios-hoy/>
- Van Hoof, B., G. Núñez y C. de Miguel, "Metodología para la evaluación de avances en la economía circular en los sectores productivos de América Latina y el Caribe", en: *Desarrollo Productivo*. Núm. 229 (LC/TS.2022/83). Santiago, Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), 2022.
- WBCSD. *Circular Transition Indicators V3.0. Metrics for business, by business*. 2022 (DE) <https://www.wbcsd.org/Programs/Circular-Economy/Metrics-Measurement/Resources/Circular-Transition-Indicators-v3.0-Metrics-for-business-by-business>

# Estimación de usos del suelo con base en datos abiertos para la **planeación urbana en México**

## Land Use Estimation based on **Open Data for Urban Planning in Mexico**

Jorge Alberto Montejano Escamilla, Felipe Gerardo Ávila Jiménez, Camilo Alberto Caudillo Cos y Rodrigo Tapia McClung\*

Se presenta un ejercicio técnico-procesual que tiene por objetivo estimar el uso de suelo para todas las manzanas clasificadas como urbanas del territorio nacional únicamente con base en datos censales del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). Dadas las bajas capacidades de generación de información de algunos municipios y la ausencia de catastros en gran parte del país, se presume que el método y el producto de esta investigación pueden ser considerados como un elemento de gran utilidad para servir de insumo base en procesos de planeación urbana, y que también tiene aplicación en estudios espaciotemporales comparativos. Su estimación se basa en un método de reclasificación de las categorías contenidas en las capas geográficas del Directorio Nacional de Unidades Económicas y del Sistema de Consulta de Información Censal de dicha institución. Mediante técnicas de correlación espacial, se corroboró una alta proporcionalidad entre los usos estimados y los catastrales.

**Palabras clave:** estimación; uso del suelo; planeación urbana; datos abiertos; México.

A technical-procedural exercise is presented with the objective of estimating land use for all blocks classified as urban in the national territory based solely on census data from the National Institute of Statistics and Geography. Given the low information generation capacities of some municipalities and the absence of cadastral surveys in most of the country, it is presumed that the method and the product of this research can be considered as a very useful element to serve as a basic input in urban planning processes, and that it also has application in comparative spatial-temporal studies. Its estimation is based on a method of reclassification of the categories contained in the geographic layers of the National Directory of Economic Units and the Census Information Consultation System of said institution. By means of spatial correlation techniques, a high proportionality between estimated and cadastral uses was corroborated.

**Key words:** estimation; land-use; open data; urban planning; Mexico.

Recibido: 6 de julio de 2022.  
Aceptado: 4 de octubre de 2022.

\* Centro de Investigación en Ciencias de Información Geoespacial, A.C. (CentroGeo), jmontejano@centrogeo.edu.mx, gavila@centrogeo.edu.mx, ccaudillo@centrogeo.edu.mx y rtapia@centrogeo.edu.mx, respectivamente.



Biblioteca del campus principal de la UNAM/ChepeNicolli/iStock

## Introducción

Aun cuando México es un país predominantemente urbano, en el que más de 79 % de su población vive en algún tipo de ciudad (INEGI, 2020a), solo una muy baja proporción de sus municipios tiene algún tipo de instrumento de ordenamiento territorial (OT) o de desarrollo urbano (DU) que planifique el desarrollo del territorio reconociendo dicha condición. Según el Censo Nacional de Gobiernos Municipales y Demarcaciones Territoriales de México 2021 (INEGI, 2021), entre el periodo 2003-2020, del total de los 2 469 municipios,<sup>1</sup> 32 % reportaron tener algún instrumento jurídico en materia de OT, mientras que 66 % contestaron no tener. Relativo a un plan o programa de desarrollo urbano municipal, solo 758 reportaron contar con ese instrumento (30 %) y, con respecto a uno de la ciudad, únicamente 293 (12 %) señalaron tenerlo. Según

<sup>1</sup> Incluyendo las demarcaciones territoriales de la Ciudad de México, que por economía se mencionarán solo como municipio(s).

el Censo, del total de municipios en el país, 50 % reportaron contar con algún sistema de gestión catastral; sin embargo, solo 9.8 % señalaron tener un visualizador cartográfico y 10 % mencionaron dar mantenimiento a la base cartográfica. Esto sugiere que ese es el porcentaje similar de aquellos que en verdad cuentan con una cartografía consultable y actualizada para funcionar como insumo base para el diagnóstico del estado de las cosas en materia de planeación y ordenamiento territorial.

A pesar de la falta de capacidades técnicas y debilidad estructural en los municipios para formular y gestionar dichas herramientas de planeación (Aldret, 2015; Cabrero, 2004; Ziccardi y González, 2015), en años recientes ha existido un esfuerzo semiarticulado por fortalecer a las instituciones encargadas de ordenar el territorio en nivel municipal, es decir, la figura de Instituto Municipal de Planeación (IMPLAN). Desde la aparición en 1994 del primer IMPLAN en León, Guanajuato, a la fecha (Gómez, 2015) se han creado 70 institutos (CIDEU,

2022); sin embargo, el rezago en la materia parece no haberse subsanado.

En este mismo sentido, se observan avances en el ámbito federal. La actual Secretaría de Desarrollo Agrario, Territorial y Urbano (SEDATU) ha impulsado su ambicioso Programa de Modernización Registral y Catastral (SEDATU, 2021b). Como justificación, se argumenta la baja capacidad recaudatoria de los municipios mexicanos, ubicando a nuestra nación en el 2010 en el último escalafón en esa materia tanto de los países miembros de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE) como de los latinoamericanos (Forbes, 2015; OCDE, 2011); pero también se indica la deficiencia observada en la planeación y ordenamiento territorial (SEDATU, 2021b, p. 25).

La combinación entre su baja capacidad tanto recaudatoria como para generar, gestionar y mantener instrumentos de OT y DU tiene como consecuencia que muchos municipios en México no tengan bases de datos suficientes para una planeación de su territorio. Frente a esta problemática, surge la siguiente pregunta: ¿será posible, a partir de los datos generados por el INEGI, estimar usos de suelo urbanos que sean útiles para la planeación urbana? En este sentido, la presente propuesta pretende servir de vía emergente para la planeación territorial informada en tanto no se subsane la ausencia de instrumentos oficiales base para el OT y DU. Así, el objetivo de este trabajo es describir el proceso técnico de clasificación utilizando únicamente bases en datos censales producidos por el INEGI para estimar el uso de suelo para todas las manzanas clasificadas como urbanas del territorio nacional. En cuanto al término uso del suelo, existen diversas conceptualizaciones, que son interpretadas en el cuadro 1.

En este documento se retoman las categorías establecidas en los ordenamientos jurídicos y los instrumentos de planeación<sup>2</sup> para utilizarlas en la estimación de usos del suelo producidos mera-

<sup>2</sup> Para mayor referencia sobre la clasificación y compatibilidad de los usos del suelo, ver SEDATU, 2021a, p. 65.

mente como categorías operativas. Los resultados permitirán —entre otras cosas— realizar comparaciones entre diferentes espacios geográficos de acuerdo con la distribución de los tipos de usos.

Este trabajo de investigación se desarrolla de esta manera: en el siguiente acápite se presenta una breve descripción del contexto nacional relacionado con el quehacer de la SEDATU, encargada del ordenamiento territorial en México, que sirve de justificación de los procesos de OT y DU como elementos esenciales para el desarrollo; posteriormente, se hace un corto recuento del estado del arte relativo a la identificación de usos de suelo actuales por medio de diferentes técnicas; más adelante, se detalla el proceso propuesto para su estimación utilizando datos abiertos, se describen las bases de datos empleadas y se muestra un caso de estudio para validar la propuesta (se usa el catastro); por último, se presentan la discusión y las conclusiones, con énfasis en la necesidad de una estandarización y sistematización de determinadas fuentes de datos geoespaciales para asegurar en el tiempo la viabilidad de esta sugerencia.

## **Invertir en la planeación y el ordenamiento del territorio**

Sabemos que, en el mundo, cerca de 80 % del Producto Interior Bruto (PIB) se genera en ciudades (Banco Mundial, 2020), mientras que, en México, la cifra se eleva a 87 % (IMCO, 2020, p. 9), y que a pesar de los evidentes beneficios que conllevan las economías de aglomeración en las urbes bajo el actual paradigma del crecimiento económico, también son innegables las múltiples externalidades negativas que ello supone, como por ejemplo que "... La suma del gasto anual de desplazamiento de las familias y del costo de provisión de servicios públicos puede exceder el 1% del PIB del país cada año..." (WRI, 2021, p. 3) o que "... las ciudades consumen cerca de 78% de la energía mundial y producen más de 60% de las emisiones de gases de efecto invernadero..." (Naciones Unidas, s. f.). Otro dato alarmante que provee el estudio del Instituto de Recursos Mundiales (WRI, por sus siglas en in-

## Conceptualización del uso del suelo desde diferentes perspectivas

Usos del suelo			
Jurídico	Planeación/Normativo	Producido/Actual	Académico/Técnico
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Se define en el orden jurídico.</li> <li>• Determina derechos y obligaciones públicas y privadas para su uso, destino y aprovechamiento.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mediante la acción pública se utiliza la definición y dota de atribuciones para programar (usos y destinos) con base en instrumentos normativos, como la zonificación (tabla de usos del suelo y compatibilidad).</li> <li>• Dan materialidad a la política pública.</li> <li>• En el proceso, reconoce lo existente (usos producidos socialmente).</li> <li>• Sustenta mecanismos recaudatorios (catastros) en función de su aprovechamiento particular.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Resulta de la acción social (transformaciones con base en decisiones individuales) creación de condiciones, no siempre acorde con lo planeado.</li> <li>• Resultado de la acción pública (dotación de condiciones, i. e. infraestructura, equipamiento y servicios), responde a decisiones políticas, económicas y de gobierno.</li> <li>• Resultado de la acción privada, responde a fuerzas de mercado (se aprovechan condiciones materiales preexistentes, creadas social y públicamente) que transforman y generan efectos no siempre positivos.</li> <li>• Representan la estructura material construida de los procesos sociales, públicos y privados.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Permite el análisis de realidades producidas desde los ámbitos social, público y privado.</li> <li>• El uso del suelo y sus categorías se utilizan comúnmente como variables analíticas que permiten el estudio de relaciones causales, explicativas y funcionales de fenómenos sociales y naturales.</li> <li>• Son útiles en la definición de objetos de estudio y explicación de procesos de producción del espacio en diversos ámbitos, escalas y temporalidades.</li> <li>• Son de utilidad como <i>Input</i> para la instrumentación de herramientas tecnológicas y la generación de modelos espaciales e identificar cambios y determinar patrones.</li> </ul>

Fuente: elaboración propia.

glés) es el que, de continuar el ritmo de crecimiento actual de las ciudades mexicanas analizadas en él —de forma dispersa y en baja densidad—, la mitad de ellas necesitarán incrementar hacia el 2050 su gasto municipal de 48 a 244 % para mantener el mismo gasto actual por provisión de servicios públicos urbanos para las viviendas (WRI, 2021, p. 1).

Como se puede apreciar, la necesidad de ordenar el territorio y normar el destino y uso de suelo en zonas consideradas como urbanas está íntimamente ligada con la importancia que tienen en la actualidad las ciudades. No solo porque el desempeño económico del país depende en buena medida de ellas, sino por el potencial existente para generar bienestar a la mayoría de la población de México. Por ello, tanto el OT como el DU se vuelven herramientas esenciales para alcanzar niveles de sostenibilidad y aumento de la calidad de vida

de los urbanitas, sin importar el paradigma de zonificación con el que se parta para ordenar el territorio (i.e., uno más orientado a la desaparición de esta como instrumento regulador u otros más racionalistas que sostienen que es la base para las urbes ordenadas).

Sin embargo, parece no existir un claro entendimiento de ello en las altas esferas políticas. Como ejemplo, la OCDE ha señalado que es necesario un aumento en la inversión pública (IP) para alcanzar la implementación de la Nueva Agenda Urbana y sus Objetivos de Desarrollo Sustentable (ODS) al 2030.<sup>3</sup> No obstante, un estudio del gasto público de su autoría revela que la IP promedio en los países

<sup>3</sup> Plantean políticas territoriales que promueven la equidad y el desarrollo social como medio para abatir las desigualdades en las ciudades, considerando tres dimensiones: sociales, económicas y ambientales.

miembros de esta institución representa solo 3 % del PIB, y que esta inversión ha decrecido del 2008 al 2016 en 1.3 % anual (OCDE, s. f.).

En un ejercicio simple para el caso mexicano, realizado con base en el Presupuesto de Egresos de la Federación 2022 (Cámara de Diputados, 2021) y el desglose del ramo 15, se encuentra que del total del presupuesto federal para el 2022, la suma de los de la SEDATU y la Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) representa cerca de 0.76 por ciento. Solo a la primera se le asignó un presupuesto de 0.18 % del total federal. Al analizar los fondos autorizados a la SEDATU, se puede observar que los destinados al rubro *Política de Desarrollo Urbano y Ordenamiento del Territorio* representan 6.25 % (804 mdp) del presupuesto de la propia Secretaría, y un exiguo 0.011 % del total federal. Evidentemente, hay una gran cantidad de problemas en nuestro país, pero no parece que el Estado mexicano haya tomado nota de la importancia y relevancia que revisten los estudios de OT y DU a la luz de la asignación de recursos.

El OT puede ser conceptualmente entendido como la condición óptima relacional entre los grupos humanos y el ámbito físico natural en el que se asientan. Ello implica siempre una transformación inducida del espacio, cuyo objetivo último es darle un sentido al territorio, de tal forma que pueda coadyuvar en la tarea de reducir las asimetrías regionales. Parafraseando a Massiris (2005), existen diferentes definiciones de OT dependiendo de la visión disciplinar con la que se mire. Por ejemplo, una muy operativa y proveniente de la *Carta Europea de Ordenación del Territorio* de 1983 señala que es "... a la vez una disciplina científica, una técnica administrativa y una política concebida como un enfoque interdisciplinario y global cuyo objetivo es un desarrollo equilibrado de las regiones y la organización física del espacio, según un concepto rector..." (p. 16), mientras que el Grupo Interinstitucional de OT México la define como "... estrategia de desarrollo socioeconómico que, mediante la adecuada articulación funcional y espacial de las políticas sectoriales, busca promover patrones

sustentables de ocupación y aprovechamiento del territorio..." (Sánchez *et al.*, 2013, p. 27).

Por su parte, el planeamiento o planificación urbana es entendido en ONU-Hábitat (2014, p. 11) como "... una herramienta importante para que los mandatarios locales en la ciudad puedan alcanzar un desarrollo sostenible. Ayuda a formular objetivos a medio y largo plazo de forma que concilien una visión colectiva con la organización racional de los recursos para lograrla..."

Para alcanzar varios de los objetivos perseguidos en la planeación urbana, es necesario contar con información base que alimente, a su vez, los diagnósticos sobre las condiciones materiales de los asentamientos urbanos. Esta permitirá no solo determinar de mejor manera usos y destinos del suelo, sino también orientar el modelo de ciudad deseado con base en datos que revelen, por ejemplo, la densidad edilicia si el modelo a seguir fuera una mayor compacidad.

## Trabajos previos para estimar el uso actual de suelo

Hasta donde sabemos, no parece existir literatura abundante relativa a la estimación de suelo urbano con objetivos de planeación en países con infraestructura pobre en materia de catastro. En una búsqueda exhaustiva —tanto de documentos en inglés como en español—, encontramos principalmente textos que tratan, sobre todo, con métodos para detectar crecimiento urbano, cambios de uso del suelo urbano, métodos para determinar patrones de este mediante percepción remota (PR), así como otros de carácter prospectivo (simulaciones).

El problema aquí planteado —la utilización de bases de datos abiertos oficiales para la generación de información de uso del suelo urbano que coadyuve en la planeación urbana en ausencia de información catastral y de relativo bajo costo— parece no haber sido abordado profusamente en el ámbito académico. Sin embargo, resaltan algunos trabajos ejemplares, como el de Chen *et al.* (2021),

Huang *et al.* (2018) y Liu *et al.* (2017), los cuales generan clasificaciones muy básicas de uso de suelo urbano utilizando bases de datos abiertos de múltiples fuentes —incluso información de redes sociales— (i.e. *Open Street Maps*, imágenes de los satélites *Landsat*, *Sentinel 1 y 2*, etc.) y aplicando algoritmos de inteligencia artificial (AI, por sus siglas en inglés) para ello (redes neuronales, aprendizaje profundo, por ejemplo) con resultados de clasificación con precisiones que rondan el 80 por ciento. Sin embargo, todos ellos involucran complejos procesos de datos y requieren de amplios conocimientos técnicos sobre manipulación de grandes cantidades de datos geoespaciales para lograr su objetivo.

Algo más cercano a nuestro trabajo es lo que llevaron a cabo Jokar *et al.* (2013), quienes clasificaron el uso del suelo urbano en Viena mediante la utilización solamente de información proveniente de *Open Street Maps (OSM)* y sin el auxilio de fuentes de PR. Esta aproximación en el uso de información geoespacial voluntaria permite —según sus autores— una precisión promedio de 80 %; la investigación es relevante, pues muestra que no es indispensable la utilización de PR para detectar usos del suelo urbano con un nivel de precisión aceptable, sin embargo, la clasificación derivada del *OSM* es muy básica y, de manera adicional, existen estudios que ponen de relieve que las fuentes de información geográfica voluntaria pueden contener errores, tanto de precisión como de calidad de estas (Foody *et al.* 2015, p. 337).

## **Instrumentos oficiales para la planeación urbana**

La *Ley General de Asentamientos Humanos, Ordenamiento Territorial y Desarrollo Urbano (LGAHOTDU)* (SEDATU, 2016) señala como “... Destinos...” en su primer artículo, fracción XVI, a los fines públicos a que se prevea dedicar determinadas zonas o predios de un centro de población o asentamiento humano. Paralelamente, en su fracción XXXVI, define los usos de suelo como “... Los fines particulares a que podrán dedicarse determinadas zonas o pre-

dios de un Centro de Población o Asentamiento Humano...”. Estas acepciones están relacionadas, por su redacción, con las acciones urbanísticas que determinen los programas de OT y DU, pero, no así, en el proceso de la elaboración de dichos instrumentos.

Consultando las diversas guías, lineamientos y términos de referencia establecidos por la SEDATU que buscan la implementación de dichos instrumentos a partir de la *LGAHOTDU*, se encuentra la publicación *Lineamientos Simplificados: Guía de Implementación*, en la cual se presentan, en el inciso 5.3.2., “... usos de suelo...” que son considerados como un elemento constitutivo de la estructura urbana y cuyo análisis permite identificar las dinámicas urbanas que son expresadas en el uso de suelo. En dichos usos se “... analizarán qué tipo de actividades se realizan en las zonas predominantemente comerciales y mixtas [aunque no son limitativas también las industriales y turísticas]; [...] también se deberá incorporar una diferenciación entre las zonas centrales y periféricas...” (SEDATU, 2020, p. 30). Con lo anterior se busca sentar las bases para definir la estrategia de densificación y mezcla de usos de suelo en un horizonte prospectivo.

En el proceso de planeación, los términos de referencia para la elaboración de programas metropolitanos (SEDATU, 2021a) establecen, en la dimensión urbano-rural, que se deberá realizar la “... identificación de las actividades de ocupación del territorio, estimando las superficies destinadas a cada una de ellas, especificando su importancia dentro del sistema metropolitano...” (p. 10). Esta cita resume la intención y el propósito que persigue el proceso de planeación, y es en este punto donde se ubica la pertinencia de contar con un método que permita estimar los usos de suelo considerados como actuales, que no son los mismos establecidos en la zonificación de los instrumentos de planeación.

En la práctica, los usos actuales del suelo en el ámbito urbano se han utilizado por lo regular para la elaboración de instrumentos de planeación urbana y, en particular, para la definición o actuali-

zación de la zonificación. Este es un proceso que, en muchas ocasiones, responde al reconocimiento de lo existente, para después institucionalizarlo; o bien, los usos actuales son el resultado de la política urbana expresada en los programas de desarrollo urbano y, en menores casos, en los catastros. Con respecto a la zonificación, se ha optado por la separación de usos en términos de criterios de compatibilidad, como resultado de una *decisión racional* (ONU-Hábitat, 2014, p. 28). Dicha situación ha generado zonificaciones con usos monofuncionales y ha ocasionado una fragmentación social, expresada en términos territoriales por la división de espacios habitacionales —de acuerdo con características socioeconómicas homogéneas— y la separación de estos, con lugares de trabajo, comercial y social.

Desde el punto de vista social, las implicaciones de la política racional del suelo urbano se han visto reflejadas en la dificultad para acceder a los servicios urbanos, principalmente por aquellos grupos de menores ingresos y los étnicos, reduciendo así las oportunidades de interacción e integración social. En términos económicos, ha impedido sinergias y limitado la estimulación entre actividades económicas. Además, en cuestión territorial, ha propiciado bajas densidades, el incremento de la movilidad individual, la reducción de la viabilidad del transporte público y, sobre todo, la exclusión de sectores menos favorecidos, este último derivado de los efectos de la rentabilidad del suelo urbano (ONU-Hábitat, 2014).

Como parte de los esfuerzos institucionales por estandarizar el proceso de planeación en México, se cita la *Guía Metodológica para la Elaboración y Actualización de Programas Municipales de Desarrollo Urbano*, elaborada por la SEDATU y la SEMARNAT en el 2017 (SEDATU *et al.*, 2017), en la que se recomienda una serie de procesos para el desarrollo de los apartados que darán cuerpo a los instrumentos de planeación. Entre ellos, se encuentran los relacionados con los usos de suelo. De manera inicial, se propone la clasificación y principales coberturas. Este apartado clasifica "... las principales coberturas / usos de suelo del municipio o de la aglomera-

ción de municipios para los dos años elegidos (T1 - T2) en las siguientes categorías: cuerpos de agua, suelo natural, forestal, suelo agropecuario y suelo artificializado..." (p. 103). Esta última comprende "... todas aquellas superficies con gran parte de la cobertura ocupada por estructuras edificadas..." (p. 104). Los productos esperados, según la *Guía*, son mapas de la cobertura del suelo para T1 y T2, además de tablas que logren representar las categorías del suelo y su respectiva superficie. Una vez que se cuenta con los dos mapas, se sugiere utilizar dos indicadores que apoyen la evaluación de la clasificación. Estas métricas son de precisión general.<sup>4</sup>

Los criterios antes mencionados se aplican sobre coberturas territoriales relativamente grandes; es decir, son usos generales a nivel de todo el municipio. Para la identificación de usos de suelo intraurbanos, la metodología institucional propone las categorías de equipamiento, divididas por subsistemas (con base en el Sistema Nacional de Equipamiento Urbano de la Secretaría de Desarrollo Social, hoy en día de Bienestar). Recomienda consultar fuentes y datos sectoriales de las secretarías de Estado, sin especificar cuáles. Para la detección de vacíos urbanos, propone consultar la información catastral municipal, además de la obtenida en trabajo de campo. Para el cálculo de la densidad, plantea la identificación de zonas con potencial para su densificación (usos mixtos y densidad media). Los espacios libres y áreas verdes son considerados como parte de los usos de suelo, además de los tipos comercial, oficinas e industrial. Para estas últimas categorías, recomienda la elaboración de cuadros que muestren la distribución porcentual con base en las siguientes fuentes: *Cartografía urbana de los microdatos del Censo de Población y Vivienda 2010* (INEGI), Dirección de Desarrollo Urbano del municipio, catastro municipal, sector transporte del gobierno estatal y levantamiento de información en campo.

<sup>4</sup> *Overall Accuracy* es una de las medidas más comunes para cuantificar la bondad de las clasificaciones de cobertura del suelo y se basa en el promedio del porcentaje de clasificaciones exactas, y el Coeficiente Kappa (K), que es un índice adicional para evaluar la exactitud de un mapa temático, se basa en técnicas multivariantes discretas; el K mide el grado de incoherencia entre los resultados de la clasificación y los datos de referencia (SEDATU *et al.*, 2017, p. 106).

Para el análisis intraurbano, no se proponen indicadores de evaluación en la *Guía*, solo se sugieren fuentes del INEGI, pero sin precisar el tratamiento para obtener emplazamientos concretos de los usos. Se recurre a la información catastral, sin embargo, la realidad es que no todos los municipios del país cuentan con bases catastrales actualizadas y por manzana. Gran parte de los apartados apuntan al levantamiento de información en campo como uno de los instrumentos necesarios para la generación de mapas y datos. El trabajo en campo lo considera como fundamental durante el proceso de planeación; no obstante, debido a los bajos presupuestos federales asignados para la elaboración de estos instrumentos y al exiguo cronograma para generar los planes, se dificulta alcanzar las metas establecidas en este tipo de guías, términos de referencia y lineamientos, por muy simplificados que sean.

## Materiales y métodos

### Acceso a bases de datos disponibles

La estimación de los usos de suelo en las áreas urbanas del país considera como principales fuentes de información las adquiridas de manera libre en el portal del INEGI. Con ello, se busca que el método propuesto pueda replicarse por lo menos en los eventos censales posteriores al 2020, sienta las bases para los ejercicios iniciales de planeación y sea un insumo para acompañar la Meta 500 sugerida por la SEDATU.<sup>5</sup>

Para identificar los usos de suelo a nivel nacional para el 2020, se utilizaron las capas geográficas derivadas del Marco Geoestadístico Nacional 2020 (MGN) (INEGI, 2020c), el cual permite relacionar la información estadística con el espacio geográfico. Además, divide el territorio nacional en áreas de fácil identificación y es utilizado para referir geográficamente la información estadística de los cen-

5 El Subsecretario de Desarrollo Urbano y Vivienda destacó que el objetivo es actualizar 500 programas de DU, ver Comunicado 586/2022 SEDATU (DE) <https://www.gob.mx/sedatu/prensa/pide-sedatu-a-las-y-los-legisladores-fortalecer-leyes-a-favor-de-la-planeacion-y-el-desarrollo-territorial?idiom=es>

sos y encuestas institucionales,<sup>6</sup> como es el caso de los microdatos,<sup>7</sup> que están desagregados a nivel de manzanas y es la principal base para la estimación del uso habitacional y la definición de la densidad urbana. Otro de los productos de la misma institución es el concentrado en el Sistema para la Consulta de Información Censal (SCINCE) 2020 (INEGI, 2020d), el cual surgió en 1990 "... con el propósito de relacionar la información demográfica emanada de los censos con mapas de las distintas localidades y regiones del país..." (INEGI, 2010, p. 5).

Parte de la información espacial complementaria contenida en el MGN es la de servicios (capa SIP), la cual muestra la representación puntual de los equipamientos e infraestructuras urbanas y fue de utilidad para identificar, a nivel de manzana, los destinos del suelo.

Para ubicar espacialmente las actividades económicas en cada manzana, se utilizó el Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas (DENUE) del 2020 (INEGI, 2020b). Esta capa de información ofrece datos puntuales de identificación, ubicación, actividad económica y tamaño de las unidades económicas (UE).

Como unidad de análisis, se utilizaron los polígonos de manzanas urbanas, debido a que aquellas clasificadas así por el INEGI se pueden relacionar, mediante la clave geográfica, con variables sociodemográficas censales (microdatos), rasgos puntuales de equipamientos, instalaciones diversas, infraestructuras, UE y personal ocupado (PO); es decir, su esquema de entidad-relación permite enlazar y agregar —uno a uno y muchos a uno— información estadística con la base geográfica de manzanas. Para cada capa geográfica se eligieron variables censales de utilidad para la estimación del uso de suelo. Estas se presentan en el cuadro 2.

6 <https://www.inegi.org.mx/temas/mg/#:~:text=EI%20Marco%20Geoestad%C3%ADstico%20es%20un%20sistema%20dise%C3%B1ado%20por%20Instituto%20Nacional,para%20las%20actividades%20de%20captaci%C3%B3n>

7 La información que contiene este producto expone una selección de indicadores sobre las características sociodemográficas de la población y las viviendas de las localidades urbanas (es aquella que tiene una población mayor o igual a 2 500 habitantes o que es cabecera municipal) del país, generados con los resultados del Censo de Población y Vivienda 2020 desagregados hasta el nivel de manzana urbana (DE) [https://www.inegi.org.mx/contenidos/programas/ccpv/2020/doc/fd\\_agebmza\\_urbana\\_cpv2020.pdf](https://www.inegi.org.mx/contenidos/programas/ccpv/2020/doc/fd_agebmza_urbana_cpv2020.pdf)

## Principales fuentes de información

Capa geográfica	Variable
MGN 2020 (manzanas urbanas-microdatos)	<p>AMBITO. Considera una clasificación como <i>urbana</i> y <i>rural</i>.</p> <p>TIPOMZA. Clasificación que considera categorías: manzana típica, edificio, bajo puente, camellón, glorieta, parque o jardín.</p> <p>POBTOT. Total de personas que residen habitualmente en la manzana.</p> <p>VIVTOT. Viviendas particulares habitadas, deshabitadas, de uso temporal y colectivo.</p> <p>HA. Superficie expresada en hectáreas.</p>
SCINCE 2020 (capa SIP)	GEOGRAFICO. Variable que contiene las categorías de los servicios puntuales correspondientes a equipamientos, infraestructuras e instalaciones diversas.
DENUE 2020	<p>CODIGO_ACT. Código de actividad correspondiente, según el Sistema de Clasificación Industrial de América del Norte (SCIAN) 2018.</p> <p>PER_OCU. Rangos o estratos de personal ocupado: 0 a 5, 6 a 10, 11 a 30, 31 a 50, 51 a 100, 101 a 250, 251 y más.</p>

**Fuente:** elaboración propia con base en INEGI; las tres fuentes de datos se obtuvieron mediante consulta directa en el sitio de descarga masiva del INEGI en <https://www.inegi.org.mx/app/descarga/default.html>

### Método de clasificación de los usos estimados de suelo

Este consiste en un ejercicio de análisis y clasificación de las categorías de las variables censales, principalmente de vivienda, unidades económicas y de equipamientos. Para llevar a cabo este proceso, se definieron los criterios (ver diagrama) para seleccionar el conjunto de unidades de análisis (manzanas) y reclasificar y agrupar las categorías (origen) a cada una de las categorías estimadas.

Para calcular la densidad en las categorías estimadas *habitacional* y *habitacional mixto*, se definieron y aplicaron los criterios del cuadro 3. Para clasificar los usos habitacionales y mixtos, se proponen los parámetros generales que consideran solamente la ocupación del territorio sin considerar la intensidad del uso de suelo.

Regularmente, en procesos de percepción remota y tratamiento de imágenes satelitales para identificar usos de suelo y vegetación se utilizan puntos o polígonos para validar la modelización (clasificación supervisada). En este caso, se recurrió a la información catastral disponible más cercana

al ejercicio de estimación (2018) para comparar con el uso real. No obstante, al ser el catastro una fuente de información que no se actualiza en su totalidad con regularidad,<sup>8</sup> se deben considerar ciertas imprecisiones que pueden afectar los resultados comparativos, como errores topológicos detectados en el catastro o la aparición de nuevas manzanas no registradas en él. Cabe señalar que, en la actualidad, la información catastral es de difícil o nulo acceso en varias áreas urbanas o ciudades del país. Esta situación limita el ejercicio comparativo para su realización en una cobertura nacional. Aun con ello, este ejercicio utilizó los datos geográficos obtenidos del portal de datos abiertos de la Ciudad de México (ADIP, 2018).

Dentro de las características necesarias para poder realizar este ejercicio, se consideraron los siguientes criterios: a) los datos geográficos deben estar referidos a predios, ser polígonos y contar con clave de manzana y b) cada uno de los predios debe tener el uso actual mediante categorías claras. La clave de manzana permitirá agregar el uso

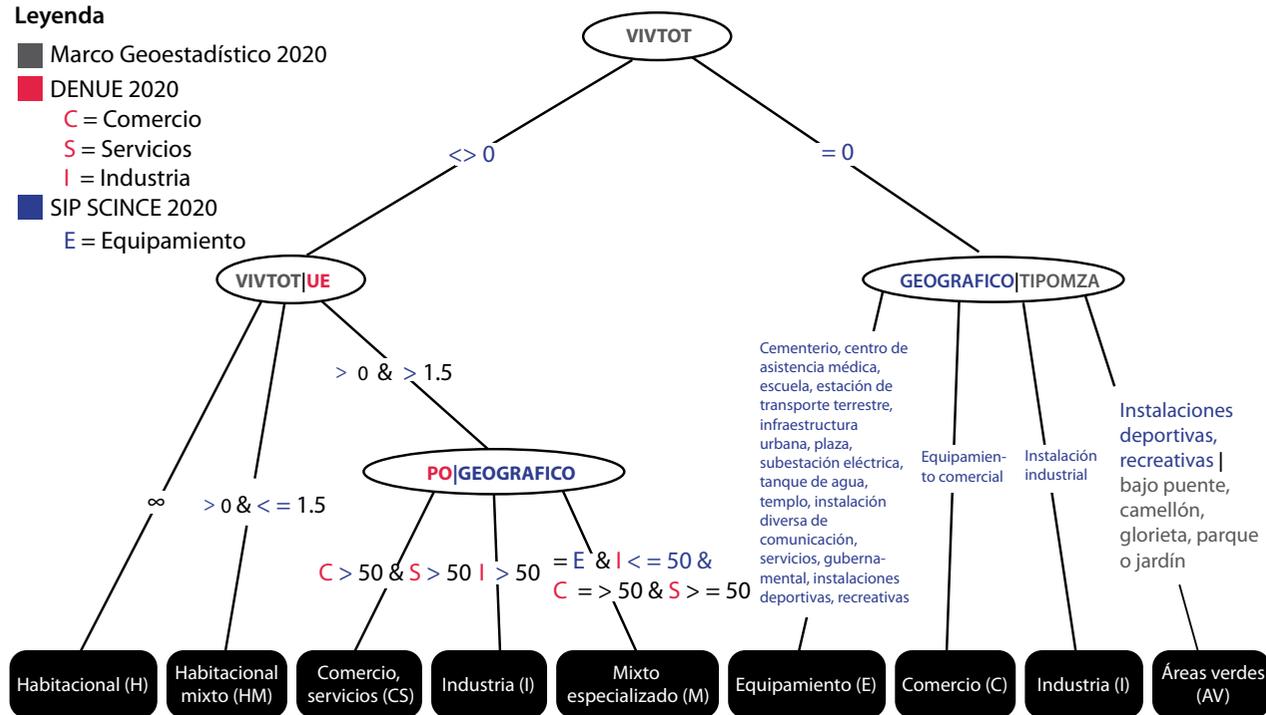
<sup>8</sup> En el 2008 inició el Programa de Modernización y Actualización del Catastro de la Ciudad de México. El proyecto, en su fase inicial, se desarrolló del 2008 al 2010, por lo que algunos usos pueden estar desactualizados o corresponder a años anteriores al 2018.

Diagrama

### Criterios para clasificación de los usos estimados de suelo

**Leyenda**

- Marco Geoestadístico 2020
- DENU 2020
- C = Comercio
- S = Servicios
- I = Industria
- SIP SCINCE 2020
- E = Equipamiento



**Nota:** el valor 50 son unidades económicas con más de 50 personas ocupadas en cada sector de actividad; se utiliza la clasificación: 0 a 5, 6 a 10, 11 a 30, 31 a 50, 51 a 100, 101 a 250 y 251 y más del DENU 2020.  
**Fuente:** elaboración propia con base en INEGI.

Cuadro 3

### Criterios para la estimación de la densidad

Fuente de datos	Uso estimado	Criterio de clasificación	Densidad urbana
Uso estimado	Habitacional (H)	H-a = (VIVTOT/HA (>= 150 viv/ha))	Habitacional alta densidad (H-a)
		H-m = (VIVTOT/HA (< 150 >= 100 viv/ha))	Habitacional media densidad (H-m)
		H-b = (VIVTOT/HA (< 100 viv/ha))	Habitacional baja densidad (H-b)
	Habitacional mixto (HM)	HM-a = (UE/VIVTOT (> 2))	Habitacional mixto alta densidad (HM-a)
		HM-m = (UE/VIVTOT (<= 2 & > 0))	Habitacional mixto media densidad (HM-m)

**Nota:** UE hace referencia a unidades económicas; VIVTOT y HA se definen en el cuadro 2.  
**Fuente:** elaboración propia, con base en el SCINCE, DENU y Marco Geoestadístico Nacional, INEGI 2020.

Cuadro 4

### Criterios para la clasificación de los usos de suelo catastrales

Fuente de datos	Uso catastral	Criterio de clasificación	Uso catastral clasificado
Catastro 2018	Habitación	$H = (= \text{Habitación})$	Habitacional (H)
	Habitacional, mixto, comercio y servicios	$HM = (M + CS / H (>= 1))$	Habitacional mixto (HM)
	Estacionamiento, hotel y oficina	$M = (M + CS + E (>= 200))$	Mixto especializado (M)
	Cultura, educación, panteón y salud	$E = (= E - H < > 0)$	Equipamiento (E)
	Comercio, abasto y comunicaciones	$CS = (= CS - H < > 0)$	Comercio y servicios (CS)
	Industrial	$I = (= \text{Industrial} - H < > 0)$	Industria (I)
	Baldío, cancha, deporte y jardines	$AV = (= AV - H < > 0)$	Área verde (AV)

Fuente: elaboración propia con base en ADIP, 2018.

Cuadro 5

### Criterios para el cálculo de la densidad en usos catastrales

Fuente de datos	Uso catastral clasificado	Criterio de clasificación	Densidad urbana
Uso catastral	Habitacional (H)	$H-a = (\text{PRED } H \text{ m}^2 (<= 70 \text{ m}^2))$ $H-m = (\text{PRED } H \text{ m}^2 (> 70 <= 100 \text{ m}^2))$ $H-b = (\text{PRED } H \text{ m}^2 (> 100 \text{ m}^2))$	Habitacional alta densidad (H-a) Habitacional media densidad (H-m) Habitacional baja densidad (H-b)
	Habitacional mixto (HM)	$HM-a = (M + CS/H (> 2))$ $HM-m = (M + CS/H (<= 2 >= 1))$	Habitacional mixto alta densidad (HM-a) Habitacional mixto media densidad (HM-m)

Nota: PRED  $H \text{ m}^2$  corresponde a la superficie en metros cuadrados; para M, CS y H, ver cuadro 4.

Fuente: elaboración propia con base en ADIP, 2018.

a nivel de manzana con base en el número de predios para determinar el uso predominante.

Para el caso de la reclasificación del uso actual registrado en la información catastral, se definieron los criterios que se muestran en el cuadro 4 organizados con base en la clasificación definida en la fuente original.

Para el caso de los usos catastrales reclasificados como habitacional y habitacional mixto, se aplican criterios similares a los utilizados para definir los parámetros en la estimación de usos (ver cuadro 5).

En gran medida, el aporte metodológico propuesto se resume y esquematiza en los cuadros de reclasificación. Es relevante recordar que esta no es limitativa, debido a que plantea un primer

acercamiento metodológico que permita representar los procesos de uso y ocupación del suelo urbano en México. Además, se debe considerar que las bases de datos geográficos catastrales locales suelen tener diferencias en las categorías de los usos actuales entre sí. Con respecto a los parámetros utilizados para el cálculo y representación de la densidad habitacional, estos fueron definidos para el conjunto de manzanas urbanas a nivel nacional; no obstante, se pueden ajustar a las diversas realidades regionales o de ciudades.

### Procesamiento de datos con base en criterios para la clasificación

A continuación se presentan los pasos con los cuales se obtiene la reclasificación del uso estimado de suelo:

**1. Selección de unidades espaciales.** Se escogen las manzanas censales urbanas en la capa geográfica nacional que tengan la categoría *Urbana* en la tabla de atributos. Esta identifica a todos aquellos polígonos pertenecientes a una localidad urbana de más de 2 500 habitantes, según el INEGI. El total de manzanas que cumplen con este criterio de selección son 1 600 016 polígonos distribuidos en las 32 entidades federativas del país. Con el fin de agilizar los procesos a esta capa geográfica, solo se unen los atributos de población total y total de viviendas; también, se calcula la superficie en hectáreas de cada manzana para utilizarla después en el cálculo de la densidad de viviendas para los usos habitacional y habitacional mixto, principalmente.

**2. Asignación del uso habitacional y densidad a las manzanas urbanas.** En la tabla de atributos de la capa geográfica se crea una columna, que recibirá el valor *H*, que identifica las manzanas con uso habitacional (con dato de vivienda). Con esto se obtiene el uso habitacional, el cual puede expresarse a través de la densidad habitacional en la manzana (viviendas/hectáreas), que es calculada en una nueva columna y se utiliza en procesos posteriores. Esta métrica es relevante debido a que permite identificar zonas habitacionales con mayor densidad —las cuales, en su mayoría, corresponden a conjuntos y unidades habitacionales— o bien, en caso contrario, identificar zonas con muy baja densidad, dando cuenta a vivienda de tipo popular en proceso de consolidación. La densidad se clasifica de acuerdo con los parámetros descritos en el cuadro 3 (como opción, se crea una columna para colocar los identificadores: a = alta, m = media y b = baja).

**3. Sectores económicos por manzana.** Se unen las 32 capas geográficas correspondientes a cada entidad federativa del DENUe en un archivo geográfico. Se crea una columna en la que se identifica el sector de pertenencia de cada unidad económica.

Para la definición del sector de actividad, se utiliza el SCIAN 2018 (INEGI, 2018). Este señala que la clave de actividad está compuesta por seis caracteres, de los cuales los dos primeros (de izquierda a derecha) corresponden al sector. Las claves se reclasifican como sigue: sector 21, 22, 23, 31-33 como *Industria*; 43 y 46, *Comercio*; y del 48 al 91, *Servicios*.<sup>9</sup> Además, se calcula el PO, creando una columna (tipo continua), la cual se llena con los valores numéricos obtenidos del límite superior de cada clase (i.e., 0 a 5 = 5, 6 a 10 = 10, 11 a 30 = 30...).

**4. Identificación de usos habitacionales mixtos<sup>10</sup> por manzana.** La capa del DENUe se disuelve utilizando la clave de manzana para obtener una con el total de UE y de PO. Otra segunda se genera disolviendo por clave de manzana y sector general de actividad. Con ello, se obtienen dos columnas: una con el subtotal de UE por cada sector y otra con la suma del PO por sector (ver cuadro 3). Las dos capas obtenidas se relacionan con la de manzanas utilizando la clave de manzana como llave y, así, se pasan los totales y subtotales por sector. Con los totales de viviendas y de UE se seleccionan las manzanas que tienen presencia de ambas unidades y se definen en una nueva columna como *habitacional mixto*. Para determinar la densidad de este uso, se genera un cociente (UE/VIVTOT) para aplicar el criterio del cuadro 3. Aquellas manzanas con cociente menor que 0 serán consideradas como habitacional mixto sin densidad (sería equivalente a HM de baja densidad considerando que existen mezclas mínimas), siempre y cuando en ellas existan viviendas y UE.

9 Para ver la descripción de los sectores, consultar: <https://www.inegi.org.mx/contenidos/app/scian/tablxiv.pdf>

10 “El término de uso mixto en general implica la coexistencia de tres o más importantes tipos de uso que producen ingresos...” (Witherspoon, R *et al.*, 1976, mencionado en ONU-Hábitat, 2014. p. 28). Se trata de abolir paulatinamente los usos de suelo monofuncionales provocados por la zonificación para transitar a usos múltiples compatibles; no obstante, el concepto de usos mixtos contrasta con el de usos múltiples que, aunque tiene dos o más usos en un solo sitio, no está integrado al contexto de ciudad. El uso mixto considera elementos que permitan vivir-trabajar-jugar integrado en un entorno urbano y suburbano (Rabianski, 2007, p. 4)

**5. Definición de uso industrial, comercio y servicios.** En la capa de manzanas se seleccionan aquellos polígonos cuyo valor en la columna de la sumatoria de PO del sector industrial sea mayor a 50 personas ocupadas (representan a las UE de mayor tamaño). Aquellas manzanas que cumplan con este criterio y no tengan presencia de vivienda serán clasificadas como uso *Industrial*. De manera similar, se realiza el procedimiento antes descrito para el sector comercio y el de servicios, y a estas últimas categorías se les asigna el de *Comercio y Servicios*, respectivamente.

**6. Equipamiento público, mixto especializado y área verde.** Para identificar el emplazamiento del equipamiento y de área verde, se utiliza la capa geográfica del SCINCE (SIP) y las categorías referidas en el diagrama arriba presentado. Para ubicar el uso mixto especializado, se trabaja con las columnas del tamaño de las UE de comercio, servicios e industria seleccionado aquellas mayores a 50 personas ocupadas y que se encuentren mezcladas con vivienda; es decir, son manzanas altamente especializadas.

## Descripción de los usos estimados de suelo

Una vez concluidos los procesos anteriores, se procede a reclasificar las diversas categorías que resultan de la concatenación de las columnas de uso comercial, industrial, servicios, habitacional, equipamiento y área verde. Las primeras combinaciones arrojaron más de 50<sup>11</sup> combinaciones posibles; no obstante, se definieron siete tipos de usos de suelo para los cuales se define su composición de la siguiente manera:

- **Habitacional.** Son todas aquellas manzanas que no cuentan con UE ni equipamientos. De

fine la pureza del uso habitacional. Se establece como densidad alta a las que tienen una densidad mayor a 149 viviendas por hectárea; es decir, se estima un lote promedio de menos de 70 m<sup>2</sup>; la media va de 100 a 149, con un lote promedio entre 71 a 100 m<sup>2</sup> y la baja con menos de 100 viviendas por hectárea y lotes promedio superiores a los 100 metros cuadrados.

- **Habitacional mixto.** Este uso considera la mezcla habitacional con industria vecina, comercio y servicios. Para clasificar una manzana con este uso, se consideró que era suficiente que una tuviera un uso habitacional combinado mínimamente con uno del tipo de los cuatro sectores económicos considerados. Para determinar la densidad, se utilizó la relación entre el número de unidades económicas y el de viviendas en la manzana. Como densidad alta se consideraron aquellas manzanas que registraron valores mayores al doble de UE en relación con el número de viviendas, y a las que presentaron cifras menores a 2 y mayores a 1, se les asigna una densidad media. La categoría de baja no se incluyó en este ejercicio debido a que en la mayor parte de las manzanas existen unidades económicas mezcladas con vivienda y a que, dada su generalizada cobertura, no permitiría identificar el uso habitacional.
- **Mixto especializado.** Son aquellas manzanas que albergan una mezcla de uso industrial, comercio o servicios combinada con equipamiento público. Se define como especializado debido a que son regularmente UE con más de 50 personas ocupadas y tienen presencia de vivienda. En estas no se identifica uso predominante, pero sí albergan grandes unidades económicas.
- **Comercio y servicios.** Son manzanas que solo alojan UE comerciales y de servicios y no cuentan con vivienda. Este tipo de uso se obtuvo a partir de la selección de aquellas unidades económicas que cuentan con más de 50 personas ocupadas.
- **Equipamiento.** Esta categoría la conforma el conjunto de manzanas que tienen equi-

<sup>11</sup> Para la reducción de las múltiples combinaciones iniciales, se utilizaron los criterios de agregación y/o discriminación descritos en el diagrama arriba presentado.

pamiento público y, en algunos casos, están mezcladas con UE de comercio y servicios. No considera la presencia de uso habitacional.

- **Área verde.** Corresponden a las unidades territoriales que cuentan con UE definidas como equipamiento público y coinciden con las áreas verdes del SCINCE; además, en la variable del tipo de manzana se lograron identificar las siguientes categorías: camellón, bajo puente, glorieta y parque o jardín, las cuales son consideradas como áreas verdes.
- **Industria.** Para el caso de este, incluye aquellas manzanas en las que se ubican UE industriales, en algunos casos mezcladas con las de comercios y servicios; no obstante, el tamaño de las UE industriales se consideró para definir su uso como industrial. Las de más de 50 personas ocupadas quedan representadas en este.

El producto obtenido de la estimación de los usos de suelo es una capa de cobertura nacional a nivel manzana, de la cual se extrajo el estimado para la Ciudad de México. Esta selección se utiliza para realizar el ejercicio comparativo con respecto al catastral del 2018.

## Tratamiento de datos catastrales

Los procesos que se realizaron para clasificar las categorías de la capa catastral se basan en los criterios definidos en los cuadros 4 y 5, y se mencionan a continuación:

1. La capa de predios catastrales se disuelve utilizando la clave de manzana y las categorías del uso actual. Con esto se garantiza tener una nueva capa con el número de predios de cada uso por manzana.
2. Se inicia identificando el uso habitacional en una columna nueva destinada para rellenar los usos homologados con los estimados. Se crea una columna que contenga el resultado del cociente (usos mixtos + comercio y servicios/habitacional) para asignar a valores mayores a 1 el uso habitacional mixto.

3. Para obtener el uso mixto especializado, se seleccionan aquellas manzanas que albergan estacionamientos, hoteles y oficinas y que no tengan presencia de vivienda. Las que cuentan con el mayor número de predios con estos usos serán clasificadas con esta categoría. Este criterio puede variar en función de la ciudad, del tamaño de las manzanas y de la variabilidad de los datos.
4. El resto de usos (equipamiento, comercio y servicios, industria y área verde) se asignan solamente a aquellas manzanas que no tienen vivienda. Por lo regular se asigna el uso predominante que depende del mayor número de predios.
5. Para determinar la densidad de los usos re-clasificados como habitacional, se aplican los criterios del cuadro 6. En este caso, como se cuenta con la superficie agregada por manzana de los predios y el número de estos por uso agregado, se puede estimar el tamaño promedio de la selección habitacional. Para la densidad del uso habitacional mixto, se utiliza una columna que contenga el resultado del cociente de la suma de usos mixtos y de comercio y servicios dividido entre el total del uso habitacional en la manzana.

## Resultados

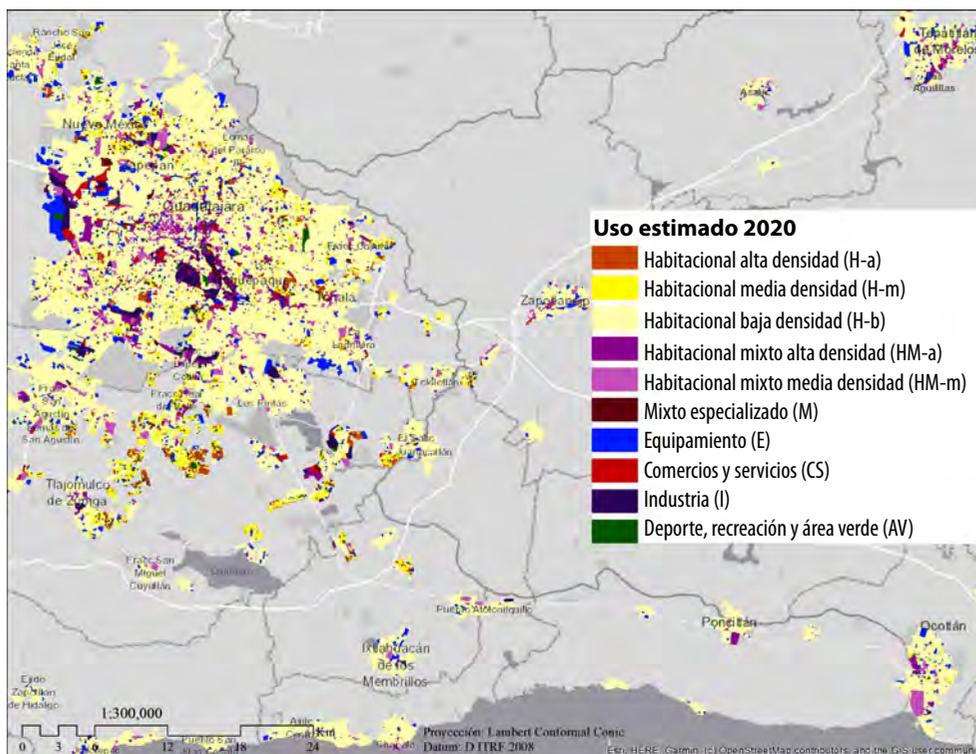
Esta clasificación general permite identificar y cuantificar, en el ámbito de las ciudades a nivel nacional, la diversidad y mezcla de usos de suelo. Además, es posible realizar la comparación entre urbes. El mapa 1 muestra un ejemplo de la estimación de uso de suelo en la región de Guadalajara, Jalisco. El usuario interesado puede explorar los datos en <http://rtm22.centrogeo.edu.mx/uso-de-suelo/>.

La gráfica 1 muestra la distribución en términos relativos, en la que se observa un predominio del uso habitacional<sup>12</sup> de baja densidad

<sup>12</sup> Según González, Kunz, y Barrios (2003), no existen datos exactos de la distribución de los usos del suelo urbano. En su trabajo estimaron que el uso habitacional a nivel nacional puede abarcar entre 75 y 50 % de la superficie urbana. En esta publicación, el lector puede profundizar en temas sobre las relaciones funcionales entre los usos del suelo urbano.

Mapa 1

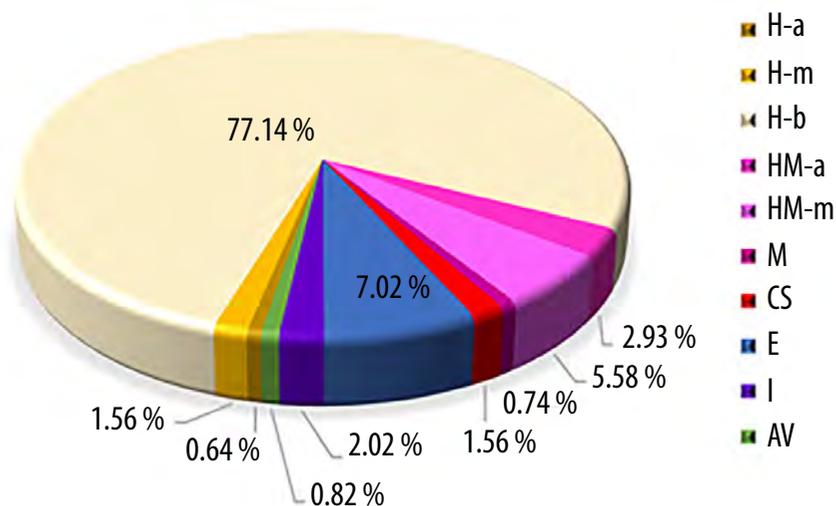
### Uso estimado 2020 para manzanas urbanas (Guadalajara, Ocotlán y Tepatlitlán)



Fuente: elaboración propia con base en datos del INEGI (2020); resultados obtenidos de la estimación de usos de suelo a nivel nacional.

Gráfica 1

### Distribución de los usos de suelo estimados a nivel nacional



Clasificación de usos estimados: (H-a) habitacional de alta densidad; (H-m) habitacional de media densidad; (H-b) habitacional de baja densidad; (HM-a) habitacional mixto de alta densidad; (HM-m) habitacional mixto de media densidad; (M) mixto especializado; (E) equipamiento; (CS) comercio y servicios; (I) industria; y (AV) deporte, recreación y área verde.

Fuente: elaboración propia con base en datos derivados del diagrama arriba presentado.

(77.14 % de la superficie total urbana), seguido del equipamiento (con 7.02 %) y, en tercer lugar, del uso habitacional mixto de media densidad (5.58 %), que asciende a 1 967 346.4 hectáreas. Estos datos pueden sustentar que casi ocho de cada 10 manzanas tienen uso habitacional y que en este predominan predios mayores a 100 m<sup>2</sup> de superficie, en promedio. Dicha situación hablaría de una ocupación urbana de baja densidad, con posibilidades de adoptar políticas que promuevan la compacidad y mayor aprovechamiento de espacio urbano.

La estimación del uso de suelo nacional permite agregar por entidad federativa la distribución territorial. En términos comparativos, en la gráfica 2 se observa que la Ciudad de México, proporcionalmente, tiene los mayores porcentajes de uso habitacional de alta y media densidad, seguido de Quintana Roo, el estado de México y Aguascalientes; llama la atención que Jalisco y Nuevo León se

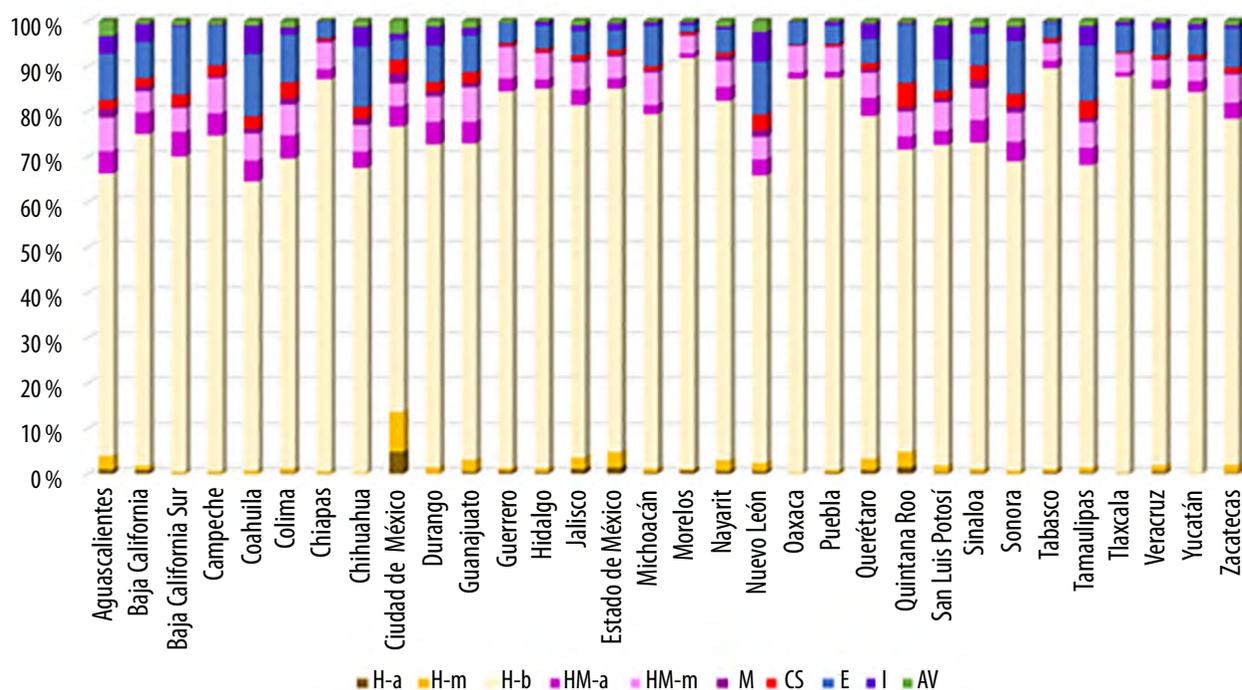
encuentran por debajo de la lista antes mencionada, lo cual hace suponer que, en promedio, en sus áreas urbanas las densidades altas y medias son de baja representatividad.

La estimación del uso de suelo puede ser analizada con base en la clasificación de los asentamientos urbanos del Sistema Urbano Nacional (SUN) y comparar la distribución territorial de los usos entre ellos.<sup>13</sup> En este sentido, los datos obtenidos muestran mayor participación de los usos habitacionales de alta y media densidad en las zonas metropolitanas y mayor porcentaje de habitacional de baja densidad en localidades dispersas (ver cuadro 6).

13 Para este trabajo, se utiliza para fines comparativos el SUN 2018, que define un total de 401 ciudades clasificadas por su población y tamaño en: zonas metropolitanas, conurbaciones y centros de población (DE) [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/400771/SUN\\_2018.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/400771/SUN_2018.pdf)

Gráfica 2

### Distribución del uso de suelo urbano por entidad federativa, 2020



Clasificación de usos estimados: (H-a) habitacional de alta densidad; (H-m) habitacional de media densidad; (H-b) habitacional de baja densidad; (HM-a) habitacional mixto de alta densidad; (HM-m) habitacional mixto de media densidad; (M) mixto especializado; (E) equipamiento; (CS) comercio y servicios; (I) industria; y (AV) deporte, recreación y área verde.

Fuente: elaboración propia con base en el diagrama arriba presentado, agrupados por estado.

**Distribución porcentual por tipo de ciudad, SUN 2018**

Clave uso	Zonas metropolitanas	Conurbaciones	Centros de población	Localidades dispersas	Nacional
H-a	1.08	0.12	0.12	0.05	0.64
H-m	2.57	0.55	0.49	0.10	1.56
H-b	72.19	79.75	77.86	86.64	77.14
HM-a	3.80	3.01	3.33	0.88	2.93
HM-m	5.24	6.54	7.41	5.36	5.58
M	1.03	0.64	0.60	0.20	0.74
CS	2.20	1.27	1.42	0.34	1.56
E	7.60	6.51	7.24	5.88	7.02
I	3.23	1.03	0.70	0.20	2.02
AV	1.07	0.60	0.84	0.35	0.82

Este cuadro muestra usos agrupados por tipo de asentamiento humano expresados en porcentajes. Las localidades dispersas agrupan las localidades urbanas que no forman parte de las tres categorías definidas por el SUN 2018.

Clasificación de usos estimados: (H-a) habitacional de alta densidad; (H-m) habitacional de media densidad; (H-b) habitacional de baja densidad; (HM-a) habitacional mixto de alta densidad; (HM-m) habitacional mixto de media densidad; (M) mixto especializado; (E) equipamiento; (CS) comercio y servicios; (I) industria; y (AV) deporte, recreación y área verde.

**Fuente:** elaboración propia con base en el mapa 1.

El uso habitacional mixto de media densidad mantiene proporciones similares entre los cuatro tipos de ciudades; no obstante, es marcada la carencia del habitacional mixto de alta densidad en localidades de menor tamaño (dispersas), así como de usos industrial, área verde, comercio y servicios.

Dado que la capa geográfica generada a nivel nacional es vectorial, también permite analizar los usos del suelo a nivel de ciudad. Con esto, se pueden hacer comparaciones al interior de zonas específicas o comparar con otras fuentes de información, como puede ser el catastro. En este sentido, se presentan los resultados que se obtuvieron de la clasificación de los usos actuales catastrales y los estimados para el caso de la Ciudad de México (ver mapas 2a y 2b).

Se encontró que, en términos generales, existen proporciones de participación similares entre los usos estimados con los catastrales. Sin embargo, de manera particular, los que mayor diferencia muestran son el habitacional (H-m) y el habitacional mixto (HM-m), ambos de media densidad, los cuales se sobrestimaron, así como también las áreas verdes, que se encuentran por debajo del

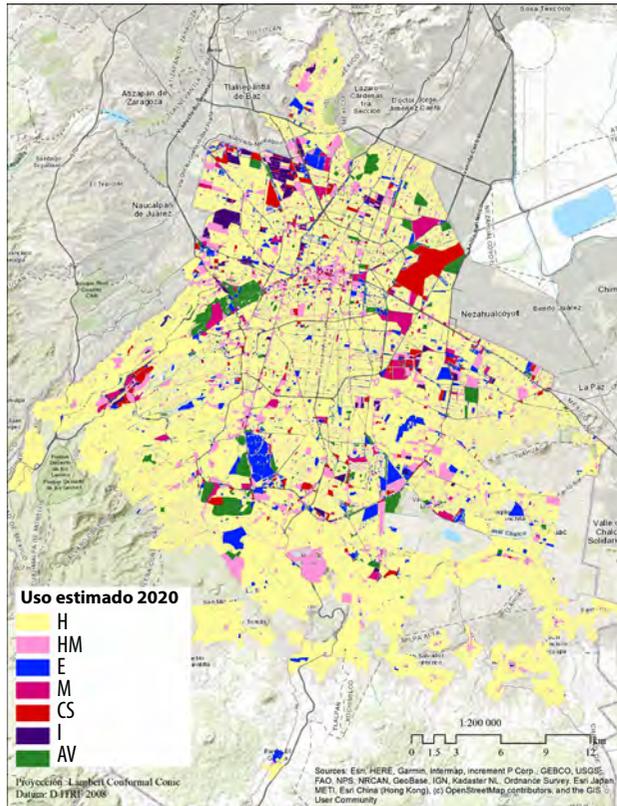
porcentaje catastral. Estas ligeras diferencias globales se pueden observar de mejor manera en el cuadro 7.

Los datos del cuadro 7 demuestran la existencia de una proporcionalidad similar entre los usos estimados y los catastrales. No obstante, fue necesario realizar un ejercicio de correlación espacial para validar o determinar el grado de similitud de ambas bases. Para ello, se tomaron los usos agregados, omitiendo las densidades, con el fin de obtener la comparación por pureza de uso.

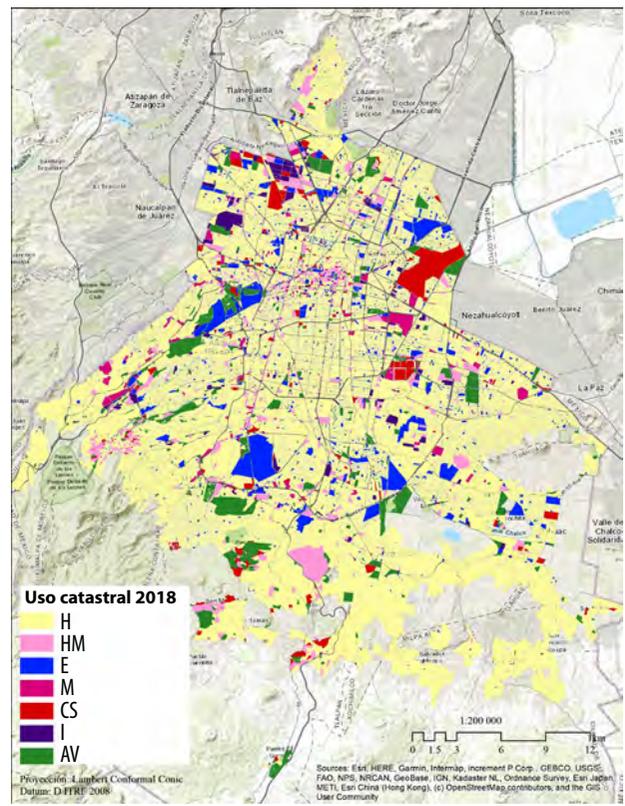
Si bien la SEDATU recomienda el uso de los coeficientes Kappa y Exactitud, estos tienen algunas limitaciones cuando hay un marcado desbalance en las clasificaciones. Delgado y Tibau (2019) realizaron una revisión de las críticas al uso de Kappa y concluyeron que se debería evitar como métrica para la evaluación de clasificaciones. Particularmente, encontraron tres paradojas: a) la llamada de Kappa, que consiste en la penalización dado un acuerdo general fijo entre clasificadores (el estadístico penaliza aquellos elementos con valores marginales similares respecto a los que tienen valores distintos); b) de prevalencia: cuando la probabili-

Mapas 2

**a. Uso estimado 2020, Ciudad de México**



**b. Uso catastral 2018, Ciudad de México**



Usos agregados para fines comparativos, no se incluye la densidad.

Clasificación general del uso de suelo catastral: (H) habitacional; (HM) habitacional mixto; (E) equipamiento; (M) mixto; (CS) comercio y servicios; (I) industria; y (AV) área verde.

**Fuente:** elaboración propia con base en el diagrama arriba presentado y ADIP, 2018.

Cuadro 7

**Representación de uso estimado y catastral para la Ciudad de México**

Uso	Superficie (%)	
	Estimado	Catastral
Habitacional de alta densidad (H-a)	4.86	3.73
Habitacional de media densidad (H-m)	8.87	4.64
Habitacional de baja densidad (H-b)	62.61	66.63
Habitacional mixto de alta densidad (HM-a)	4.28	3.48
Habitacional mixto de media densidad (HM-m)	4.58	2.21
Mixto especializado (M)	2.20	1.63
Equipamiento (E)	4.42	5.87
Comercio y servicios (CS)	3.10	3.48
Industria (I)	1.61	1.79
Deporte, recreación y área verde (AV)	3.46	6.55

**Fuente:** elaboración propia con base en datos de los mapas 2a y 2b.

dad hipotética entre clasificadores es alta (valores altos en precisión) resultan valores bajos en Kappa; y c) de sesgo, representada con distribuciones marginales desbalanceadas, que provocan que Kappa tienda a la sobrestimación.

Existe una gran cantidad de estadísticos para la evaluación del desempeño de clasificadores; en este sentido, Tarwhat (2021) apunta que, dado que el problema sigue vigente, lo más recomendable es el uso combinado de métricas. Labaut y Cherifi (2011) hicieron una revisión de diversas métricas de evaluación de clasificaciones; argumentan que una alternativa viable son las basadas en la precisión y exhaustividad, las cuales suelen ser complementarias.

En el cuadro 8 se muestran las versiones macro (globales) de las métricas ponderadas por superficie. En todos los índices, valores cercanos a 1 indican un buen resultado.

## Discusión

Ante la debilidad financiera y capacidad técnica de los gobiernos municipales para la generación de insumos para la planeación y gestión de su territorio, el presente método propuesto debe ser considerado por la SEDATU como un instrumento útil con carácter de emergente en ausencia de un catastro confiable que permita definir por esta vía el uso actual del suelo urbano. Este procedimiento permitiría, además, dar seguimiento —a manera de indicador— a la distribución de los usos del suelo en el tiempo y tomar decisiones de política pública en función del grado de cumplimiento de los ordenamientos locales, estatales, federales e internacionales.

Es evidente que, en la actualidad, existen técnicas novedosas tanto para la estimación de los usos del suelo urbano como para la actualización de las bases catastrales, principalmente con procesamiento de información de PR y datos abiertos mediante procedimientos que involucran conocimientos profundos de análisis espacial e inteligencia artificial. Dichas técnicas son de alto costo (equipos de cómputo muy potentes e infraestructura para análisis remoto de datos) y precisan de una alta especialización de recursos humanos para su implementación, por lo que no se consideran operativas en el contexto actual de la realidad económica, social y cultural en la mayoría de los municipios de México. Lo destacable de este método es que tiene un desempeño similar al reportado en la literatura, pero con procesos más parsimoniosos y sin la utilización de PR ni algoritmos de AI. Debe aclararse que la propuesta aquí presentada no tiene la finalidad de actualizar el catastro, es una herramienta que debe ser considerada como insumo base para iniciar el proceso de planeación urbana y de gestión del territorio.

Por otro lado, la distribución espacial de los usos del suelo de este método puede ser utilizada para analizar las relaciones funcionales desde el ámbito de la investigación urbana. Permite hacer comparaciones entre diversos niveles geográficos y diferentes cortes temporales, y también puede ser considerado como una variable en análisis de correlación espacial. Sin embargo, la debilidad detectada es la completa dependencia de la producción de los datos en futuros eventos censales por parte del INEGI. Si esta institución continúa con la generación de las fuentes utilizadas en este ejercicio, será posible hacer comparaciones en el tiempo y, posiblemente, realizar escenarios y patrones.

Cuadro 8

### Métricas de comparación del uso catastral y el estimado para la Ciudad de México (resultados globales)

Precisión	Exhaustividad	Índice $F-1$	Índice $F\beta-0.5$	Índice $F\beta-2$
0.906	0.886	0.892	0.899	0.888

Las medidas  $F$  que aquí se presentan deben de ser interpretadas como una medida de superposición entre las clases verdaderas y las estimadas. Para mayor detalle ver Labaut y Cherifi (2011).  
Fuente: elaboración propia.

## Conclusiones

En este documento se presentó una propuesta de estimación de uso del suelo urbano, con cobertura nacional, que podría ser la base de la cual partieran programas de DU y OT en nivel municipal y escala metropolitana en zonas o regiones donde no se cuente con esa información base. Dada la sostenida calidad y continuidad que presentan las diferentes series de información pública que periódicamente genera el INEGI, se presume que el método presentado podría seguirse aplicando en ulteriores series, no solo para actualizar los propios programas, sino para comparar la evolución del uso del suelo en relación con las políticas públicas territoriales establecidas (i.e., corredores industriales, policentrismo, mayor mezcla de uso del suelo, etcétera).

Las fuentes públicas utilizadas son complementarias en el sentido de su especialización en un aspecto de la realidad territorial. El Marco Geoestadístico Nacional por manzana provee la base más importante para darle seguimiento a la distribución de la población y vivienda; el SIP, difícilmente, será exhaustivo, pero complementa elementos fundamentales de equipamiento urbano; y, por último, el DENUe da cuenta de los usos actuales, inclusive en zonas urbanas con baja capacidad institucional para la gestión urbana.

Una aportación de este trabajo consiste en la cuidadosa homologación de las clasificaciones —definidas por los instrumentos normativos—, que son utilizadas en la reclasificación de los datos abiertos y en el catastro, lo que permite su comparación. Sin embargo, vale la pena poner atención en los criterios de clasificación de manzanas urbanas, definidos por el INEGI, ya que puede llevar a delimitaciones diferentes con respecto a los estudios sobre crecimiento y expansión urbana.

Las principales ventajas del presente método residen en la sistematización de las bases de datos del INEGI y su continuidad, insumo base de la propuesta, así como en su relativa facilidad de aplicación. Entre las desventajas observadas se encuentra la disparidad con la que se clasifica el uso

del suelo, no solo en el catastro, sino en los propios programas de DU y OT locales, a pesar de existir guías federales para ello, pues su definición es una potestad local. Ello dificulta la validación del método e impide generar una serie nacional que se acople perfectamente a cada ley de ordenamiento local. Aun con ello, ya es posible observar hallazgos analíticos relevantes en este trabajo, no solo en escala urbana, sino en la del SUN.

De continuar la tendencia sobre la imposibilidad municipal para generar información base para ordenar sus propios territorios, cabe pensar que esta propuesta daría respuesta a una necesidad derivada de la ausencia de información sistematizada. Más aún, se presume que dicha sistematización, y su eventual mejora en los procesos, podría reducir significativamente los costos de estudios previos a la realización de un programa de DU o a uno de OT.

## Fuentes

- ADIP. *Sistema Abierto de Información Geográfica (SIGCDMX)*. México, Agencia Digital de Innovación Pública, Gobierno de Ciudad de México, 2018 (DE) <https://sig.cdmx.gob.mx/datos/> consultado el 7/07/2022.
- Aldret, A. "La oportuna fragilidad del municipio en México: capacidades institucionales en el marco de un federalismo disfuncional", en: *Revista Iberoamericana de Estudios Municipales*. 11, 2015, pp. 145-172 (DE) <https://doi.org/10.32457/riem.vi11.375> consultado el 3/10/2022.
- Banco Mundial. *Urban development*. 2020 (DE) <https://www.worldbank.org/en/topic/urbandevelopment/overview#1> consultado el 7/07/2022.
- Cabrero, E. "Capacidades institucionales en gobiernos subnacionales de México: ¿un obstáculo para la descentralización fiscal?", en: *Gestión y Política Pública*. 13(3), 2004, pp. 753-784 (DE) <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=13313306> consultado el 3/10/2022.
- Cámara de Diputados del Honorable Congreso de la Unión. "Presupuesto de Egresos de la Federación Para el Ejercicio Fiscal 2022", en: *Diario Oficial de la Federación (DOF)*. México, 29 de noviembre de 2021 (DE) [https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/PEF\\_2022.pdf](https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/PEF_2022.pdf) consultado el 7/07/2022.
- CIDEU. *Los institutos municipales de planeación en México*. Centro de Desarrollo Estratégico Urbano, 2022 (DE) <https://blog.cideu.org/2022/03/23/los-institutos-municipales-de-planeacion-en-mexico/> consultado el 6/01/2023.
- Chen, B., Y. Tu, Y. Song, D. M. Theobald, T. Zhang, Z. Ren, [...] y B. Xu. "Mapping essential urban land use categories with open big data: Results for five

- metropolitan areas in the United States of America”, en: *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*. 178, 2021, pp. 203-218 (DE) <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2021.06.010> consultado el 3/10/2022.
- Delgado R. y X. Tibau. “Why Cohen’s Kappa should be avoided as performance measure in classification”, en: *PLOS ONE*. 14(9), 2019, pp. 1-26. (DE) <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0222916> consultado el 3/10/2022.
- Foody, G., L. See, S. Fritz, M. Van der Velde, C. Perger, C. Schill y A. Comber. “Accurate attribute mapping from volunteered geographic information: issues of volunteer quantity and quality”, en: *The Cartographic Journal*. 52(4), 2015, pp. 336-344 (DE) <https://doi.org/10.1080/00087041.2015.1108658> consultado el 7/07/2022.
- Forbes. “México padece la mayor desigualdad de ingresos: OCDE”, en: *Forbes*. julio 14 de 2015 (DE) <https://www.forbes.com.mx/mexico-padece-la-mayor-desigualdad-de-ingresos-ocde/> consultado el 7/07/2022.
- Gómez, N. *Instancias para la renovación de la gestión urbana en México. Caso de estudio: Institutos Municipales de Planeación*. Tesis de Maestría. Universidad Autónoma del Estado de México, 2015 (DE) <http://ri.uaemex.mx/bitstream/handle/20.500.11799/49150/NAYELI%20GOMEZ%20ZARZA.pdf?sequence=1> consultado el 7/07/2022.
- González, S., B. Kunz y R. Barrios. “Uso residencial”, en: Kunz, B. Ignacio (coord.). *Usos del suelo y territorio: tipos y lógicas de localización en la Ciudad de México*. México, Ed. Plaza y Valdés, S. A. de C. V., 2003, pp. 173-185.
- Huang, B., B. Zhao y Y. Song. “Urban land-use mapping using a deep convolutional neural network with high spatial resolution multispectral remote sensing imagery”, en: *Remote Sensing of Environment*. 214, 2018, pp. 73-86 (DE) <https://doi.org/10.1016/j.rse.2018.04.050> consultado el 3/10/2022.
- Instituto Mexicano para la Competitividad, A. C. (IMCO). *Ciudades resilientes: Índice de Competitividad Urbana 2020*. México, IMCO, 2020 (DE) [https://imco.org.mx/wp-content/uploads/2020/11/20201111\\_ICU-2020\\_Documento.pdf](https://imco.org.mx/wp-content/uploads/2020/11/20201111_ICU-2020_Documento.pdf) consultado el 7/07/2022.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). *Manual de usuario. Sistema para la Consulta de Información Censal 2010. Censo de Población y Vivienda. Versión: 052012*. Aguascalientes, México, INEGI, 2010 (DE) <http://gaia.inegi.org.mx/scince2/docs/manualUsuario.pdf> consultado el 7/07/2022.
- \_\_\_\_\_. *Sistema de Clasificación Industrial de América del Norte (SCIAN) 2018, México*. Aguascalientes, México, INEGI, 2018 (DE) <https://www.inegi.org.mx/contenidos/app/scian/tablaiv.pdf> consultado el 7/07/2022.
- \_\_\_\_\_. *Censo de Población y Vivienda 2020*. Aguascalientes, México, INEGI, 2020a (DE) [www.inegi.gob.mx](http://www.inegi.gob.mx) consultado el 7/07/2022.
- \_\_\_\_\_. *Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas (DENUE)*. Aguascalientes, México, INEGI, 2020b (DE) <https://www.inegi.org.mx/app/descarga/default.html> consultado el 7/07/2022.
- \_\_\_\_\_. *Marco Geoestadístico. Censo de Población y Vivienda 2020*. Aguascalientes, México, INEGI, 2020c (DE) <https://www.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=889463807469> consultado el 7/07/2022.
- \_\_\_\_\_. *Sistema para la Consulta de Información Censal (SCINCE) 2020*. Aguascalientes, México, INEGI, 2020d (DE) <https://gaia.inegi.org.mx/scince2020/> consultado el 7/07/2022.
- \_\_\_\_\_. *Censo Nacional de Gobiernos Municipales y Demarcaciones Territoriales de la Ciudad de México 2021*. Aguascalientes, México, INEGI, 2021 (DE) <https://www.inegi.org.mx/programas/cngmd/2021/#Documentacion> consultado el 7/07/2022.
- Jokar Arsanjani, J., M. Helbich, M. Bakillah, J. Hagenauer, & A. Zipf. “Toward mapping land-use patterns from volunteered geographic information”, en: *International Journal of Geographical Information Science*. 27(12), 2013, pp. 2264-2278. (DE) <https://doi.org/10.1080/13658816.2013.800871> consultado el 3/10/2022.
- Labatut, V. y H. Cherifi. “Accuracy Measures for the Comparison of Classifiers”. Amman, *The 5th International Conference on Information Technology*, 2011, pp. 1-5 (DE) <http://arxiv.org/abs/1207.3790> consultado el 7/07/2022.
- Liu, X., J. He, Y. Yao, J. Zhang, H. Liang, H. Wang, & Y. Hong “Classifying urban land use by integrating remote sensing and social media data”, en: *International Journal of Geographical Information Science*. 31(8), 2017, pp. 1675-1696. (DE) <https://doi.org/10.1080/13658816.2017.1324976> consultado el 3/10/2022.
- Massiris, Á. *Fundamentos conceptuales y metodológicos del ordenamiento territorial*. Tunja, Colombia, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, 2005, p.122.
- Naciones Unidas. *Transición energética: Las ciudades y la contaminación contribuyen al cambio climático*. (s. f) (DE) <https://www.un.org/es/climate-change/climate-solutions/cities-pollution#:~:text=Las%20ciudades%20son%20uno%20de,la%20superficie%20de%20la%20Tierra> consultado el 7/07/2022.
- Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE). *Public Investment*. s. f. (DE) <https://www.oecd.org/governance/public-investment.htm> consultado el 7/07/2022.
- \_\_\_\_\_. *Revenue statistics in Latin America, 1990-2009*. Paris, France, 2011 (DE) <https://doi.org/10.1787/9789264110540-en-fr> consultado el 7/07/2022.
- Programa de las Naciones Unidas para los Asentamientos Humanos (ONU-Hábitat). *Planeamiento urbano para las autoridades locales*. Nairobi, Kenia, ONU-Hábitat, 2014 (DE) [https://unhabitat.org/sites/default/files/download-manager-files/Urban%20Planning%20for%20City%20Leaders\\_Spanish.pdf](https://unhabitat.org/sites/default/files/download-manager-files/Urban%20Planning%20for%20City%20Leaders_Spanish.pdf) consultado el 7/07/2022.

- Rabianski, J. *Desarrollo de uso mixto: una revisión de la literatura profesional*. Fundación de Investigación de la Asociación Nacional de Propiedades Industriales y de Oficinas, 2007 (DE) [https://www.cdfa.net/cdfa/cdfaweb.nsf/ord/e85f455bb30951708825793600673c68/\\$file/mixed-use.pdf](https://www.cdfa.net/cdfa/cdfaweb.nsf/ord/e85f455bb30951708825793600673c68/$file/mixed-use.pdf) consultado el 18/09/2022.
- Sánchez, M., J. Casado y G. Bocco. "Introducción", en: Sánchez, M., G. Bocco y J. Casado. *La política de ordenamiento territorial en México: de la teoría a la práctica*. Ciudad de México, México, Instituto de Geografía, Centro de Investigaciones en Geografía Ambiental, Universidad Nacional Autónoma de México, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático, 2013, pp. 19-44.
- Secretaría de Desarrollo Agrario, Territorial y Urbano (SEDATU). "Ley General de Asentamientos Humanos, Ordenamiento Territorial y Desarrollo Urbano", en: *Diario Oficial de la Federación (DOF)*. México, 28 de noviembre de 2016 (DE) [http://dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5462755&fecha=28/11/2016](http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5462755&fecha=28/11/2016) consultado el 7/07/2022.
- \_\_\_\_\_. *Lineamientos Simplificados: Guía de Implementación*. México, SEDATU, 2020 (DE) [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/622571/Guia\\_de\\_Implementacion\\_n\\_.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/622571/Guia_de_Implementacion_n_.pdf) consultado el 7/07/2022.
- \_\_\_\_\_. *Estrategia Nacional de Ordenamiento Territorial*. México, SEDATU, 2021 (DE) <https://www.gob.mx/sedatu/documentos/estrategia-nacional-de-ordenamiento-territorial-de-la-sedatu-2020-2040> consultado el 7/07/2022.
- \_\_\_\_\_. *Lineamientos simplificados para la elaboración de los programas metropolitanos*. México, SEDATU, 2021a (DE) <https://mimexicolate.gob.mx/wp-content/uploads/2021/03/Lineamientos-PM.pdf> consultado el 7/07/2022.
- \_\_\_\_\_. *Programa de Modernización de los Registros Públicos de la Propiedad y Catastro*. México, SEDATU, 2021b (DE) [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/686462/Diagnostico\\_2021\\_U003\\_Rev\\_UPDI\\_280921\\_VF031221.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/686462/Diagnostico_2021_U003_Rev_UPDI_280921_VF031221.pdf) consultado el 7/07/2022.
- SEDATU, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) y Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ, por sus siglas en inglés). *Guía Metodológica para la Elaboración y Actualización de Programas Municipales de Desarrollo Urbano*. México, SEDATU, SEMARNAT, GIZ, 2017 (DE) [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/484508/04\\_02\\_1.2\\_PMDU2017\\_Guiametodologica.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/484508/04_02_1.2_PMDU2017_Guiametodologica.pdf) consultado el 7/07/2022.
- Tharwat, A. "Classification assessment methods", en: *Applied Computing and Informatics*. 17(1), 2021, pp. 168-192 (DE) <https://doi.org/10.1016/j.aci.2018.08.003> consultado el 7/07/2022.
- World Resources Institute Ross Center for Sustainable Cities (WRI). *El costo de la expansión urbana en México*. México, WRI, 2021 (DE) <https://urbantransitions.global/wp-content/uploads/2021/07/Costos-econo%CC%81micos-para-la-expansio%CC%81n.pdf> consultado el 7/07/2022.
- Ziccardi, A. y A. González. "Política de vivienda y municipios en México", en: Ziccardi, A. y A. González (eds.). *Habitabilidad y política de vivienda en México*. Ciudad de México, México, Universidad Nacional Autónoma de México, 2015, pp. 47-58.

# Consideraciones para la evaluación de impacto socioambiental **del Aeropuerto Internacional Felipe Ángeles**

## Considerations for Socio-Environmental Impact Assessment of the **Felipe Ángeles International Airport**

Maribel Espinosa-Castillo,\* Germán Raúl Vera Alejandre,\* Citlalli Reyes Ríos,\*\* Víctor Manuel Lozano Noches,\*\*\*  
Alicia Hermila López Aguilar\*\*\* y Yoselin Juárez Rodríguez\*\*

El Aeropuerto Internacional de la Ciudad de México observa una problemática que va desde la saturación de vuelos hasta accidentes operativos. En la mayoría de los proyectos de infraestructura y equipamiento se debería requerir una evaluación de impacto social o *licencia social* para construir y/o planificar acciones de resarcimiento o mitigación por obras que afecten en las comunidades. Cabe aclarar que la *Manifestación de impacto ambiental* es un requisito obligatorio en todas las obras públicas o privadas, y para las del sector energético solo es la Evaluación de Impacto Social (EVIS). Son muchas

The Mexico City International Airport has problems ranging from flight saturation to operational accidents. Most infrastructure and equipment projects should require a social impact assessment or social license to build and/or plan compensation or mitigation actions for works that affect communities. It should be clarified that the Environmental Impact Statement is a mandatory requirement for all public or private works, and for those in the energy sector it is only the Social Impact Assessment Process (EVIS). There are many repercussions that were argued regarding the construction of a new

\* Centro Interdisciplinario de Investigaciones y Estudios sobre Medio Ambiente y Desarrollo (CIEMAD) del Instituto Politécnico Nacional (IPN), mespinosac@ipn.mx // escasmar@hotmail.com y gveraa@ipn.mx, respectivamente.

\*\* Escuela Superior de Ingeniería y Arquitectura (ESIA)-IPN, reyesrioscitlalli@gmail.com y jr.yoselin00@gmail.com, respectivamente.

\*\*\* Escuela Superior de Turismo (EST)-IPN, vlozano908@gmail.com y alicia.ahla@gmail.com // alopeza1607@alumno.ipn.mx

**Nota:** este artículo forma parte del proyecto *Variación diurna en la presencia de aerosoles utilizando el sensor MODIS durante la etapa de construcción del Aeropuerto Felipe Ángeles* (SIP-20221682), apoyado por la Secretaría de Investigación y Posgrado del IPN.



Torre de Control/Citilali Reyes Ríos

las repercusiones que se argumentaron respecto a la construcción de un nuevo aeropuerto en la cuenca de México. Por ello, el objetivo del presente artículo es valorar las afectaciones socioambientales que se presentarán en la región que conformará el Aeropuerto Internacional Felipe Ángeles. La metodología empleada fue la de EVIS. Los resultados de la investigación indican que la disponibilidad de agua es el impacto socioambiental más importante encontrado.

**Palabras clave:** política ambiental; valoración del impacto social; disponibilidad de agua; AIFA.

Recibido: 11 de julio de 2022.  
Aceptado: 14 de octubre de 2022.

airport in the basin of Mexico. Therefore, the objective of this article is to assess the socio-environmental impacts that will occur in the region that will make up the Felipe Ángeles International Airport. The methodology used was that of EVIS. The results of the research indicate that water availability is the most important socio-environmental impact found.

**Key words:** environmental policy; social-impact assessment; water availability; AIFA.

## Introducción

A partir de la gran dinámica global que el país observó a principios de la década de los 80 del siglo XX, México ha incrementado las comunicaciones aéreas tanto de personas como de mercancías. La necesidad de un aeropuerto más eficiente se ha hecho sentir en la diversidad de problemáticas que se presentan en el actual Aeropuerto Internacional de la Ciudad de México (AICM) "Benito Juárez", el cual, con 70 años de servicio, observa contingencias operativas que ponen en riesgo la seguridad e integridad del personal operativo y pasajeros.

El planteamiento de un nuevo aeropuerto trae consigo diferentes tipos de valoraciones, desde la existencia de recursos económicos para su construcción y el riesgo sobre el crecimiento del área urbana de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México (ZMCM), hasta la *licencia social* y la *Manifestación de impacto ambiental* para construir y operar.

En la mayoría de los proyectos de infraestructura y equipamiento, tanto públicos como privados, se debería requerir una evaluación de impacto social con el fin de tener *licencia social* para construir y, en su caso, planificar acciones de resarcimiento y mitigación por obras y servicios necesarios para realizar el proyecto.

La Asociación Internacional para la Evaluación de Impactos (IAIA, por sus siglas en inglés) señala que: "... Un impacto social es algo que se experimenta o se siente, en el sentido perceptual (cognitivo) o corporal (físico) a todos los niveles, por ejemplo, a nivel de la persona como individuo, de unidad económica (familia/hogar), de grupo social (círculo de amigos), de lugar de trabajo (una empresa o entidad de gobierno), o más generalmente de comunidad/sociedad..." (IAIA, 2015, p. 10). Por otro lado, la Secretaría de Energía (SENER), al ser la encargada de elaborar el análisis de este tipo de repercusión en el sector energético en México, se guía con la *Ley de Hidrocarburos* a este respecto, la cual indica que la entidad estatal "... deberá informar a los

Asignatarios o Contratistas sobre la presencia de grupos sociales en situación de vulnerabilidad en las áreas en que se llevarán a cabo las actividades al amparo de Asignaciones y Contratos, con el fin de que se implementen las acciones necesarias para salvaguardar sus derechos..." (H. Congreso de la Unión, 2014, art. 119; SENER, circa 2016). De esta manera, el objetivo final de dicha evaluación está directamente vinculada con encontrar la *incidencia social* o el impacto que las obras pueden traer sobre los pueblos o comunidades según el *Convenio 169 sobre los pueblos indígenas y tribales* (GM, 1990).

Así, la metodología de Evaluación de Impacto Social (EVIS) permite identificar la repercusión del Aeropuerto en la región biológico-social donde se construyó, afectaciones dentro de las que se encuentran el nivel de decibeles que provocarán las turbinas; la fauna aérea propia de los lagos que se verá afectada por la presencia de los vuelos; el estrés hídrico que se generará en la cuenca por la demanda de agua potable; el incremento del caudal de las aguas usadas; los residuos sólidos inorgánicos, particularmente de alimentos empaquetados; la presión sobre el cambio de uso de suelo de agrícola a urbano, sobre todo para la construcción de vivienda; creación de empleos directos e indirectos; movilización de personas y mercancías del centro del país; entre otros muchos.

De ahí que el cuestionamiento más importante sobre la construcción de la infraestructura aeroportuaria versa sobre: ¿cuáles son los impactos socioambientales que se presentarán durante la construcción y puesta en marcha del Aeropuerto Internacional Felipe Ángeles (AIFA)? Muchos serán, y todos de gran importancia, sin embargo, la presente investigación se guio bajo el supuesto de que la mayor afectación que traerá consigo su edificación se encuentra vinculada con la disponibilidad de agua para su operación. El supuesto se basa en la lucha del Frente de Pueblos Originarios en Defensa del Agua (FPODA), que lleva años denunciando el estrés hídrico e impulsando una nueva *Ley General de Aguas*. Por ello, el objetivo del presente artículo es valorar los impactos socioambientales que se presentarán en la región que conformará el Aeropuerto.

La metodología por emplear se basó en la EVIS para obras y proyectos, tanto públicos como privados, la cual involucra la formación de la línea base, la delimitación del área total de impacto, la definición de las áreas núcleo, de impacto directo (AID) e indirecto (All), así como la identificación de repercusiones y su valoración, procedimiento determinado por las *Disposiciones administrativas de carácter general sobre evaluación de impacto social en el sector energético*, las cuales permitieron definir la metodología de evaluación del presente artículo (SENER, circa 2016; IAIA, 2015; Espinosa-Castillo, 2020).

Así, se elaboró la línea base de los municipios involucrados en la zona de estudio, la cual consistió en identificar las características sociales, educativas, de salud, geográficas y económicas de las unidades administrativas locales que forman las áreas núcleo, AID y All. La primera corresponde al equipamiento e infraestructura del Aeropuerto, en tanto que la de impacto directo es la de los territorios de los municipios (12) con colindancia directa al área núcleo y la de influencia indirecta (28), la superficie impactada por su comunicación (biológica, vial y movilidad). Así, la delimitación de las AID y All se determinó a partir de la ubicación de los municipios impactados por su conurbación al AIFA, afectación a partir de su localización en el sistema de cuencas, vialidades y comunicaciones con otras entidades municipales y la distancia de las zonas urbanas. Estos aspectos se precisan de la siguiente manera.

- Identificación de los municipios de los estados de México e Hidalgo localizados dentro del espectro de impacto hidrológico de la cuenca.
- Ubicación del sistema de cuencas y subcuencas hidrológicas a las que afectaría la obra.
- Detección de las vialidades primarias que permiten la conexión y movilidad en el polígono de impacto.
- Consideración de la dinámica socio-espacial y económica que comparten los municipios.

Se realizó una revisión hemerográfica de 207 diarios nacionales y locales, de marzo del 2018 a

marzo del 2022, en los que se identificaron los impactos positivos y negativos, a criterio de los medios de comunicación analizados. Posteriormente, se organizó y graficó la cantidad de estos que generaría el AIFA. De esta manera, se obtuvieron las principales repercusiones socioambientales en torno a la instalación del Aeropuerto. Además, se empleó la técnica de grupos focales para identificar aquellas que los pobladores reconocen. Cabe aclarar que durante la investigación de campo se presentaron limitaciones a consecuencia de la emergencia sanitaria por COVID-19 que obstaculizaron consultar a la población afectada y se decidió hacer una búsqueda hemerográfica del tema. Por último, sobre esos impactos detectados se aplicó una matriz de valoración que permitió *estimar cualitativamente* los más relevantes.

## Sobre la línea base

El Aeropuerto Internacional Felipe Ángeles es una obra de equipamiento aeroportuario planeado para la Ciudad de México (CDMX). Se alza al norte de la ZMCM, en los terrenos que nacieron de los desecados lagos de Xaltocan y Zumpango, y ampliando el espacio aéreo de lo que fue el aeropuerto de la base militar de Santa Lucía, la cual estaba en funcionamiento y bajo responsabilidad del servicio militar nacional.

A partir del 2000, la política pública nacional y estatal se condujo hacia la apertura de los servicios públicos al mercado privado. La planeación territorial y el desarrollo de vivienda fueron una de esas funciones cedidas. La liberalización de la construcción de la vivienda popular, otrora controlada por el Estado, se dirigió al capital privado, y entonces tuvo prioridad, desde la Federación, ofertar aquella construida por inmobiliarias en sitios cercanos a la CDMX, pero dentro del estado de México; así, desde el 2005, se observó un crecimiento acelerado de la población y vivienda en municipios como: Acolman, Ecatepec, Tecámac y Zumpango (Espinosa-Castillo, 2014).

Aunado a lo anterior, para el 2007, una de las políticas de desarrollo en el estado de México fue

la *Estrategia de las ciudades bicentenario*, la cual pretendía orientar el desarrollo de urbes integralmente planeadas, definiendo una cualidad competitiva en cada una de ellas, que se determinaría por el valor que se les agregaría; algunas serían ciudades industriales, de tecnologías y otras de viviendas (GEM-Ayto. Tecámac, 2007; Germán, O., 2007; Herrera, 2008).

Entre los municipios que se consideraron para construir *ciudades bicentenario* se encuentran: Almoloya de Juárez, Atlacomulco, Jilotepec, Huehuetoca, Zumpango y Tecámac. Estos últimos dos fueron considerados entidades municipales con ciudades para vivienda; así, se planeó la construcción de 266 300 viviendas, para el 2020, que definió el crecimiento poblacional de 827 958 habitantes: 280 455 en Zumpango y 547 503 en Tecámac (Espinosa-Castillo, 2014; INEGI, 2020a).

De esta manera, para enero del 2019, cuando inició la construcción del AIFA, la región se encontraba muy presionada por el reciente desarrollo inmobiliario que no solo implicó más viviendas y gente, sino la necesidad de más servicios y equipamientos que demandaba la población residente de los últimos años. Alumbrado, seguridad pública, panteones, recolección de residuos sólidos y agua potable son situaciones que los municipios tuvieron que enfrentar al estar a su cargo normativamente, además del conflicto cultural que generó este crecimiento poblacional entre los pobladores originarios, de Tecámac en particular (Espinosa-Castillo y Gamallo, 2021), y los recién llegados. Cabe señalar que este choque se observó desde el momento en que se edificaron unidades habitacionales en toda la región con las *ciudades bicentenario*.

Por otro lado, los municipios de Tecámac y Zumpango se encuentran interrelacionados por la vialidad regional del Circuito Mexiquense que, a su vez, conecta con las autopistas de Puebla y Querétaro; así, las vialidades ampliaron las interconexiones regionales.

Además, estas entidades municipales poseían una "... amplia reserva territorial de suelo agrícola

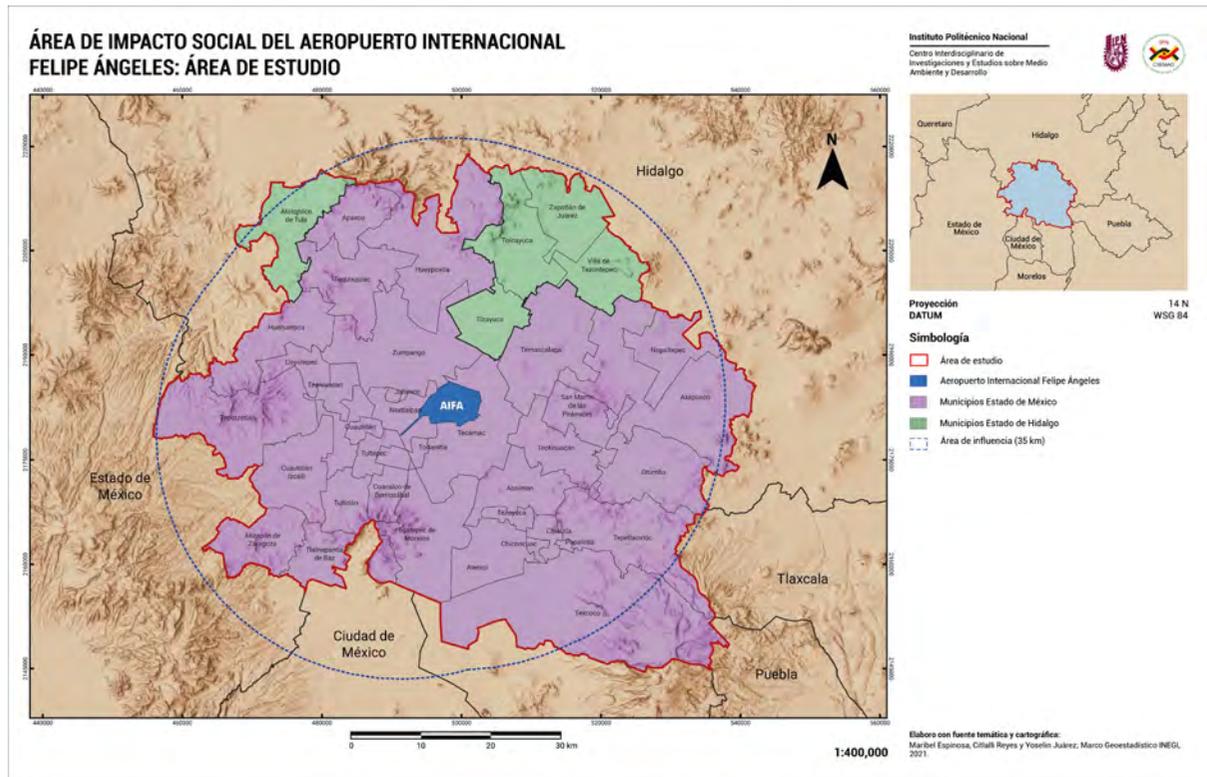
la susceptible de ser transformada en suelo urbano..." (Espinosa-Castillo, 2014), el cual se ocuparía en la construcción del AIFA, y que sobre ella se observarían los impactos previstos en el presente estudio.

El AIFA se asienta sobre la cuenca de México, en el acuífero Cuautitlán-Pachuca e impactará las subcuencas de Texcoco, Toxac-Tecocomulco y de los ríos Salado y Cuautitlán. El polígono del Aeropuerto podría impactar a un radio de 35 km lineales hacia sus cuatro puntos cardinales, a partir del límite de las subcuencas que podrían verse afectadas. Se extiende linealmente al norte 33 km, este 38 km, sur 32 km y oeste 37 km (ver mapa 1).

De acuerdo con la metodología propuesta por las *Disposiciones administrativas de carácter general sobre evaluación de impacto social en el sector energético* (SENER, 2018), el área núcleo corresponde a los 18 km<sup>2</sup>, en la superficie territorial donde se construyó la infraestructura básica del Aeropuerto; el AID corresponde a los municipios vinculados de manera territorial con el de Zumpango por vialidad y comunicaciones, 12 unidades administrativas, todas del estado de México; y el All, 28 unidades administrativas, 23 del estado de México y cinco de Hidalgo.

En el AID se encuentran: Zumpango, Tecámac, Tonanitla, Nextlalpan, Jaltenco, Cuautitlán, Teoloyucan, Coyotepec, Huehuetoca, Tizayuca, Hueypoxtla y Tequixquiác. Su población al 2020 ascendía a 1 631 123 habitantes (INEGI, 2020a). Algunos municipios de esta área todavía viven de actividades agropecuarias y con una relativa tranquilidad en su dinámica interna.

El All está formada por 28 unidades administrativas, que corresponden a los estados de México e Hidalgo, identificadas particularmente por su localización dentro del sistema hidrológico que se verá impactado por la obra; entre estas aparecen: Apaxco, Tultitlán, Papalotla, San Martín de las Pirámides, Texcoco, Tultepec, Cuautitlán Izcalli, Acolman, Atenco, Atizapán de Zaragoza, Axapusco, Chiautla, Chiconcuac, Tlalnepantla de Baz, Ecatepec de Mo-



relas, Melchor Ocampo, Otumba, Temascalapa, Teotihuacan, Tepetlaoxtoc, Tezoyuca, Coacalco de Berriozábal, Atotonilco de Tula, Tolcayuca, Villa de Tezontepec, Zapotlán de Juárez, Nopaltepec y Tepetzotlán. Su población al 2020 era de 5 552 799 habitantes con características diversas (INEGI, 2020a), pero sobre todo por ser urbana, con todavía actividades agropecuarias, conurbada al norte de la Ciudad de México.

### Caracterización del área núcleo

El nuevo Aeropuerto Internacional Felipe Ángeles fue inaugurado el 21 de marzo de 2022, localizado en la carretera federal Pachuca-México km 42.5, municipio de Zumpango de Ocampo, México (Google maps, 2022), en las coordenadas latitud norte 19° 44' 59.51" y longitud oeste 99° 00' 41.14", UTM 14 norte, en un radio de 35 km promedio. El Aeropuerto contempla un total de 3 756 ha distri-

buidas en 2 331 ha de la construcción del inmueble y 1 425 ha como superficie de amortiguamiento acústico, de seguridad y crecimiento de este (GM, Plan Maestro, 2018).

El proyecto incluye dos pistas (de despegue y aterrizaje, con 33 posiciones de ascenso y descenso), cuatro edificios terminales con estacionamiento en cada uno, inmueble de servicios, torre de control, hangares de mantenimiento y de reposición, los servicios aeroportuarios propios de una terminal, una base aérea con 470 ha, terminal de tren (suburbano), área urbanizable de uso mixto con 62 ha, plantas de tratamiento de aguas residuales y residuos sólidos, áreas de ampliación (AISL, 2018; SEDENA-UNAM, 2019) y una ciudad militar que funge como urbe aeroportuaria; y para este conjunto, cuatro accesos: A, entronque Circuito Exterior Mexiquense (CEM)-AIFA; B, de carga; C, entronque este; y D, instalaciones militares. El primero y principal será el entronque con el CEM, el

cual conecta directamente a la terminal de pasajeros y el puente de interconexión vehicular Xaltocan-Nextlalpan (GM-SEDENA, 2022; GM, 2022).

El Aeropuerto fue concebido por el arquitecto Francisco González Pulido y construido bajo dirección militar (Carrillo, 2022). El diseño aeroportuario buscó la integración a su entorno, respetando los elementos existentes, como la hacienda de Santa Lucía y la Ciudad Militar, generando un concepto donde convergen el aeropuerto y la base aérea militar. Es una obra que rescata conceptos e íconos culturales de lo mexicano; sus interiores espacios recuperan la memoria de culturas prehispánicas y periodos históricos.

Las áreas núcleo y de impactos directo e indirecto del Aeropuerto se muestran en el mapa 2.

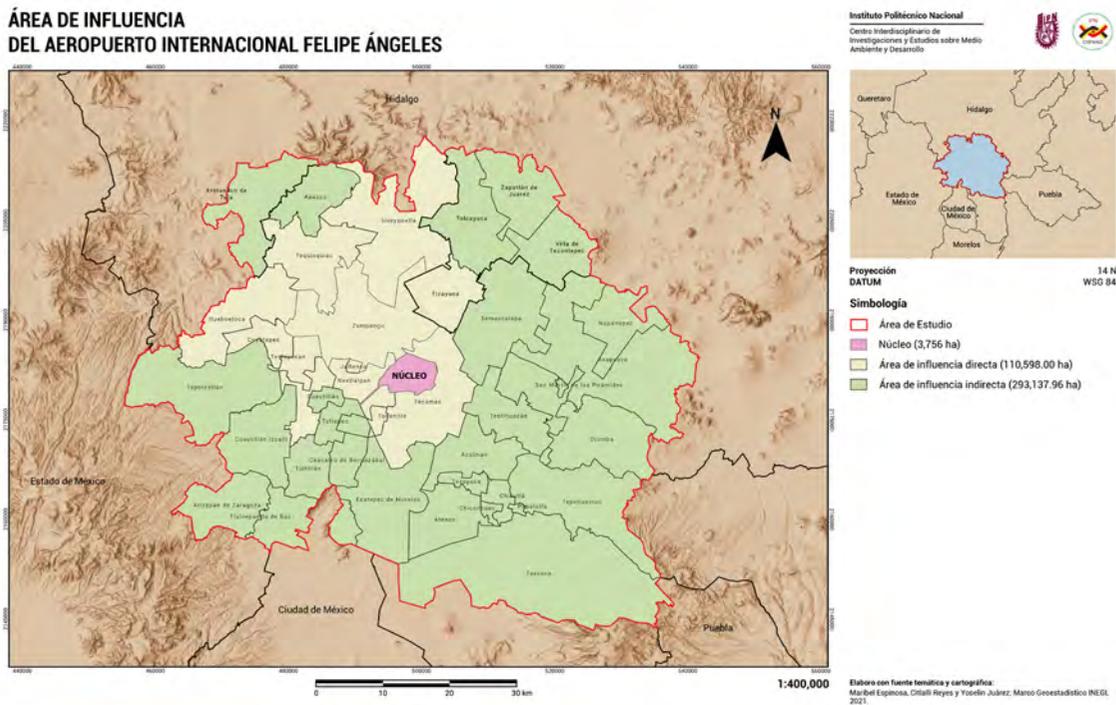
## Caracterización del AID

Sobre esta área, para el 2021, Tecámac, Zumpango y Cuautitlán contaban con la mayor cantidad de

población: 547 503 habitantes (280 455 y 178 847, respectivamente); por su comunicación con el AIFA, Zumpango y Tecámac son los que se verán más afectados en su movilidad por su cercanía territorial. Por su parte, Jaltenco y Tonanitla son los municipios con menor población de todos los del AID, contando con 28 217 y 14 883 habitantes, en ese orden. De estos, Jaltenco es un municipio con poca población, tiene la mayor densidad poblacional del AID (6 016.79 hab./km<sup>2</sup>) debido a su reducida extensión territorial y no se prevé mayor impacto inmobiliario. Sin embargo, Tonanitla destaca como territorio con posibilidades de promoción de viviendas (INEGI, 2020a).

Al hacer el análisis de la pirámide de edades de las entidades municipales que se verán impactadas por el AIFA en el AID, se encontró que municipios como Nextlalpan, Tonanitla y Tizayuca también observan crecimientos similares en su estructura por rangos etarios, donde sobresalen las cohortes de 10 a 15 años y de 35 a 44 años como mayor población en edad económicamente activa.

Mapa 2



Sobre las viviendas en el AID, destaca que el promedio de ocupantes es de 3.69 personas; esta tendencia se observa sobre todo en municipios impactados con promoción inmobiliaria (como Tecámac, Zumpango y Huehuetoca), donde las viviendas se multiplicaron desde el 2000. Pero en otras entidades municipales más rurales (por ejemplo, Teoloyucan, Coyotepec y Hueyopxtla) superan este promedio, llegando hasta cuatro las personas dentro de una vivienda.

Acerca de los servicios públicos en viviendas, se encontró que Hueyopxtla, Coyotepec y Tequixquiac son los municipios con menos porcentaje de red de agua entubada en el interior de estas, con solo 41.20, 56.40 y 57.60 %, respectivamente, siendo que los demás cuentan con más de 70 % (INEGI, 2020a). En estos tres municipios, respecto a esta falta de red de agua entubada, es donde se tiene mayor proporción de viviendas con algún sistema de almacenaje de agua. Si los sistemas de abasto para el AIFA se obtendrán de los acuíferos Cuautitlán-Pachuca, Valle del Mezquital y Actopan-Santiago de Anaya, así como del agua superficial proveniente del proyecto Tecolutla-Necaxa (SEDATU-Edo.Méx.-Gobierno de Hidalgo, 2020, p. 97), al norte del área de impacto directo, entonces existe una probabilidad de que esas entidades municipales, cercanas al Aeropuerto, no se verán afectadas por la disponibilidad del vital líquido.

Cabe agregar que Zumpango, Tecámac y Nextlalpan se verán seriamente afectados por su cercanía al Aeropuerto, además de considerar la demanda de agua al interior de los municipios. Zumpango señala que maneja 24 pozos distribuidos en todo el territorio (SEDATU-Edo.Méx., 2022); Tecámac, 73 (GEM-Ayto. Tecámac, 2007); y Nextlalpan, 12 (GEM-Nextlalpan, 2020); sin considerar los pozos que administran los sistemas comunitarios de agua potable y saneamiento.

La población de los municipios del AID tiene, en promedio, una tasa de alfabetización de 97.08 %, indicando que la mayor parte sabe leer y escribir. Sin embargo, el promedio de instrucción se encuentra en 29.78 % con media superior y 17.84 % superior

(INEGI, 2020a). Esto es relevante en el sentido de poder comprender, ser sensible y hacer visibles los impactos socioambientales que trae consigo la obra del Aeropuerto.

Destaca que el medio de transporte más ocupado dentro de la mayoría de los municipios es el automóvil o la camioneta, con un promedio de 41.29 % de viviendas que dispone de este bien. El caso de Nextlalpan sobresale, ya que en este corre el acceso A, entronque con el CEM (GM-SEDENA, 2022), y se requerirá un mayor análisis acerca de sus vialidades y movilidad.

## Caracterización del AII

Para el análisis del impacto indirecto, se tomó la decisión de regionalizar el polígono a partir de las vialidades y de la dinámica económica y urbana de los municipios metropolitanos conurbados a la Ciudad de México.

A partir del estudio regional, se identificó que el municipio con mayor población es Ecatepec de Morelos con 1 645 352 habitantes (INEGI, 2020a), que al mismo tiempo es el que presentó mayor densidad poblacional con 10 534 hab./km<sup>2</sup> y es la entidad municipal con mayores problemas de abasto de agua potable. De haber impactos en la cuenca de México por la construcción del AIFA, sería el más afectado, ya que, desde el 2020, la V zona de Ecatepec vive sin agua (Lázaro, 2020).

En todos los municipios, la población observa una constante disminución de nacimientos en su cohorte de 0-4 años, procesos de movilidad entre los 20-30 años y una disminución de habitantes con el incremento de la edad. Respecto a la población, destacan también Tultepec y Melchor Ocampo con un incremento en la cohorte de 35 a 49 años. Este crecimiento poblacional podría estar relacionado por los procesos de migración en toda la región. En Atotonilco de Tula se observan altas proporciones de inmigración de hasta 31 %, donde destaca la pérdida de población en la cohorte de 20 a 30 años. En cuanto a la natalidad, hay una tendencia

de tener el primer hijo a la edad de 25 años y no rebasa la cantidad de dos en ningún grupo de edad (INEGI, 2020a). La tendencia de tener dos hijos está definiendo la estructura generacional de las familias en la región y el país.

En el indicador de instrucción básica, el rango es de 32.30 a 61.10 %, siendo que el municipio que registró mayor proporción de este nivel es Villa de Tezontepec con 61.10 % y con el de menor valor, Coacalco con 32.30 por ciento. En la superior es de 11.80 a 33.10 %, siendo que donde se presentó mayor proporción de esta es en Cuautitlán Izcalli con 33.10 %, mientras que en Villa de Tezontepec fue la menor con 11.80 % (INEGI, 2020a). De esta manera se precisa que los municipios rurales tienen porcentajes altos de instrucción básica, en tanto que en los más urbanizados cuentan con mayor población con educación superior. Es destacable que los pobladores rurales, con mayor instrucción básica, pero con menor de la superior, sean de los que se encontró mayor evidencia de que se organizan en los comités y consejos por la defensa del agua (Castillo y Hernández, 2020).

Los servicios urbanos básicos están cubiertos en un promedio de 99.11 %, según datos del INEGI (2020a), al que corresponde el de electricidad en 99.67 %, drenaje 98.61 % y disponibilidad de excusado 99.05 por ciento. Referente a la disponibilidad de agua entubada, estos municipios tienen una proporción superior de cobertura a la de los del AID con un promedio de 72.10 %, donde sobresale Coacalco de Berriozábal con 98.60 % y el valor más bajo corresponde a Tezoyuca con 42 %; esta última entidad municipal puede verse afectada por la carencia de agua con la llegada del AIFA. Así, algunos de los municipios más cercanos al Aeropuerto tienen coberturas más bajas de red de suministro de agua que los más alejados.

En materia de movilidad, se pueden diferenciar zonas más urbanas que rurales, teniendo como principal fundamento el mayor uso de carro o camioneta como característica de las primeras y el de bicicleta de las segundas. En ese sentido, Tlalnepantla de Baz tiene la mayor proporción de carro o camioneta por vivienda con 84.84 %, mientras que

Chiconcuac, la de bicicletas como medio de transporte con 83.36 por ciento. Tlalnepantla pertenece a una dinámica económica vinculada con la zona industrial del poniente del área conurbada y Chiconcuac obedece a una con menor desplazamiento humano y vehicular.

En toda el All están registrados 3 453 219 vehículos de motor, donde destacan Ecatepec, Tlalnepantla de Baz y Cuautitlán Izcalli, teniendo el primero 1 146 936; el segundo, 576 355; y el tercero, 372 260. Entre los tres hay 2 095 551 vehículos de motor (INEGI, 2020a). Esto evidencia que la mayor carga de circulación vehicular se encuentra al sur de la región de impacto del AIFA y es poco probable la concurrencia en las cercanías de este. En esa misma perspectiva, en la zona norte del All destaca una pérdida de vehículos en los municipios que pertenecen al estado de Hidalgo, entre ellos: Atonilco de Tula, Tolcayuca, Villa de Tezontepec y Zapotlán de Juárez, región que no se verá comprometida en la movilidad del área de estudio.

## **Impactos socioambientales presentes en el entorno del AIFA**

En el periodo de estudio se realizó un análisis hemerográfico de las repercusiones o temas de trascendencia de marzo del 2018 a marzo del 2022. Se contabilizaron 276 menciones, 74 positivas y 202 negativas, en 207 notas periodísticas publicadas en medios de comunicación, tanto en prensa local como nacional. De estas destacan: la extracción de agua, la ampliación de infraestructura vial y de transporte, pérdidas económicas por la construcción del Aeropuerto, avances del proyecto aeroportuario, pérdida de flora y fauna regional, ineficiencia operativa técnica y saturación aérea del AICM, así como la falta de capital para terminar la obra.

A partir de estas noticias se corroboró que ha existido una permanente comunicación de medios acerca de las implicaciones del Aeropuerto, sin argumentar datos objetivos sobre la obra en la mayoría de los casos. Así, las menciones e impactos negati-

vos en relación con la construcción del AIFA fueron constantes; muchas de ellas no consideraron la información plasmada en la *Manifestación de impacto ambiental*, solo se presentaban con datos parciales o con posturas personales sobre la viabilidad de obra.

Una valoración acerca de las repercusiones positivas y negativas resultó en que las segundas fueron: crecimiento de la zona urbana (donde se incluye vivienda, transporte, vialidad y equipamiento), al norte de la ZMCM; afectación al medio físico, ya que el desarrollo urbano va depredando el área natural (fauna, mantos freáticos y atmósfera); y pérdida de tranquilidad en la dinámica de la localidad de la región, lo cual se expresa en cambios en el estilo de vida de la población. Dentro de las positivas más destacadas o significativas se identificaron: construcción de infraestructura vial y transporte, la ampliación del equipamiento urbano regional, mejoramiento de la imagen urbana y creación de empleos dentro del AIFA y los creados originados indirectamente. De esta manera, el im-

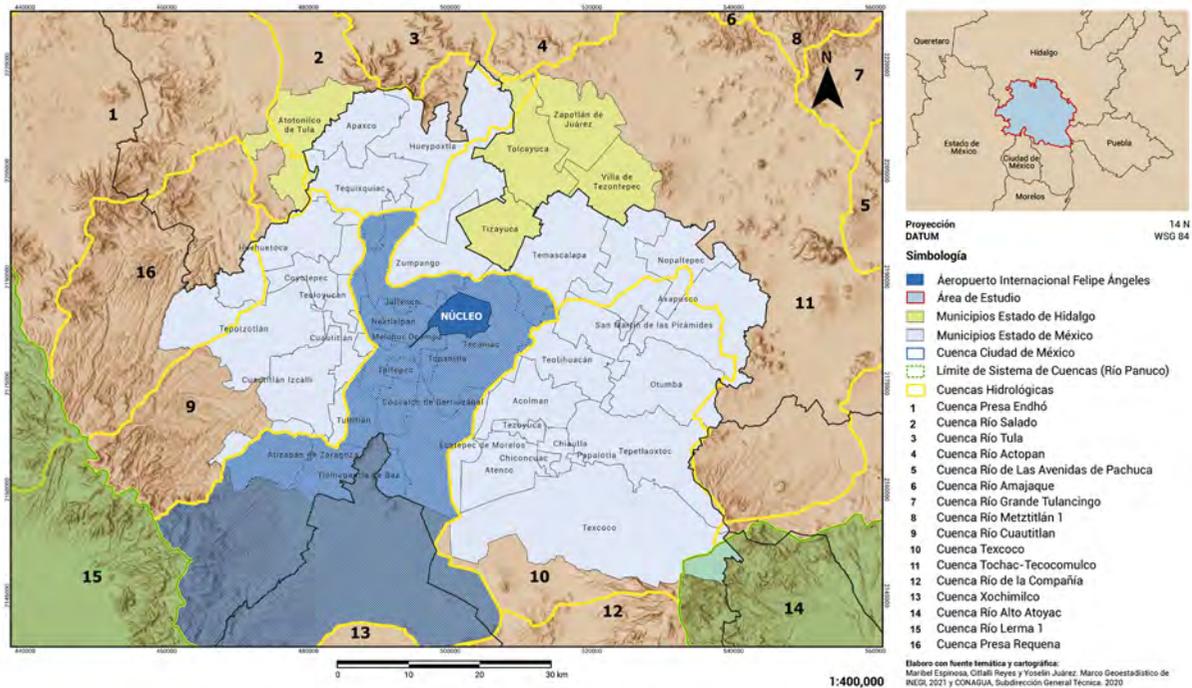
pacto más enunciado fue de carácter ambiental: los más importantes durante los cuatro años han sido la extracción de agua con 32 menciones; pérdida de superficies naturales, flora y fauna regional; y la generación de residuos sólidos.

El referente a la carencia de agua y las repercusiones de su extracción excesiva es lo más preocupante, ya que esta impactará en la salud de los mantos freáticos, de por sí diagnosticados con estrés hídrico, que a su vez incidirá en la masa forestal, las áreas verdes y, en consecuencia, en la salud y calidad de vida de la población de la zona impactada por el AIFA. La cuenca donde se asentó el Aeropuerto es la de México, sin embargo, también se verán afectadas aquellas que lo circundan, entre ellas, la de Texcoco y Toxac-Tecocomulco, así como las de los ríos Salado y Cuautitlán (ver mapa 3).

La *Manifestación de impacto ambiental* para el AIFA estima un requerimiento de 6 mil m<sup>3</sup>/d (70 l/s), recurso solo estimado para pasajeros. Esta si-

Mapa 3

**CUENCAS HIDROLÓGICAS QUE CONFLUYEN EN EL ÁREA DE IMPACTO DEL AEROPUERTO INTERNACIONAL FELIPE ÁNGELES**



tuación refrenda el estrés hídrico que ya se padece en la cuenca y que es reconocido como el segundo impacto negativo o adverso al señalar que "... es el uso de aguas del acuífero para la operación del proyecto [...] un impacto adverso para los usos que se le podría dar a ese caudal durante la vida útil del proyecto, poniendo en riesgo el sobreexplotado acuífero para dotar de agua a la población circundante..." (SEDENA-UNAM, 2019, p. 650). El déficit actual es de -10 489.10 l/s en el acuífero Cuautitlán-Pachuca, con una demanda futura de 7 876.8 l/s (SEDATU, 2020, p. 97). Frente a esto, se estima obtener el agua para riego de áreas verdes a través de una planta de tratamiento proyectada mediante un sistema biológico con una capacidad de 4 500 m<sup>3</sup>/d (52 l/s) (SEDENA-UNAM, 2019, p. 80).

Ricardo Ovando Ramírez, integrante del Sistema Comunitario de Agua Potable de Tecámac, comenta sobre el estrés hídrico en la región lo siguiente:

"Yo creo que sí, yo creo que el gran cambio va a ser cuando [...] suceda un infarto hídrico y la gente tenga que migrar forzosamente, es lo que yo veo en un futuro a lo mejor a mediano plazo. ¿Y cuánto es mediano plazo? —se le preguntó— Estaríamos hablando de a mediados de este siglo, unos 30 años, más o menos. [...] En el 2002 había un déficit de -40 millones de metros cúbicos de agua en el acuífero Cuautitlán-Pachuca, ya para enero del 2018, de acuerdo a los mismos datos oficiales que están en el Diario Oficial de la Federación, y son documentos públicos, ya hay un déficit de 106 millones de metros cúbicos, y nosotros decíamos: '¡Ah chinga, pues eso es un chorro de agua!' [...] y cuando nos citaron en Gobernación, porque hicimos muchísimo ruido, tuvimos reuniones en Gobernación federal, y ya nos dijeron: 'Miren, ustedes no tiene nada de qué preocuparse, ya sabemos que el acuífero está sobreexplotado, pero miren muchachos vamos a traer nuestra base de agua de aquí y allá' [...] y en una ocasión dijimos: 'Bueno, suponiendo, ustedes nos garantizan que se va a parar la mancha urbana en Tecámac y Zumpango, en toda esa zona, y

nosotros dejamos de hacerla de jamón por el aeropuerto.' —a lo que respondieron— 'No, pues es que eso no se puede, mira es que el gobierno estatal es soberano y el gobierno municipal es libre en México, y ellos tiene la facultad de los cambios y uso del suelo y no podemos hacer nada', entonces dijimos entre nosotros: 'No, váyanse a la chingada, ¿no?'" (Espinosa-Castillo y Gamallo, 2021).

Otro de los problemas vinculados a la dinámica urbana de la región es la movilidad vehicular; acerca de este tema se dieron ocho menciones en la investigación hemerográfica, las noticias fueron ampliamente identificadas sobre ampliación de infraestructura vial y transporte, aumento de movilidad vehicular, demanda de rutas para conexiones aeroportuarias y de movilidad turística y comercial. Además, en el análisis cartográfico se identificó que los municipios que se verán más impactados en su movilidad serían Zumpango, que concedió el territorio, y observa un crecimiento en su demanda de suelo para vivienda; Nextlalpan, territorio municipal por el que se planeó el acceso de salida y entrada al Circuito Exterior Mexiquense y comunica con las vialidades regionales, y donde se pretende construir el Complejo Industrial T-Mex Park (Salinas, 2022); y Tecámac, que verá afectada su movilidad vehicular, pues ahí quedaron los accesos B para carga, C de entronque y D de acceso a las instalaciones militares.

Sin embargo, el impacto social más profundo es el cambio de dinámica social de una población que era periférica a la Ciudad de México, y que todavía realizaba actividades agrícolas. El Aeropuerto traerá más movilidad vehicular de personas en centros municipales, sitios comerciales, incluidos los espacios de uso militar, vialidades municipales y en la vida cotidiana de los ciudadanos de: Nextlalpan, Tecámac, Zumpango y la zona militar; la dinámica humana se alterará afectando su tranquilidad como pueblo otrora rural (Espinosa-Castillo y Gamallo, 2021).

Los grupos focales son reuniones de discusión colectiva, donde hay un moderador que coordina

las intervenciones individuales, generando una dinámica participativa, identificando disenso, acuerdo, reafirmación o complementando un tema, y destacando sus percepciones y opiniones más trascendentes (Freidin, 2016). En la realización de uno en Tecámac sobre las repercusiones que traería ahí el Aeropuerto, llevado a cabo en noviembre del 2021 con gente de la Asociación de la Escuelita del Agua de ese municipio, se encontró que, junto con la disponibilidad de agua, el incremento vehicular, la falta de puentes y la circulación de vehículos y personas serían de las principales dificultades urbanas que los vecinos señalaron provocaría el AIFA (Espinosa-Castillo y Gamallo, 2021).

Los impactos socioambientales son de diversa magnitud y con medidas de remediación específicas; por ello, una evaluación cualitativa será importante con el fin de definir cuáles tienen prioridad para ser atendidos.

## Identificación de actores de interés

En la constante crítica al proyecto del AIFA, y a la Presidencia de la República, demostrada en diversos encabezados periodísticos analizados, fue evidente la oposición de medios de comunicación y pobladores que utilizaban estos para opinar y denunciar afectaciones que traería el Aeropuerto. Diarios y páginas electrónicas —como *El Economista* (15 menciones), *Milenio* (10), *Obras por Expansión Web* (10); *A 21Mx* (nueve), entre otros— fueron recurrentes en sus opiniones sobre el Aeropuerto, y actores políticos nacionales, principalmente de los partidos Revolucionario Institucional y Acción Nacional, evidenciaban los problemas existentes y aquellos que se preveían. Sin embargo, los que tomaron medidas más allá de la difusión periodística fueron los pobladores de Tecámac y Zumpango, quienes se organizaron en torno al Frente de Pueblos Originarios en Defensa del Agua (Gamallo *et al.*, 2022) y demandaron que con el Aeropuerto se agudizaría el estrés hídrico en la cuenca Cuautitlán-Pachuca y que solo se consideró la opinión de un pueblo, Xaltocan, dejando fuera a las 19 comunidades faltantes (Camacho, 2019). Esto dejó la

incertidumbre sobre la idoneidad de la consulta ciudadana acerca de la creación del AIFA.

Algunas de las posturas de comunicación adversas al proyecto del AIFA están vinculadas a la posición política de los dueños de los medios de comunicación, en oposición al cambio de régimen que está gestando el presidente Andrés Manuel López Obrador desde el 2018. El anuncio del entonces Nuevo Aeropuerto Internacional de la Ciudad de México (NAICM), proyectado en el lago de Texcoco, no observó la diversidad de manifestaciones en contra, como las documentadas para el AIFA, a pesar de que, en ambos proyectos, las consecuencias inmediatas serían la expansión urbana inmobiliaria, el incremento de la población y la crisis o sufrimiento hídrico (Castillo y Hernández, 2020). El AIFA, así como el aeropuerto de Texcoco, obedecen a la capacidad de actores políticos (presidente de la República, senadores, diputados) de promover proyectos y obras que configuran o reconfiguran el territorio y, en consecuencia, el ambiente.

En el futuro, la política ambiental en la Ciudad de México y Zona Metropolitana podrá reflexionarse desde esta obra, y otras más que se han realizado bajo el principio de la capacidad político-económica de ciertos actores para realizarla.

## Evaluación del riesgo de los impactos socioambientales

A partir de los impactos encontrados por la construcción del AIFA, la metodología de la EVIS procede a evaluar la valoración de las repercusiones con el fin de encontrar aquellas de mayor importancia o que observan un *riesgo social* en la comunidad, lo que significa la valoración de este (IAIA, 2015). Como se indicó, de las 207 notas encontradas en la revisión hemerográfica, no todas tienen un peso social o reclamo comunitario y muchas obedecen a intereses de grupos, entre ellos, medios de comunicación nacionales, grandes empresas o actores de partidos políticos. Por ello, a partir del análisis hemerográfico, de las visitas de campo al Aeropuerto, del grupo focal realizado y

del análisis del equipo de trabajo, se identificaron 16 impactos pertinentes a considerar, de los que se procedió a valorar el riesgo, y son los siguientes:

- La extracción de agua.
- Falta futura de infraestructura vial y de transporte (puentes).
- Pérdida de flora y fauna regional o afectación al medio físico.
- Aumento de movilidad vehicular.
- Demanda de rutas de conexión terrestre al AIFA.
- Expropiación de terrenos ejidales.
- Hundimiento del suelo.
- Ineficiencia operativa por clima (nieblas invernales, torbellinos e inundación por lluvias).
- Generación de residuos sólidos.
- Inseguridad por aumento de población.
- Crecimiento del área urbana al norte de la ciudad.
- Cambios en el estilo de vida.
- Movilidad humana.
- La ampliación del equipamiento urbano regional.
- Mejoramiento de la imagen urbana.
- Creación de empleos directos e indirectos.

La evaluación del riesgo para el AIFA implica una valoración de consecuencias del impacto y una *probabilidad cualitativa* de que aquello ocurra (ver cuadro 1).

La IAIA (2015) señala que en "... la evaluación formal del riesgo, las medidas empíricas (cuantitativas) se utilizan habitualmente para determinar la asignación real de la probabilidad y de la consecuencia. No obstante, esto también puede hacerlo subjetivamente un grupo de personas que analice cada cuestión y busque más información cuando exista una incertidumbre elevada...", de ahí que la evaluación presentada aquí implicó una valoración cualitativa del equipo de trabajo.

Como se puede observar, es la extracción de agua el impacto de mayor relevancia por atender, al igual que es la preocupación más importante de los defensores del vital líquido de la región: los sistemas de agua potable de Tecámac, Ozumbilla y la Red Regional de Sistemas y Comités Comunitarios en Defensa del Agua realizaron caravanas para su defensa visualizando las implicaciones por la explotación del acuífero (Mejía, 2019; Castillo y Hernández, 2020).

Cuadro 1

### Valoración del impacto social

		1	2	3	4	5
Probabilidad	Descriptor	Insignificante	Menor	Moderado	Mayor	Catastrófico/ Excelente
A	Casi seguro		8	6	3, 4, 12, 13	1
B	Probable		7	9, 14, 15	16	
C	Posible			2, 10		
D	Improbable		5			
E	Raro					



**Nota:** el número corresponde al impacto enunciado en la lista de impactos encontrados y la posición en las casillas se refiere a la valoración de este.

**Fuente:** IAIA. *Principios de evaluación de impactos sociales*. 2015.

El abastecimiento de agua en la región se auxilia del sistema de pozos comunitarios y de los sistemas municipales en las AID y All. Como ya se indicó, el agua requerida en la actualidad se obtendría de los acuíferos Cuautitlán-Pachuca y Valle del Mezquital, y la demanda futura necesaria será cubierta por el de Actopan-Santiago de Anaya y del agua superficial proveniente del proyecto Tecolutla-Necaxa (SEDATU, 2020, p. 97). Esto afectará, en primera instancia, a la cuenca de México y, posteriormente, a la del río Salado, en particular a los municipios de Atotonilco de Tula, Apaxco, Hueypoxtla y Tequixquiac (SINA, 2022). Se debe agregar, además, que las entidades municipales del norte del área de estudio —Hueypoxtla (41.20 %), Coyotepec (56.40 %), Tequixquiac (57.60 %) y Tezoyuca (42 %)— tienen bajos porcentajes de instalación de red pública, lo cual implica que, frente al crecimiento de la demanda del acuífero, aquellos se pueden ver más afectados en la dotación del vital líquido.

Con la llegada del Aeropuerto no solo habrá una mayor movilidad y dinámica comercial y de servicios, sino más población que requerirá bienes y servicios; también, cambiará el estilo de vida de los pobladores. La dinámica humana del 2019 se perderá para los habitantes de los municipios de Tecámac, Zumpango y Nextlalpan, además de ser afectados en su entorno natural, atmosférico y de movilidad vehicular y de personas. La afectación a la flora y fauna se hizo visible, no solo con el impacto físico que tendrán aves e insectos propios de la zona, sino de mamíferos, entre ellos perros y gatos, que hacían de los llanos del desecado lago de Xaltocan su hogar (Radio Fórmula, 2022).

Si bien se crearán empleos directos, estos no están garantizados para los municipios cercanos, ya que las competencias de los empleados que un aeropuerto requiere son especiales y vinculadas a las actividades aeronáuticas y profesionales de la administración y el turismo. Por lo tanto, muchos de los trabajos en la región serán, en su mayoría, indirectos.

La creación del Aeropuerto intensificará la consolidación del suelo urbano. Si bien Tecámac está directamente interconectado con la Ciudad de Mé-

xico, vía la carretera libre México-Pachuca o la autopista, las áreas de uso agrícola, todavía productivas, tendrán una fuerte presión para cambiar su uso de suelo al de urbano. Como se refirió en el análisis de impacto directo, Tonanitla se observa como un municipio de espacio disponible y los de Nextlalpan, Tonanitla y Tizayuca, como de franco crecimiento poblacional. La consolidación de la zona urbana se dará a partir de la ampliación del equipamiento urbano regional, la oferta de vivienda cercana al AIFA y el incremento de la actividad comercial y de servicios; todo ello traerá una nueva imagen urbana de la periferia norte de la Ciudad de México.

## Conclusiones

Con la presente investigación se conceptualiza la región socioambiental formada por el área de cuencas y acuíferos, vialidades, movilidad y dinámica urbano-social alrededor del AIFA. Esta es una de las principales aportaciones que ofrecemos para el análisis territorial, además de proponer una breve metodología para el análisis de los impactos sociales.

Con el análisis y evaluación de las principales repercusiones que se presentarán en la región socioambiental que conforma el Aeropuerto Internacional Felipe Ángeles se puede concluir que su construcción traerá muchos problemas de carácter ambiental y social, entre ellos, la pérdida de flora y fauna regional o afectación del medio físico, así como la movilidad vehicular y humana. Se pudo corroborar que el supuesto de que la mayor afectación se encontraría vinculado con la disponibilidad de agua para la operación del Aeropuerto fue certero.

Respecto al cambio de uso de suelo, es importante considerar que la expropiación de terrenos ejidales —antes ocupados para siembra y ganadería, ahora con la construcción de infraestructura y equipamiento urbano— motivará el crecimiento del área urbana. La transición radical de una zona semirural a urbana afectará la tranquilidad y forma de vida de los pobladores, teniendo un cambio radical la imagen del lugar, no obstante, benefi-

ciendo la economía local a través de la generación de nuevos empleos y vías de comunicación.

Uno de los puntos que se requiere precisar es la dimensión territorial del presente análisis, pues partió del reconocimiento de que una acción de política hídrica trae implicaciones no solo a la comunidad donde se asienta el proyecto, sino en toda la cuenca; de ahí la delimitación del AID. De igual manera, un impacto como la movilidad puede afectar a todo el sistema de transporte alrededor del proyecto, lo que motivó delimitar el AII. Cabe señalar que la metodología utilizada permitió definir las áreas de impacto por medio del sistema de cuencas, evidenciado esto en los mapas aquí expuestos.

La población del AID es la que podría verse afectada, en primera instancia, por la llegada de más gente, crecimiento de unidades habitacionales y más vehículos. El AII puede verse afectada, particularmente, por la carencia de agua en uno de los municipios que padecen una de las mayores crisis hídricas registradas en el país: Ecatepec de Morelos. Reconocer y atender estas necesidades puede ser el inicio de una acertada política pública sobre la cuenca de México en materia de recursos hídricos.

La presente investigación representa un avance preliminar de los requerimientos de una evaluación de impacto social; lo que se pretendió fue identificar aquellas repercusiones socioambientales que se presentarán con la creación de infraestructura aeronáutica aplicando algunas herramientas de la EVIS. Esta aproximación a los problemas en la región pretende ser un apoyo para quienes toman decisiones y autoridades locales que se vean involucradas en alguno de los indicadores encontrados. Queda pendiente la elaboración de los planes de gestión de los problemas identificados para futuras investigaciones.

## Fuentes

Aeropuerto Internacional Santa Lucía (AISL). *AISL Plan Maestro + Edificio Terminal. Anteproyecto*. México, agosto de 2018 (DE) <https://n9.cl/3p9pt>, consultado el 30 junio de 2022.

Asociación Internacional para la Evaluación de Impactos (IAIA, por sus siglas en inglés). *Evaluación de impacto social: Lineamientos para la evaluación y gestión de impactos sociales de proyectos*. Traducción al español por el Banco Interamericano de Desarrollo (BID). USA, Ed. IAIA, 2015 (DE) <https://n9.cl/82nlb>, consultado el 22 de mayo de 2020.

Camacho Servín, Fernando, en: *La Jornada*. Secc. Política. México, miércoles 1 de mayo de 2019.

Carrillo, E. "El AIFA se diseñó como un auto de fórmula 1 y no como un Rolls-Royce: arquitecto del aeropuerto", en: *Forbes México*. México, 6 de enero de 2022 (DE) <https://n9.cl/t4iru>, consultado el 6 de enero de 2022.

Castillo Oropeza, Óscar A. y Jorge A. Hernández Gamboa. "Ecología política del sufrimiento hídrico", en: *Argumentos. Estudios Críticos de la Sociedad*. 24 julio de 2020 (DE) <https://n9.cl/r07gs>, consultado el 16 de enero de 2021.

Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). *Aguas subterráneas. Disponibilidad por acuíferos. Geovisor de acuíferos*. México, 2020 (DE) <https://n9.cl/so6tj>, consultado el 30 de junio de 2022.

Espinosa-Castillo, Maribel. "Megaproyecto urbano. "La ciudad bicentenario de Tecámac, México", en: *Revista Bitácora Urbano Territorial*. Vol. 24, núm. 2, julio-diciembre. Colombia, Ed. Universidad Nacional de Colombia, 2014 (DE) <https://n9.cl/4ypit>, consultado el 28 de junio de 2022.

\_\_\_\_\_. "La evaluación de impactos sociales y las metodologías cualitativas de investigación" en: Espinosa Castillo, Maribel (Coord.). *Perspectivas sobre la evaluación de impactos sociales*. México, Instituto Politécnico Nacional-Juan Pablos Editor, 2020, pp. 75-103.

Espinosa-Castillo, Maribel y Paulina Gamallo Chaine. *Grupo Focal. La Escuelita del Agua, municipio de Tecámac de Felipe Villanueva*. 20 de noviembre de 2021.

Freidin, Betina. "Revisando el uso de grupos focalizados en la investigación social", en: *Revista Latinoamericana de Metodología de las Ciencias Sociales*. Vol.6, núm. 1. Argentina, Ed. Universidad Nacional de la Plata, 2016 (DE) <https://n9.cl/4volf>, consultado el 18 de marzo de 2020.

Gamallo, Paulina, Maribel Espinosa y Cecilia Bañuelos. "Autogestión y participación comunitaria en defensa del agua: El caso de la Red de Sistemas Comunitarios y Comités en Defensa del Agua (Escuelita del Agua), México". Ciudad de Faro, Portugal, Universidad de Algarve, *IX Congreso de Estudios Rurales CER, 2022, 2022*.

Germán Olivares, Sergio Octavio (presidente constitucional del municipio de Tecámac). *Elementos para el desarrollo equilibrado en el municipio de Tecámac bajo el marco de las ciudades bicentenario*. México, Tecámac, estado de México, circa 2007.

Gobierno del Estado de México-Ayuntamiento de Tecámac (GEM-Ayto. Tecámac). Modificación del *Plan Municipal de Desarrollo Urbano de Tecámac*. Estado de México, septiembre del 2007.

Gobierno del Estado de México. Nextlalpan. (GEM-Nextlalpan). *Plan Municipal de Desarrollo Urbano del Municipio de Nextlalpan*. Estado de México, 2020 (DE) <https://n9.cl/uxc3f>, consultado el 22 de septiembre de 2022.

- GM-Secretaría de la Defensa Nacional (SEDENA). *AIFA. Construcción del Aeropuerto Internacional Felipe Ángeles*. México, 2022 (DE) <https://n9.cl/di3pc>, consultado el 15 de enero de 2022.
- GM (1990). *Decreto promulgatorio del convenio 169 sobre pueblos indígenas y tribales en países independientes. conferencia general de la Organización Internacional del Trabajo (25 de septiembre)* (DE) <https://n9.cl/gzapgq>, consultado el 20 de mayo de 2020.
- Google maps. *Vialidades. Aeropuerto Internacional Felipe Ángeles*. 2022.
- H. Congreso de la Unión. "Ley de Hidrocarburos", en: *Diario Oficial de la Federación (DOF)*. México, 11 agosto de 2014 (DE) <https://n9.cl/jjb6e>, consultado el 29 de junio de 2022.
- Herrera Yáñez, Gilberto. "Ciudades del bicentenario una propuesta de ordenamiento del territorio para tener mejores ciudades", en: *9.ª Reunión Nacional de Comisiones Consultivas Regionales del INFONAVIT*. Gobierno del Estado de México (GEM)-Secretaría de Desarrollo Urbano, octubre del 2008 (DE) <https://n9.cl/mbrq7>, consultado el 29 de junio de 2022.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). *Banco de indicadores: Demografía y sociedad 2020*. México, INEGI, 2020a (DE) <https://n9.cl/62ktvn>, consultado el 10 de septiembre de 2021.
- \_\_\_\_\_. *Hidrografía*. México, INEGI, 2010 (DE) <https://n9.cl/wc8co>, consultado en enero de 2022.
- \_\_\_\_\_. *Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas (DENUE)*. México, INEGI, 2020b (DE) <https://n9.cl/8f6o>, consultado en enero del 2021.
- \_\_\_\_\_. *Marco Geoestadístico 2021*. México, INEGI, 2022 (DE) <https://n9.cl/u4jrv>, consultado en enero de 2022.
- Lázaro, J. "Reducción al suministro de agua afecta a miles de vecinos en Ecatepec", en: *La Silla Rota*. Secc. *Metrópoli*. 19 de junio de 2020 (DE) <https://n9.cl/xnfc4>, consultado el 12 de julio de 2020.
- Mejía, Francisco. "Con caravana denuncian falta de agua por construcción de aeropuerto de Santa Lucía." en: *Diario Milenio*. México, 20 de noviembre de 2019 (DE) <https://n9.cl/ja0nl>, consultado el 29 de junio de 2022.
- Radio Fórmula Mx. "AIFA: Sacrifican a perros y gatos que viven en Santa Lucía por control de plagas" en: *Radio Fórmula Mx*. México, 4 de marzo de 2022 (DE) <https://n9.cl/cndx8>, consultado el 29 de junio de 2022.
- Salinas Cesáreo, Javier. "Inicia la construcción del complejo industrial T-Mex Park en Nextlalpan", en: *La Jornada*. México, 9 de marzo de 2022 (DE) <https://n9.cl/ib8qh>, consultado el 1 de julio de 2022.
- Secretaría de la Defensa Nacional-Escuela Militar de Ingenieros-Instituto de Ingeniería-Universidad Nacional Autónoma de México (SEDENA-UNAM). *Manifestación de impacto ambiental modalidad regional, del proyecto "Construcción de un aeropuerto mixto civil/militar con capacidad internacional en la base aérea militar No. 1 (Santa Lucía, estado de México), su interconexión con el aeropuerto Internacional de la Ciudad de México y reubicación de instalaciones militares"*. México, 2019.
- Secretaría de Desarrollo Agrario, Territorial y Urbano (SEDATU)-Estado de México (Edo.Méx.) Planeación- Desarrollo & Territorio. *Plan Municipal de Desarrollo Urbano de Zumpango*. Estado de México, 2022 (DE) <https://n9.cl/so3bfm>, consultado el 22 de septiembre de 2022.
- Secretaría de Desarrollo Agrario, Territorial y Urbano (SEDATU)-Edo.Méx.- Gobierno de Hidalgo. *Programa Territorial Operativo de la Zona Norte del Valle de México (PTOZNVMM) con énfasis en el proyecto aeroportuario de Santa Lucía. Versión síntesis*. 2020.
- Secretaría de Energía (SENER). *Estudio de impacto social EIS para el otorgamiento de una asignación. Asignación AE-0110-Cinturon Plegado Perdido-09*. México, circa 2016 (DE) <https://n9.cl/e4bfs>, consultado el 28 de junio de 2022.
- \_\_\_\_\_. "Acuerdo por el que se emiten las disposiciones administrativas de carácter general sobre evaluación de impacto social en el sector energético", en: *Diario Oficial de la Federación (DOF)*. México, 1 de junio de 2018 (DE) <https://n9.cl/5r67e>, consultado el 12 de mayo de 2020.
- Sistema Nacional de Información del Agua (SINA). *Cuencas (nacional)*. México, 2022 (DE) <https://n9.cl/unx9d>, recuperado en febrero del 2022.

## Hemerografía

Se realizó una consulta de los siguientes medios:

A21MX, 889 Noticias, A Barlovento, AD Noticias, adn40, Agencia, América Economía, Animal Político, Arena Pública, Argumentos. Estudios críticos de la sociedad, Aristegui, Arrache, ASI SUCEDE, AVA, BBC News, bnamericas, Brújula, Business Insider, Cadena Política, CANAERO, Centro Urbano, Cero Noticias, CMIC, Comunicae.com.mx, Concanaco, Consejo Consultivo del Agua, Contra Línea, Criterio, Cuestiono, desinformémonos, Diario de México, DN Data Noticias, Ecatepec. gob, e-consulta.com, EG.mx, El Ceo, El Economista, El Financiero, El Imparcial, El País, El Sol de México, El Sol de Toluca, El Universal, Estado Mayor, etcétera, Excelsior, Expansión, Expansión Política, Forbes, Forbes Política, Frontier, Gobernantes, Gobierno de México, GRIETA, Heraldos Estado de México, Imagen Digital, INFOBAE, Inmobiliare, La Izquierda Diario México, La Jornada, La Saga, La Silla Rota, Lamundi, López-Dóriga Digital, Manufactura, México Forbes, Mi México late, Milenio, Momento Financiero, MURAL, MVS NEWS, Nación 321, Noticias Pasajero7, Nuestra Zona, Obras por Expansión, Paralelo Informativo, Plana Mayor, Proceso, Publimetro, Pulso Diario de San Luis, Radio Fórmula, Real Estate, Reforma, Reportur, REPORTUR.mx, Revista Gente, Revista Transportes y Turismo, Seguridad Proambiental, Sin embargo, SIN EMBARGO, Sputnik, T21 MX, Televisa News, Voces México, WRADIO, Xataka.

# Reseña del Estratificador INEGI

Review of the  
**INEGI Stratifier**

**Víctor Alfredo Bustos y de la Tijera y Ana Miriam Romo Anaya\***

\* INEGI, [alfredo.bustos@inegi.org.mx](mailto:alfredo.bustos@inegi.org.mx) y [miriam.romo@inegi.org.mx](mailto:miriam.romo@inegi.org.mx), respectivamente.

Coloridos globos antes de su lanzamiento en el Parque Nacional de Göreme, Capadocia, Turquía/MarBom/iStock



El Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) ha buscado desarrollar alternativas que le permitan cumplir simultáneamente con, por una parte, la necesidad de preservar la privacidad de sus informantes, tanto personas físicas como morales, y por la otra, la de difundir información de México que contribuya a la toma de decisiones. El *Estratificador INEGI* representa un esfuerzo en esa dirección e ilustra una estrategia a seguir: primero, desarrollar servicios para hacer disponibles herramientas de análisis estadístico para conjuntarlas con datos que no pueden ser difundidos; segundo, limitar sus resultados a los que no ponen la confidencialidad en riesgo. Ello debe permitir al usuario decidir el tipo de análisis, los datos a ser usados y el nivel de desagregación geográfica deseado. Así, obtiene los resultados que requiere, más allá de los productos censales tradicionales, y el Instituto logra que la información reciba usos adicionales. En el caso particular del *Estratificador INEGI*, un primer conjunto de herramientas se refiere a tres procedimientos para formar grupos de unidades similares en su interior, y diferentes entre grupos. Los datos consisten en valores porcentuales de variables censales referidos a distintas desagregaciones geográficas: estatal, municipal y manzanas dentro de localidades. Un segundo conjunto está formado por gráficas y criterios numéricos para evaluar cada resultado y permitir al usuario elegir entre ejercicios alternativos de análisis. El servicio le permite exportar los resultados de todas las estratificaciones realizadas en una misma sesión, o únicamente de las seleccionadas. Estos consisten solo del listado de identificadores de las áreas geográficas involucradas y de sus correspondientes etiquetas de estrato.

**Palabras clave:** censura; confidencialidad; estratificación; censos; servicios en línea.

## Introducción

Las oficinas nacionales de estadística (ONE) han incorporado herramientas de las tecnologías de la información y la comunicación (TIC) como complemento a la información que ya se distribuía en medios impresos. Su versatilidad permite empacar

The National Institute of Statistics and Geography (INEGI) has sought to develop alternatives that allow it to simultaneously comply with, on the one hand, the need to preserve the privacy of its informants, both individual and companies, and on the other, the need to disseminate information of Mexico that contributes to decision-making. The *INEGI Stratifier* represents an effort in this direction and illustrates a strategy to be followed: first, develop services to make statistical analysis tools available to combine them with data that cannot be disseminated; second, to limit its results to those that do not put confidentiality at risk. This should allow the user to decide the type of analysis, the data to be used and the desired level of geographic disaggregation. Thus, it obtains the results it requires, beyond traditional census products, and the Institute ensures that the information receives additional uses. In the particular case of the *INEGI Stratifier*, a first set of tools refers to three procedures to form groups of similar units within each of them, and different between groups. The data consist of percentage values of census variables referring to different geographical disaggregations: state, municipal and blocks within localities. A second set consists of graphs and numerical criteria to evaluate each result and allow the user to choose between alternative analysis exercises. The service allows you to export the results of all stratifications carried out in the same session, or only those selected. These consist only of the list of identifiers of the geographical areas involved and their corresponding stratum labels.

**Key words:** censored information; confidentiality; stratification; censuses; on-line services.

volúmenes importantes de esta para hacerla accesible a través de una ventanilla única, es decir, mediante una sola interfaz de usuario que permita combinar datos correspondientes a diferentes ejercicios de captación, periodos y niveles de desagregación geográfica. Ejemplo de lo anterior lo constituye el Sistema de Información Municipal en

Bases de Datos (SIMBAD) que el INEGI puso en funcionamiento a mediados de la década de los 90 del siglo pasado.<sup>1</sup>

Sin embargo, siguiendo en esa dirección, las ONE enfrentan de distintas maneras la disyuntiva entre hacer disponible información más desagregada para fines de análisis y de toma de decisiones, por un lado, y evitar que la que corresponde a algunos individuos pueda llevar a su identificación, violando así su privacidad y el requisito de preservar la confidencialidad, por el otro. Por esta razón, se desarrollaron técnicas para anonimizar bases de datos, englobadas en cinco tipos de operaciones: generalización, supresión, anatomización, permutación y perturbación.<sup>2</sup> No obstante, su eficiencia ha sido puesta en duda recientemente,<sup>3,4</sup> en particular, a partir del advenimiento de métodos de análisis desarrollados alrededor de los *Big Data* y de la accesibilidad a múltiples bases de datos.

La anterior afirmación nos empuja a buscar estrategias alternativas para proteger la privacidad de los individuos. Además de nuevos algoritmos de anonimización, es útil explorar otras avenidas que faciliten el acceso y la explotación de los datos en poder de las ONE en apoyo a una mejor toma de decisiones. En el caso mexicano, la *Ley del Sistema Nacional de Información Estadística y Geográfica (LSNIEG)*, en su artículo 4, establece que el sistema deberá "... promover el conocimiento y uso de la información..." a efecto de coadyuvar en el desarrollo nacional, apoyando su planeación, instrumentación y seguimiento.

El INEGI ha venido actualizando los productos que, en su momento, eran distribuidos a través de

discos compactos con estos fines, como el Sistema para la Consulta de Información Censal (SCINCE). Estos, por su naturaleza, incluían bases de datos con desagregación geográfica hasta el nivel que impida la identificación de los informantes. En aquellos casos en los que esta lo amerite, la base de datos se somete a una censura que excluye valores de variables para municipios, Áreas Geoestadísticas Básicas (AGEB) o manzanas con tres o menos personas, hogares o establecimientos. Las versiones actuales en línea han preservado estas estrategias, pero en general no han incorporado salvaguardas que tomen en cuenta la aparición de nuevas tecnologías, como las ya mencionadas. Adicionalmente, y en concordancia con experiencias internacionales, el INEGI ha hecho disponibles microdatos a nivel de registro. Conforme a las prácticas tradicionales, bases de datos de encuestas por muestreo, en particular en hogares, así como muestras aleatorias de datos censales, han sido distribuidas por diversos medios. En ambos casos, la identificación de los individuos y de las viviendas ha sido removida con fines de anonimización.

Más aún, el INEGI ha puesto en servicio el denominado Laboratorio de Microdatos. Mediante este mecanismo, bases de datos censales a nivel de registro individual se ponen a disposición de usuarios e investigadores dentro de un ambiente controlado, aunque solamente para algunos temas. Los servicios del Laboratorio<sup>5</sup> y de procesamiento remoto están disponibles para funcionarios de organismos internacionales y nacionales de estadística, investigadores de instituciones académicas y estudiantes de nivel superior. En el primer caso, es necesario acudir a las instalaciones del Instituto en la Ciudad de México.<sup>6</sup> Originalmente, se ofrecían SPSS, Excel, ArcGIS, R y Stata como herramientas para procesamiento de datos.

De forma similar y siguiendo la tendencia que va desde los productos impresos a los servicios estadísticos en línea, a partir del Censo de Población

1 INEGI. *Notas, Revista Trimestral de Información y Análisis del Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática*. México, INEGI, 1998:2, pp. 55-57 (DE) <https://www.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=702825001564> consultado el 01/03/2022.

2 Eyupoglu C., M. A. Aydin, A. H. Zaim y A. Sertbas. *An Efficient Big Data Anonymization Algorithm Based on Chaos and Perturbation Techniques*. *Entropy (Basel)*. 2018 May 17; 20(5):373. doi: 10.3390/e20050373. PMID: 33265463; PMCID: PMC7512893.

3 Rocher, L., J. M. Hendrickx, & Y. A. de Montjoye. "Estimating the success of re-identifications in incomplete datasets using generative models", en: *Nat Commun*. 10, 3069, 2019 (DE) <https://doi.org/10.1038/s41467-019-10933-3>

4 European Commission. *Data Protection Working Party, Opinion 05/2014 on Anonymisation Techniques* (DE) [https://ec.europa.eu/justice/article-29/documentation/opinion-recommendation/files/2014/wp216\\_en.pdf](https://ec.europa.eu/justice/article-29/documentation/opinion-recommendation/files/2014/wp216_en.pdf)

5 Reglas de operación del Laboratorio de Microdatos: [https://sc.inegi.org.mx/repositorioNormateca/Or\\_24Mar20.pdf](https://sc.inegi.org.mx/repositorioNormateca/Or_24Mar20.pdf)

6 Existe una segunda sede del Laboratorio en el Centro de Investigación y Docencia Económicas, A. C., en Santa Fe, Ciudad de México.

ción y Vivienda (CPV) 2010,<sup>7</sup> se instrumentó una estrategia paralela consistente en el desarrollo de rutinas de análisis estadístico usando el lenguaje R. La principal motivación de este ejercicio consiste en hacer disponibles los datos de manera indirecta a través de las mencionadas rutinas, evitando que el usuario tenga acceso a estos. El usuario deberá poder seleccionar los proyectos de generación de información estadística, las variables, así como las desagregaciones geográficas que satisfagan sus requerimientos. Del mismo modo, podrá elegir rutinas de análisis de entre la gama ofrecida y solicitar estadísticas que le permitirán evaluar la calidad de los resultados. Los obtenidos así consistirán en valores estadísticos de los que no sea posible discernir la información individual; por ejemplo, la estimación de los parámetros de un modelo de regresión o el entrenamiento de un algoritmo de inteligencia artificial. El primer ejemplo, y hasta ahora el único, en esta dirección está dado por el denominado *Estratificador INEGI*.

7 Programa estadístico del INEGI.

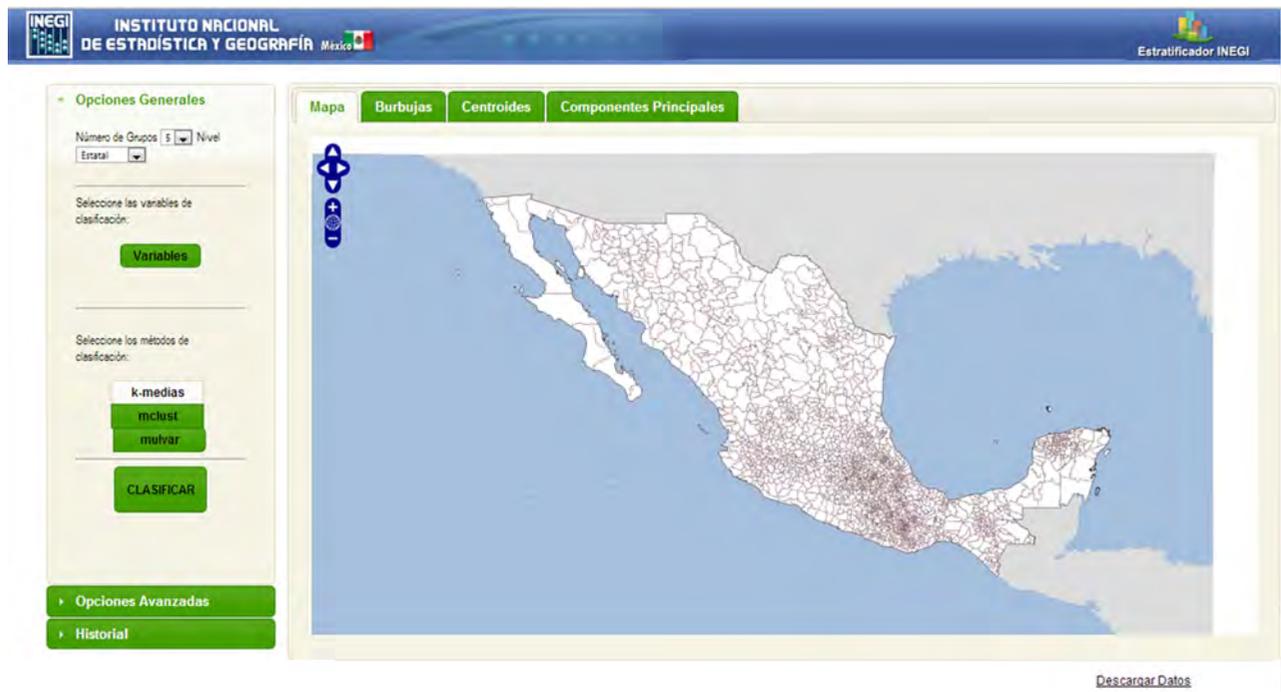
## La primera versión

A partir de la publicación de los resultados del CPV 2010 se inició el desarrollo del *Estratificador INEGI*. La pantalla de entrada al servicio publicado (ver figura 1) concedía acceso a la información censal con una desagregación geográfica hasta el nivel de municipio. El usuario podía fijar el número de grupos a formar y elegir las variables relevantes a su investigación. Seleccionaba el método de clasificación a usar de entre los tres disponibles. Los resultados se mostraban tanto en forma de mapas como de gráficas. Al finalizar la sesión, le era posible exportar archivos con su selección de resultados.

Por lo pronto, no profundizaremos sobre los anteriores temas, discusión que postergaremos al hablar de la versión actualizada. Baste mencionar el resultado del análisis de una bitácora de uso del servicio a lo largo del par de años que mediaron entre este y su actualización. A pesar de disponer solamente de una interfaz en español, se registra-

Figura 1

### Pantalla principal de la versión 1.0 del *Estratificador INEGI*



ron accesos desde más de 25 países en tres continentes (figura 2). Por supuesto, casi todos tuvieron lugar desde el territorio mexicano, con la salvedad de seis estados. Desde 22 entidades de los Estados Unidos de América (EE. UU.) se realizaron también consultas (figura 3).

El interés despertado por el servicio se reflejó en una serie de invitaciones para realizar presentaciones ante diversas instituciones gubernamentales y de educación superior, tanto públicas como privadas. A partir de lo anterior, se concluyó que la inclusión de utilerías adicionales beneficiaría a los

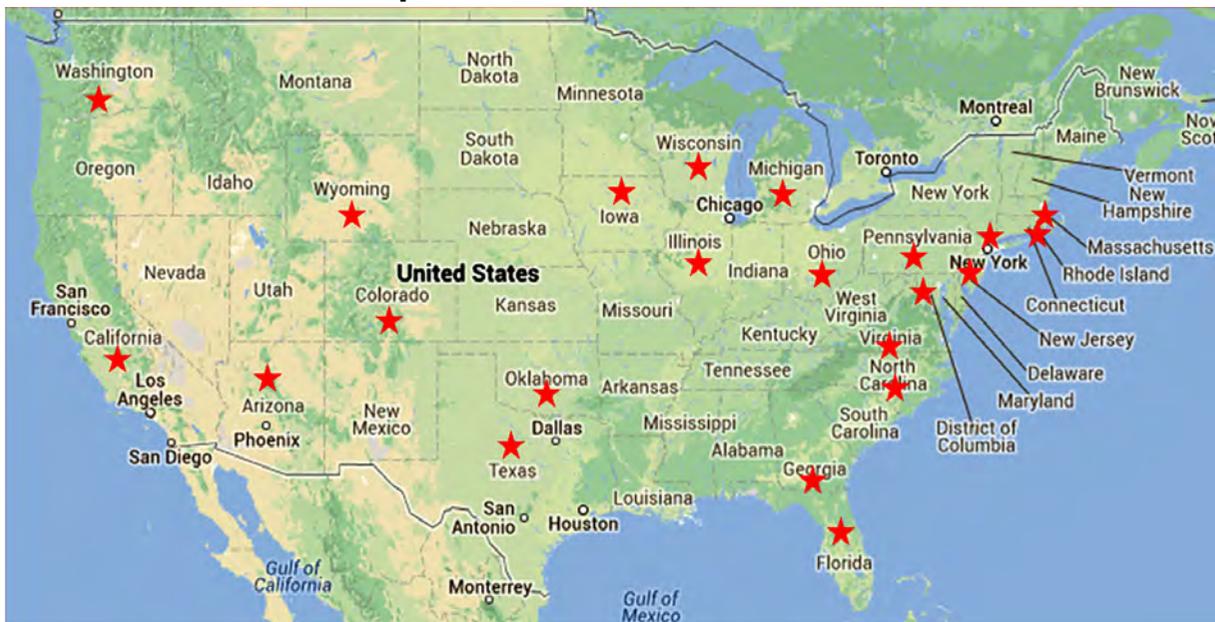
Figura 2

**Países desde los que tuvo lugar el uso de la versión 1.0 del *Estratificador INEGI***



Figura 3

**Estados de los EE. UU. en los que se hicieron consultas a la versión 1.0 del *Estratificador INEGI***



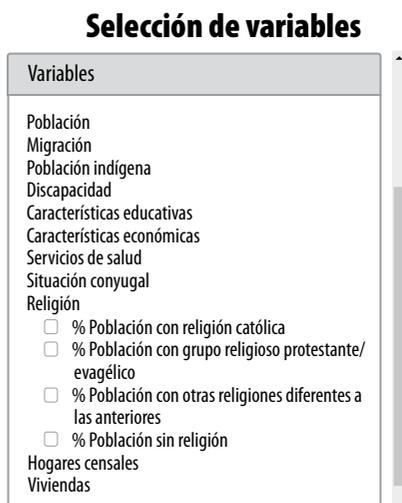
usuarios. Ello dio lugar a una versión actualizada del *Estratificador INEGI*.

## Estratificador INEGI, V. 1.1

Con base en los lineamientos anteriores, se desarrollaron diversas herramientas para cumplir con las etapas de elaboración de: consulta, análisis de la información, despliegue gráfico de resultados, cálculo de medidas de calidad y exportación de resultados.

La consulta consiste, primeramente, en la selección de las variables que entrarán en el análisis (ver figura 4). Se ofrece al usuario un listado de temas censales, cada uno de los cuales abre, a su vez, un menú de variables incluidas; todas están expresadas como porcentajes.

Figura 4

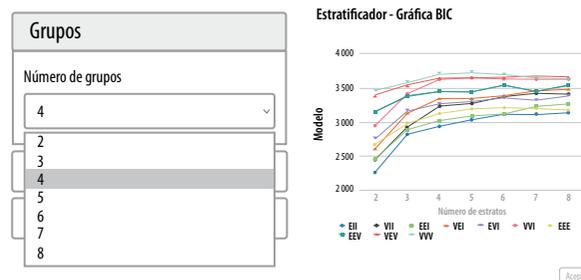


Se brinda, también, la opción de fijar de antemano el número de clases o estratos a formar. Incluido en uno de los procedimientos para realizar la agrupación de unidades, se agrega un criterio de información bayesiano que apoya la determinación de este número (ver figura 5).

En vista de que algunos ejercicios de estratificación hacen uso de transformaciones de los datos, se concede al usuario la posibilidad de aplicarlas con el fin de reproducirlos y compararlos. La primera de ellas, la estandarización, elimina las unidades de medida en los datos, lo que parece innecesario

Figura 5

## Selección del número de grupos a formar



cuando estos son representados como porcentajes; sin embargo, el Índice de Marginación del Consejo Nacional de Población (CONAPO) recurrió a esta bajo las mismas circunstancias, por lo cual la hemos conservado. El Índice se basaba, además, en la primera componente principal de los datos estandarizados, por lo que el cálculo de este y otros indicadores compuestos se ha mantenido.

Acto seguido, el usuario selecciona el nivel de desagregación geográfica para estas variables. A saber, estos son: estatal, municipal nacional, municipal restringido a un conjunto de entidades seleccionadas y manzanas dentro de localidades urbanas<sup>8</sup> (ver figura 6).

Figura 6

## Selección del nivel de desagregación geográfica a trabajar



<sup>8</sup> En una primera instrumentación, los datos a nivel de manzana no estuvieron sujetos a censura por confidencialidad.

Para el paso final, el usuario tiene a su disposición tres procedimientos de estratificación que puede usar indistintamente (ver figura 7). El primero de ellos se incluye con fines de comparación, pues en este se basó el producto impreso denominado *Niveles de bienestar en México*,<sup>9</sup> que se publicó a partir de la información del XI Censo General de Población y Vivienda 1990. El segundo es el método multivariado clásico denominado de las *k-medias*.<sup>10</sup> El tercero, incluido en librerías de R, es el denominado *mclust*,<sup>11</sup> y que está basado en un modelo para el comportamiento de los segundos momentos de la información disponible, bajo un supuesto de *gaussianidad* local a corroborar. A partir de la prueba de todos los modelos realizada por este con base en la información disponible, se sugieren tanto el número de grupos a formar como el modelo de comportamiento para los segundos momentos a ser usado.

Al finalizar la construcción de la consulta, se muestra al usuario un resumen de sus selecciones (ver figura 8). Este texto podrá ser consultado en el historial de estratificaciones, en apoyo a los ejercicios de comparación de resultados, indicando las circunstancias en que cada uno de ellos fue llevado a cabo.

9 INEGI. *Niveles de bienestar en México*. México, INEGI, 1993 (DE) <https://www.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=702825450557> consultado el 01/03/2022.

10 Hartigan, J. A. *Clustering Algorithms (Probability & Mathematical Statistics)*. John Wiley & Sons Inc., 1975.

11 *Gaussian Mixture Modelling for Model-Based Clustering, Classification, and Density Estimation* (DE) <https://cran.r-project.org/web/packages/mclust/mclust.pdf> consultado el 01/03/2022.

Figura 7

### Elección del método de estratificación

**Métodos**

Estandarizar

Componentes principales

**Métodos:**

*k-medias*

*mulvar*

*mclust*

Figura 8

### Resumen de consulta construida mediante la versión 1.1 del *Estratificador INEGI*

**Variables:**

- % Pobladores en viviendas que disponen de televisor
- % Pobladores en viviendas que disponen de refrigerador
- % Pobladores en viviendas que disponen de automóvil o camioneta

**Grupos: 4**

**Nivel de desagregación:** Nacional por municipio

**Método:** *k-medias*

## Resultados

Una vez hechas las selecciones anteriores, el sistema permite visualizar los resultados tanto en forma de mapas como de gráficas hasta en cuatro dimensiones, como se muestra en la figura 9. En el primer caso partiendo de un código de color, que va del rojo, que representa las unidades que muestran condiciones más desfavorables, hasta el verde oscuro en el otro extremo; con este es posible obtener diversos *k* mapas (figuras 10 y 11).

Se obtiene así un mosaico que permite relacionar unidades que, aunque geográficamente disjuntas, muestran condiciones similares; en otras palabras, se desfigura la noción de regiones geográficas gruesas que parecieran ser homogéneas, para dar lugar a tantos *archipiélagos* como grupos se hayan formado, cuyos integrantes se encuentran repartidos a lo largo y ancho del territorio nacional, o de la región seleccionada.

Manteniendo el mencionado código de color, también es posible desplegar gráficas de globos en planos definidos por dos variables (ver figura 12). Adicionalmente, se pueden incorporar datos relativos al valor de una tercera variable, que dará un mayor o menor volumen al globo. Cada globo se referirá a una unidad geográfica y mostrará el color de la clase a la que esta pertenece, complementando la información de las variables hasta ahora consideradas con una cuarta fuente de información.

Figura 9

### Pantalla resumen de resultados de la versión 1.1 del *Estratificador INEGI*

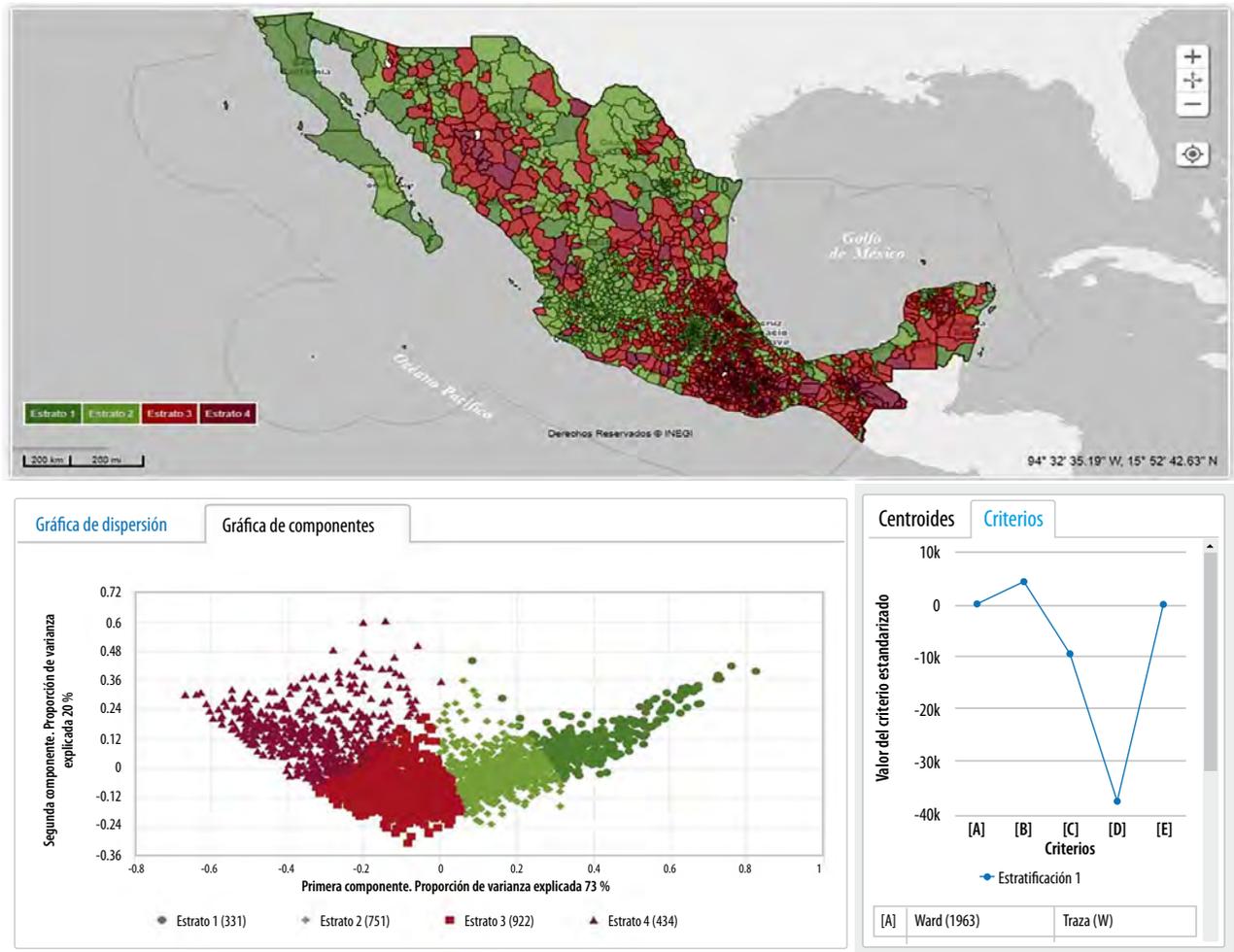


Figura 10

### Ejemplo de estratificación nacional por municipio

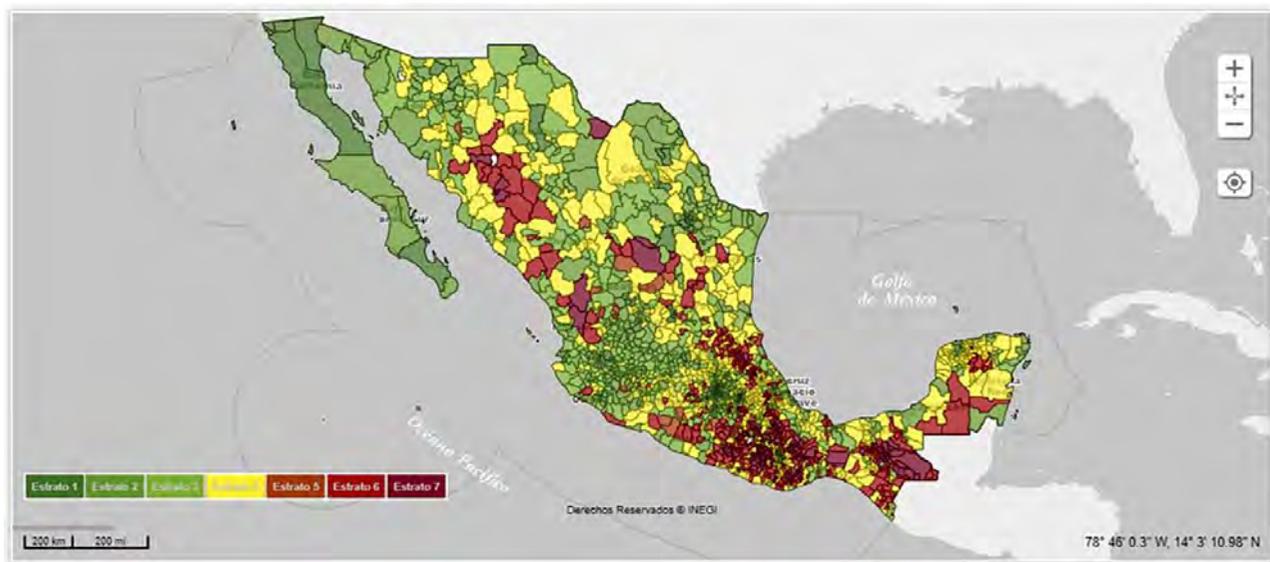


Figura 11

### Ejemplo de estratificación regional por municipio

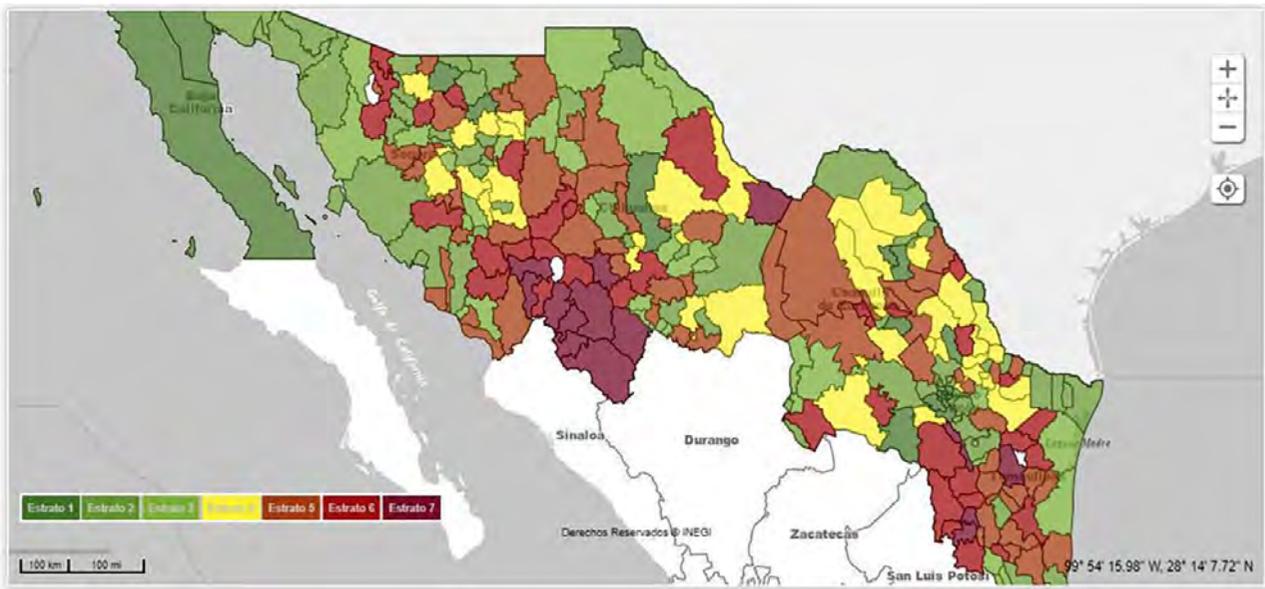
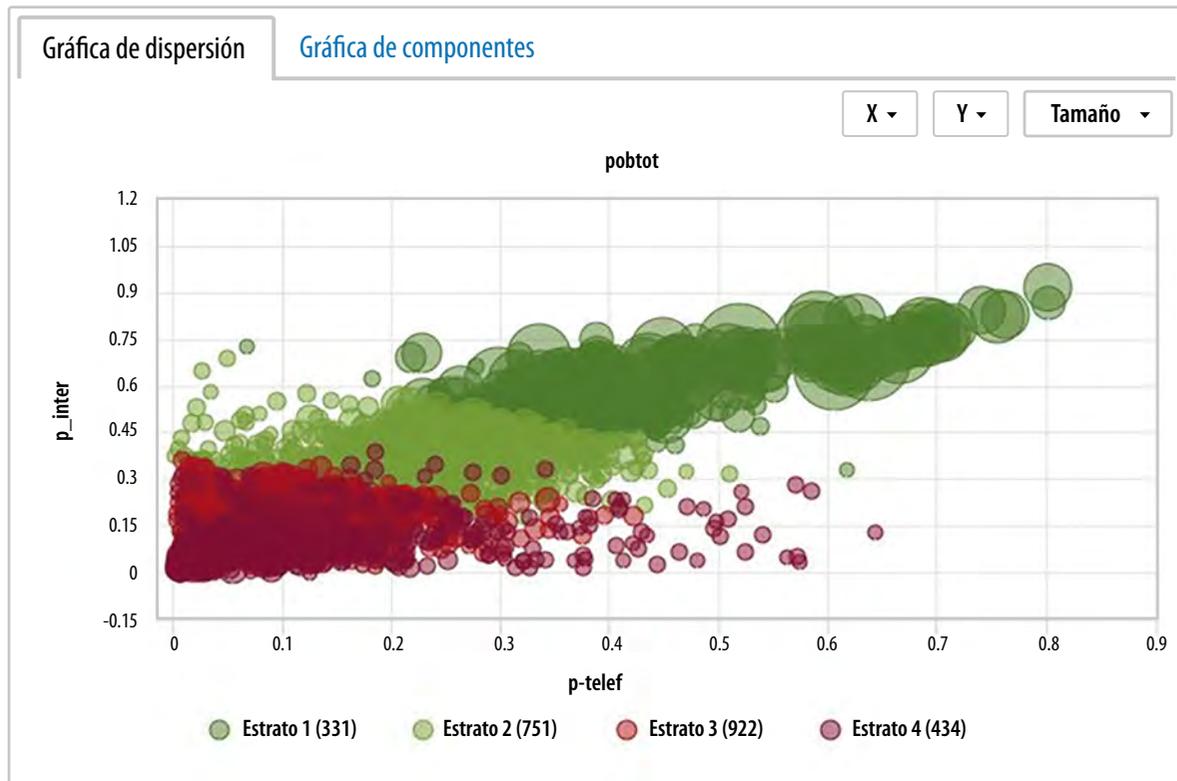


Figura 12

### Gráfica de dispersión



Cuando el número de variables consideradas para llevar a cabo una estratificación es grande, la cantidad de parejas utilizadas para definir los ejes lo es mucho más. Ello dificulta hacer una evaluación después de observar un conjunto numeroso de gráficas. Es por ello que hemos considerado útil incluir una representación gráfica para la cual los ejes representan a las primeras dos componentes principales (ver figura 13). Esto da lugar a una representación más canónica, auxiliar en la interpretación de los resultados.

Otra representación gráfica disponible es la que se refiere a los valores de los promedios, dentro de cada uno de los grupos formados, para cada variable considerada (ver figura 14). De esta manera, se aprecian discrepancias más o menos importantes entre los grupos; cuando las diferencias para una variable son muy pequeñas, sería posible concluir que esta importa poco en la conformación de los grupos resultantes, por lo que podría ser omitida en ejercicios subsecuentes. Cuando la línea asociada a uno de los grupos se

encuentra generalmente por arriba de la de otro, se puede concluir que el primero presenta condiciones más favorables.

Figura 14

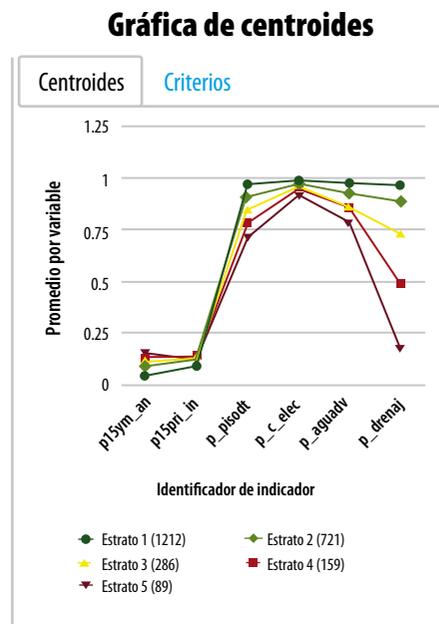
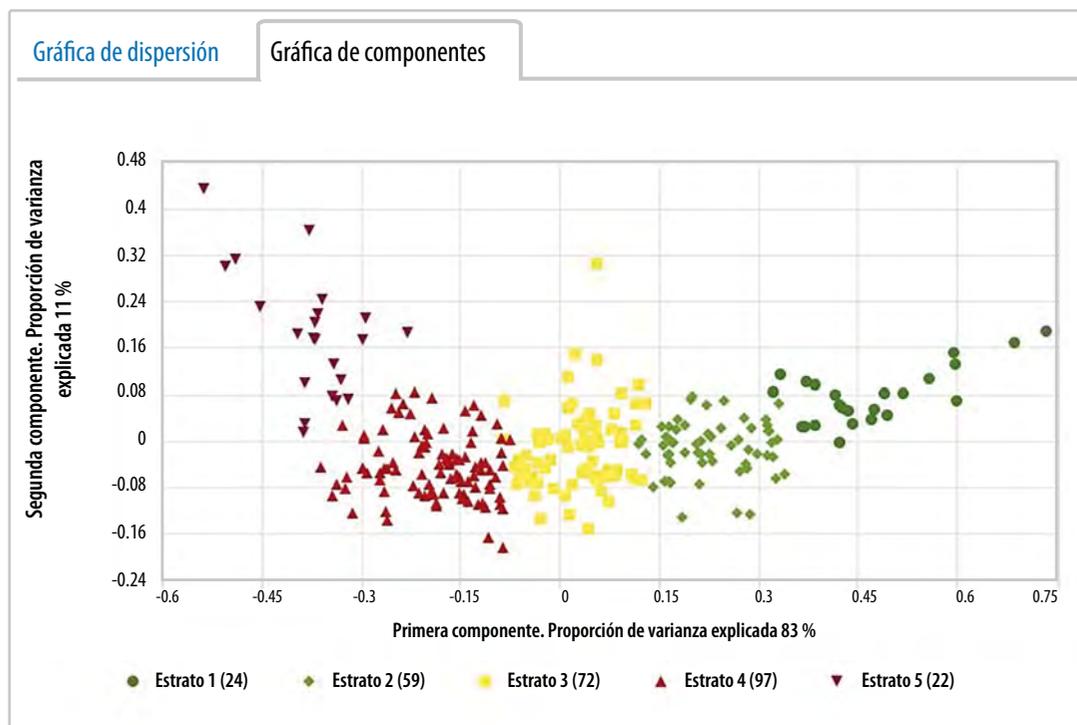


Figura 13

### Gráfica de burbujas con las dos primeras componentes principales como ejes



Se obtiene así una forma simple de lograr un ordenamiento entre los grupos a la manera del denominado Grado de Marginación, derivado del Índice de Marginación del CONAPO sin pasar por la innecesaria pérdida de información que tiene lugar con el uso de índices resumen.<sup>12</sup>

En efecto, es necesario enfatizar que los ordenamientos así obtenidos hacen un uso más eficiente de la información disponible que aquellos que parten de formar un resumen unidimensional y de aplicar a este un método univariado de estratificación, como es el caso del Índice del CONAPO (ver figura 15). De hecho, las herramientas proveídas por el servicio permiten reproducir la metodología para la construcción de este índice basada en la primera componente principal, como fue habitual hasta hace poco tiempo.

Cuando se recurre al uso de componentes principales, como hacía el CONAPO tiempo atrás, resulta evidente que ignorar la información contenida en la segunda de ellas conducirá a una estratificación menos que óptima. Algo similar ocurrirá al hacer uso de otro tipo de índices resumen, como ha sucedido recientemente.

12 Bustos, V. A. "Niveles de marginación: una estrategia multivariada de clasificación", en: *Realidad, Datos y Espacio Revista Internacional de Estadística y Geografía*. Vol. 2, Núm.1. México, INEGI, 2011 (DE) <https://rde.inegi.org.mx/index.php/2011/01/03/niveles-de-marginacion-una-estrategia-multivariada-de-clasificacion/> consultado el 02/03/2022.

## Comparaciones

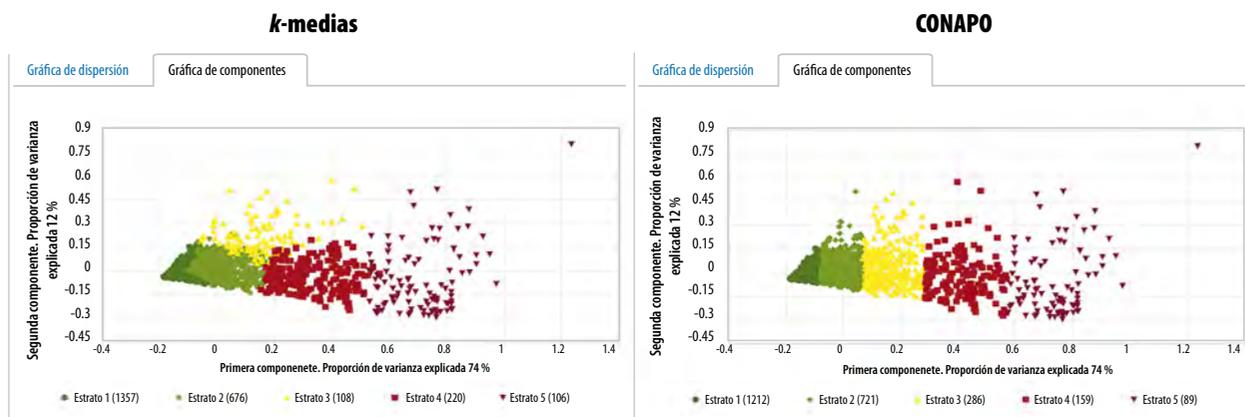
Durante una misma sesión, es posible realizar una serie de ejercicios a partir de la selección de distintas combinaciones de variables, unidades geográficas, número de grupos y método. El sistema los recuerda a todos para futura referencia (ver figura 16). De esta manera, se facilita la comparación entre resultados obtenidos bajo circunstancias diversas.

Entonces, desde las primeras gráficas es posible formarse una impresión de las ventajas relativas de algunos ejercicios. Así, los restantes podrían dejar de ser considerados desde esta etapa. Sin embargo, creemos útil tomar en cuenta toda la información que el sistema despliega antes de tomar una decisión.

Por ejemplo, para una misma localidad y utilizando las mismas variables, las manzanas fueron clasificadas en cinco, seis y siete grupos. El método de clasificación de las *k*-medias fue utilizado en los tres primeros casos; para el cuarto, se usó *m*clust en su versión para los modelos más general. Estrictamente, solo la segunda y la cuarta estratificaciones son comparables. La representación mediante mapas muestra ya discrepancias importantes (ver figura 17).

Las gráficas de burbujas en el espacio de las dos primeras componentes principales también exhiben diferencias notables (ver figura 18). Las que hacen uso del método de las *k*-medias exhiben una

**Figura 15**  
**Estratificaciones nacionales de municipios en cinco grupos usando las mismas variables**



### Botones de recuperación de ejercicios realizados en la misma sesión

Historial de ejercicios X

- Estratificación 1
- Estratificación 2
- Estratificación 3
- Estratificación 4

**Estratificación 4**

**Variables:**

- % Población de 15 años y más analfabeta
- % Población de 15 años y más con primaria incompleta
- % Pobladores en viviendas con piso de material diferente de tierra
- % Pobladores en viviendas que disponen de luz eléctrica
- % Pobladores en viviendas que disponen de agua entubada en el ámbito de la vivienda
- % Pobladores en viviendas que disponen de drenaje

**Grupos: 5**  
 Nivel de desagregación: Nacional por municipio  
 Método: mulvar Componentes principales (1)

Ver

gradualidad a lo largo del eje asociado a la primera componente, excepto para el último grupo en el que, además, es aparente la influencia de los valores de la segunda. Destacamos que nada similar ocurre con el último ejercicio para el cual solo es apreciable el comportamiento descrito para el último grupo.

Las gráficas de centroides (ver figura 19) narran una historia semejante. Por ejemplo, las primeras cuatro variables consideradas en el estudio influyen poco o nada en la caracterización de los grupos. Entre ellas, nuevamente, la que se refiere al cuarto ejercicio es la que muestra una mayor discrepancia; sin embargo, vale la pena destacar que los grupos formados por mclust muestran entre sí diferencias pequeñas, contra lo que sería de esperarse.

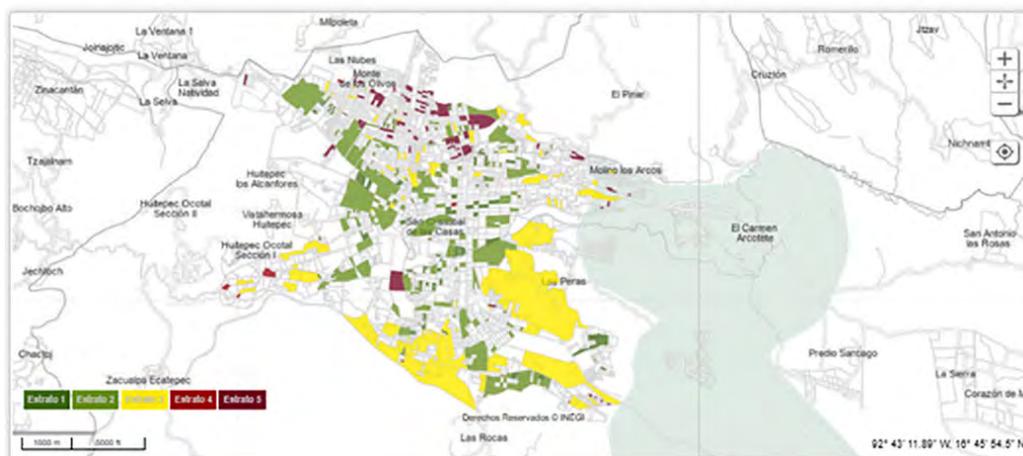
El *Estratificador INEGI* pone también a disposición del investigador un conjunto de hasta cinco criterios para fines de comparación entre los diversos ejercicios (ver cuadro 1). De este modo, se brinda un apoyo adicional para determinar el

ejercicio que muestra resultados más favorables. En todos los casos, valores pequeños para los criterios son deseables. En general, los que se refieren a determinantes de matrices indican grupos más homogéneos. En vista de la simetría de las matrices involucradas, lo mismo es cierto para los criterios basados en la traza. Sus valores han sido reescalados de modo que se encuentren siempre entre 0 y 1; se tiene así que el peor resultado, en términos de uno de ellos, toma el valor 1, en tanto que el más favorable tiene el de 0.

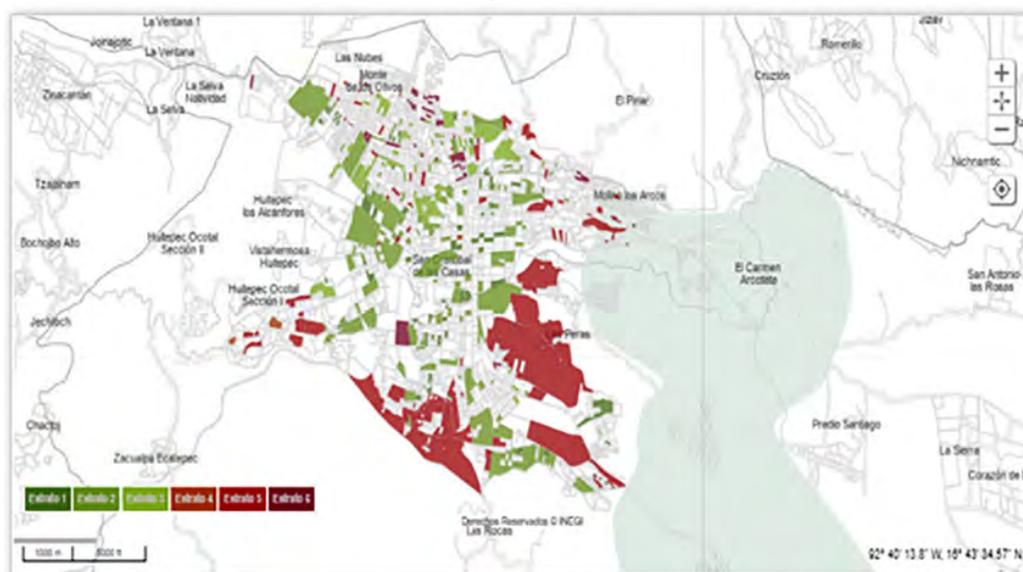
Para nuestros cuatro ejercicios, se tiene que los resultados que arrojan son mixtos (ver figura 20). Por ejemplo, el basado en mclust da los peores resultados, y con mucho, para los primeros cuatro criterios; lo opuesto ocurre para el quinto. Por su parte, de entre los otros tres, el que contempla la formación de siete grupos proporciona los mejores resultados cuando se consideran solamente los primeros tres criterios. El que se refiere a seis grupos es un cercano segundo lugar en los mismos términos, quedando el que tiene cinco siempre en

### Cuatro estratificaciones para una misma localidad

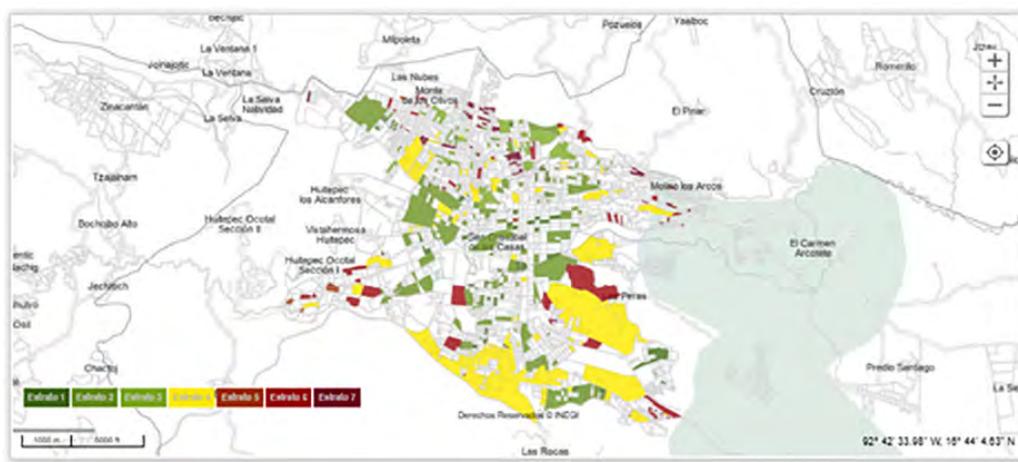
*k*-medias, cinco estratos



*k*-medias, seis estratos



*k*-medias, siete estratos



### Cuatro estratificaciones para una misma localidad

mclust(vv), seis estratos

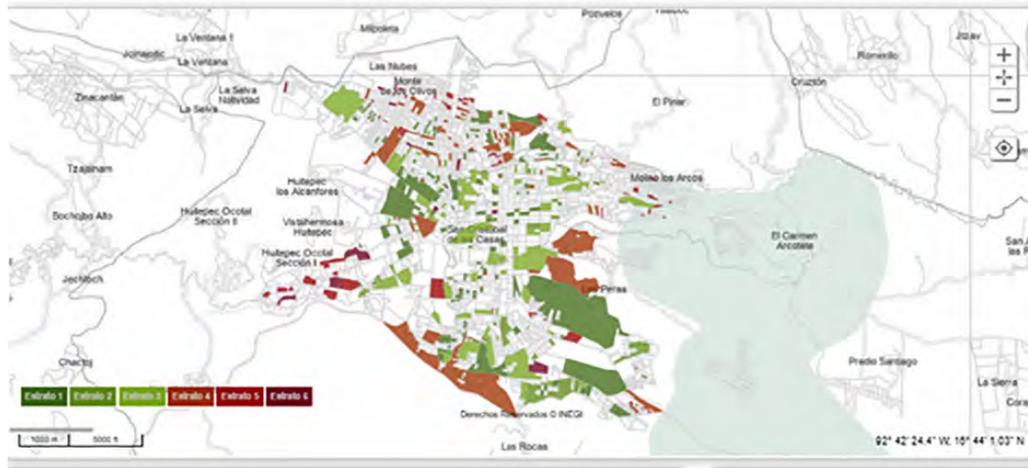


Figura 18

### Gráficas de burbujas para estratificaciones anteriores, respectivamente

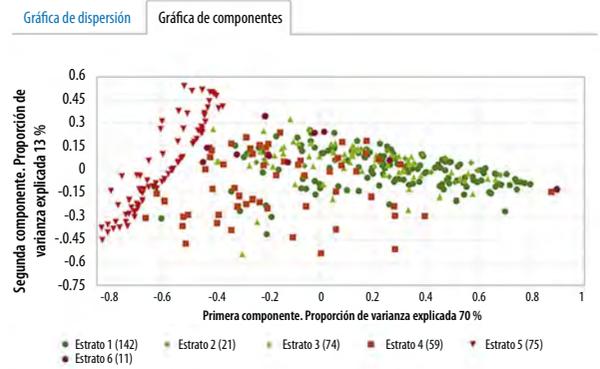
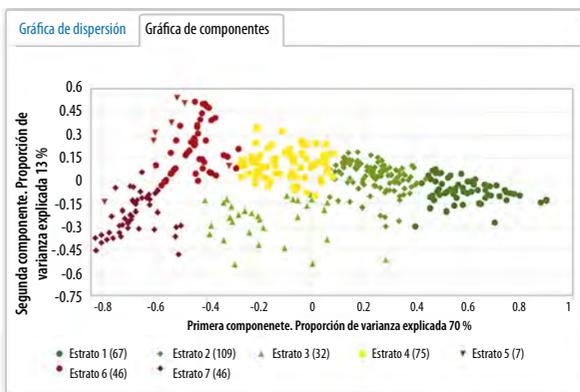
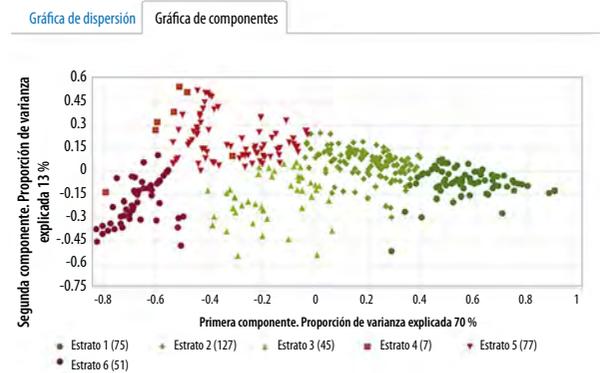
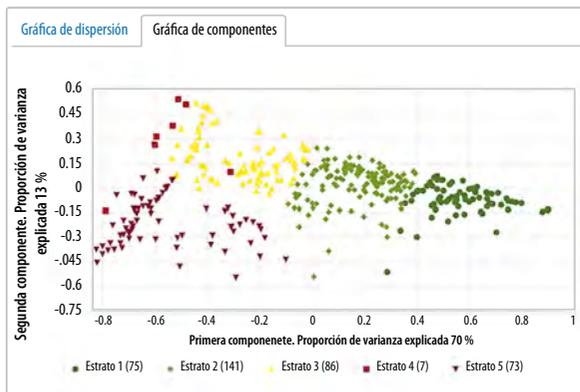
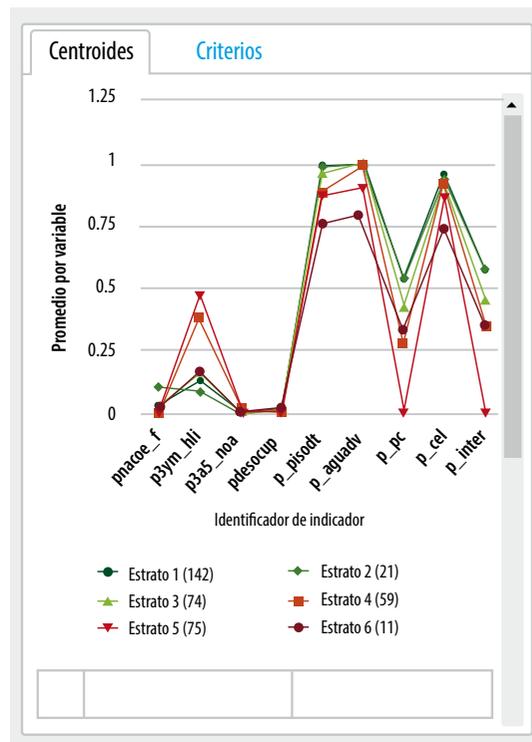
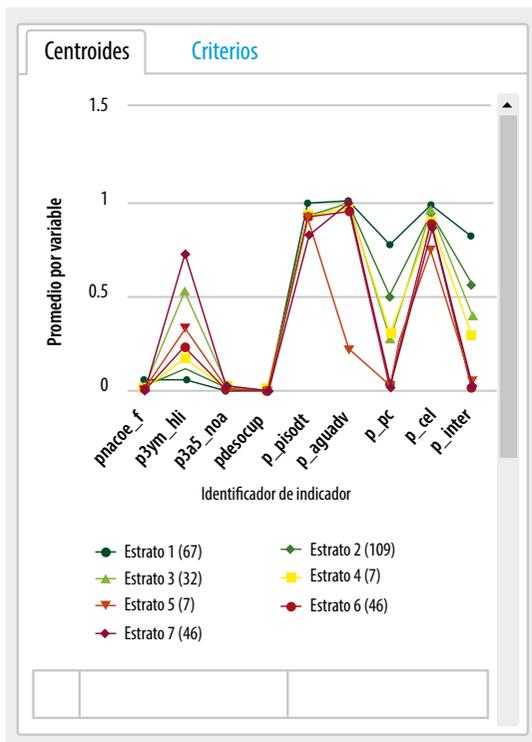
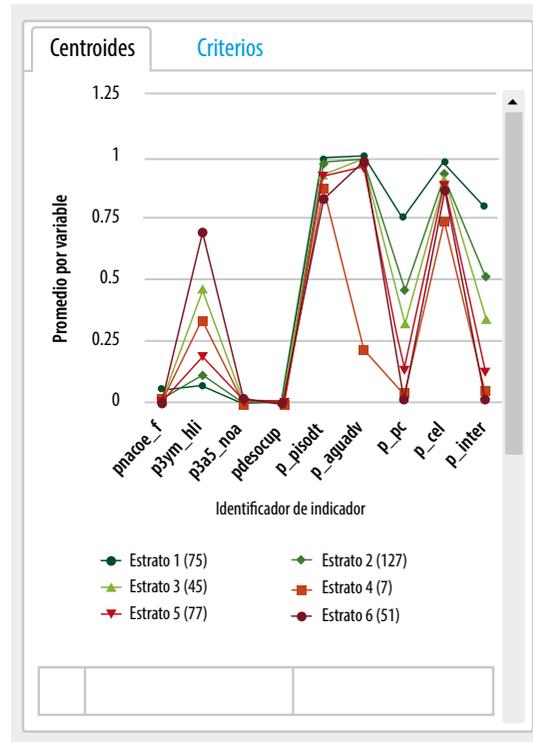
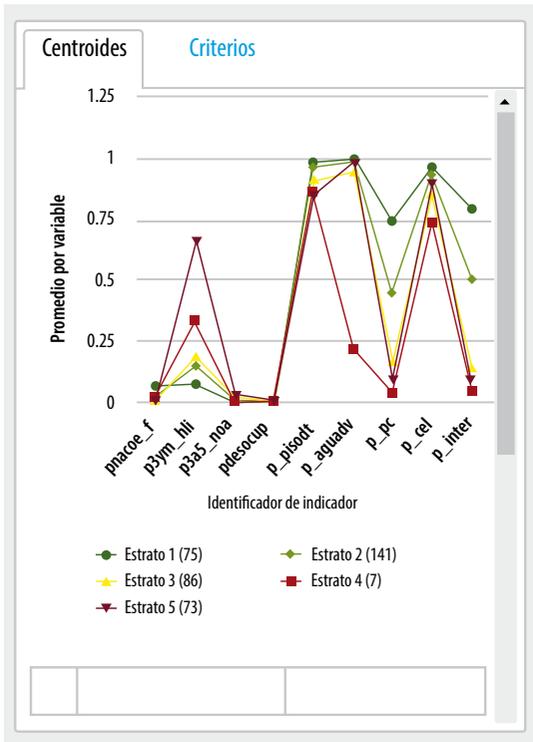


Figura 19

### Gráficas de centroides

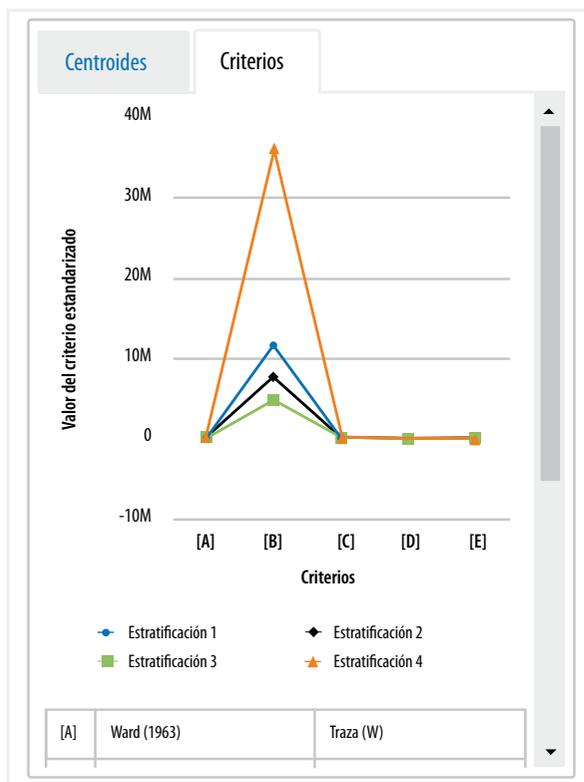


### Criterios útiles en la evaluación de resultados de ejercicios de estratificación

Criterios	
Determinante de la suma de las matrices locales de sumas de cuadrados y productos cruzados (Ward)	$=  W $
Suma de cuadrados de las distancias euclidianas de cada punto al centroide de su grupo (SC)	$= tr(W) = \sum_{i=1}^h w_{ii}$
Suma ponderada del logaritmo de trazas de matrices locales de covarianzas (SLT)	$= \sum_{k=1}^K n_k \log (tr(\Sigma_k))$
Suma ponderada del logaritmo de determinantes de matrices locales de covarianzas (SLD)	$= \sum_{k=1}^K n_k \log ( \Sigma_k ) = \log \left( \prod_{k=1}^K  \Sigma_k ^{n_k} \right)$
Promedio ponderado de las relaciones entre determinantes locales y globales (DEff)	$= \sum_{k=1}^K \left( \frac{n_k}{n} \right) \frac{ \Sigma_k }{ \Sigma }$

Figura 20

#### Gráfica de criterios según ejercicio de estratificación



tercer lugar. Lo anterior se invierte cuando se toma en cuenta al cuarto criterio. El último de los criterios proporcionados podría modificar las impresiones alcanzadas hasta ahora, pues los ejercicios con cinco y seis grupos se alejan del resultado óptimo, en tanto que el de siete alcanza un decoroso segundo lugar.

El investigador tiene ahora a su disposición diversas estrategias basadas en la información anterior. Por ejemplo, puede decidir que centrará su atención en solamente uno de los criterios, pues es aquel cuyo uso le parece más adecuado. Por otro lado, ante la incertidumbre, podrá optar por el que mostró un mejor comportamiento para el mayor número de casos. Como se indicó, el servicio no toma una decisión con base en las anteriores comparaciones, sino que permite al usuario actuar como lo considere más conveniente.

Una vez que el investigador decide cuáles resultados conservar, puede exportar un archivo en formato de valores separados por comas (CSV), que incluirá la identificación de cada una

de las unidades incluidas en el estudio, así como el indicador numérico del grupo al cual pertenecen estas; es decir, la base de datos para los resultados no incluye a ninguna de las variables utilizadas en el estudio, con lo que nos acercamos a preservar la confidencialidad de la información (cuadro 2).

## Trabajo futuro

Con la publicación de los resultados del CPV 2020 se tomó la decisión de enriquecer la base de datos

del *Estratificador INEGI*, a la vez que se actualizarán los estándares de programación para hacerlos coincidir con los que actualmente están vigentes en el sitio del Instituto. Para esta nueva versión, no se tiene contemplado añadir nuevas facilidades.

Será más adelante cuando se incorporen utilidades adicionales sugeridas en algún momento por el público usuario. Entre estas destaca, en particular, la facilidad de añadir bases de datos en poder de los usuarios. Múltiples estudios sobre inseguridad, salud o educación se verían beneficiados aprovechando sinergias entre fuentes de información.

Cuadro 2

Continúa

### Vista parcial de la tabla de resultados exportada

	A	B	C	D	E
1	Estado	Municipio	Clave geográfica	Estado	
2	Baja California ▶	Ensenada	2001	1	
3	Baja California ▶	Mexicali	2002	1	
4	Baja California ▶	Tecate	2003	1	
5	Baja California ▶	Tijuana	2004	1	
6	Baja California ▶	Playas de Rosarito ▶	2005	1	
7	Coahuila de Zaragoza ▶	Abasolo	5001	3	
8	Coahuila de Zaragoza ▶	Acuña	5002	2	
9	Coahuila de Zaragoza ▶	Allende	5003	1	
10	Coahuila de Zaragoza ▶	Arteaga	5004	3	
11	Coahuila de Zaragoza ▶	Candela	5005	3	
12	Coahuila de Zaragoza ▶	Castaños	5006	3	
13	Coahuila de Zaragoza ▶	Cuatro Ciénegas ▶	5007	3	
14	Coahuila de Zaragoza ▶	Escobedo	5008	3	
15	Coahuila de Zaragoza ▶	Francisco I. Madero ▶	5009	2	
16	Coahuila de Zaragoza ▶	Frontera	5010	1	
17	Coahuila de Zaragoza ▶	General Cepeda ▶	5011	4	
18	Coahuila de Zaragoza ▶	Guerrero	5012	2	
19	Coahuila de Zaragoza ▶	Hidalgo	5013	2	
20	Coahuila de Zaragoza ▶	Jiménez	5014	2	

## Vista parcial de la tabla de resultados exportada

	A	B	C	D	E
21	Coahuila de Zaragoza	▶ Juárez	5015	3	
22	Coahuila de Zaragoza	▶ Lamadrid	5016	3	
23	Coahuila de Zaragoza	▶ Matamoros	5017	3	
24	Coahuila de Zaragoza	▶ Monclova	5018	1	
25	Coahuila de Zaragoza	▶ Morelos	5019	3	
26	Coahuila de Zaragoza	▶ Múzquiz	5020	3	
27	Coahuila de Zaragoza	▶ Nadadores	5021	2	
28	Coahuila de Zaragoza	▶ Nava	5022	1	
29	Coahuila de Zaragoza	▶ Ocampo	5023	3	
30	Coahuila de Zaragoza	▶ Parras	5024	3	
31	Coahuila de Zaragoza	▶ Piedras Negras ▶	5025	1	
32	Coahuila de Zaragoza	▶ Progreso	5026	3	
33	Coahuila de Zaragoza	▶ Ramos Arzipe ▶	5027	1	
34	Coahuila de Zaragoza	▶ Sabinas	5028	1	
35	Coahuila de Zaragoza	▶ Sacramento	5029	2	
36	Coahuila de Zaragoza	▶ Saltillo	5030	1	
37	Coahuila de Zaragoza	▶ San Buenaventura ▶	5031	1	
38	Coahuila de Zaragoza	▶ San Juan de Sabinas ▶	5032	1	
39	Coahuila de Zaragoza	▶ San Pedro	5033	3	
40	Coahuila de Zaragoza	▶ Sierra Mojada	5034	3	
41	Coahuila de Zaragoza	▶ Torreón	5035	1	
42	Coahuila de Zaragoza	▶ Viesca	5036	4	
43	Coahuila de Zaragoza	▶ Villa Unión	5037	3	
44	Coahuila de Zaragoza	▶ Zaragoza	5038	3	
45	Chihuahua	Ahumada	8001	2	
46	Chihuahua	Aldama	8002	1	
47	Chihuahua	Allende	8003	3	

## Colaboran en este número

---

### Michelle Castillo Merino

De nacionalidad mexicana. Es licenciada en Ciencia Política y Relaciones Internacionales por el Centro de Investigación y Docencia Económicas (CIDE). Del 2013 al 2015 participó en la elaboración de campañas políticas y estudios sobre temas electorales. En el 2015 ingresó al Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) y, actualmente, es directora de Análisis de Información Estadística y Geográfica en la Vicepresidencia a cargo del Subsistema Nacional de Información de Gobierno, Seguridad Pública e Impartición de Justicia del Instituto.

**Contacto:** michelle.castillo@inegi.org.mx

---

### Karen Andrea Santoyo Tapia

De nacionalidad mexicana. Es licenciada en Economía por la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo (UMSNH). Desde el 2018 ha laborado en el INEGI y, en la actualidad, es subdirectora de Análisis de Información Estadística y Geográfica en la Vicepresidencia a cargo del Subsistema Nacional de Información de Gobierno, Seguridad Pública e Impartición de Justicia del Instituto.

**Contacto:** karen.santoyo@inegi.org.mx

---

### Inés Fernando Vega-López

De nacionalidad mexicana. Recibió su doctorado en Ciencias en Computación por la Universidad de Arizona. Es profesor e investigador en Ciencias en Computación en la Universidad Autónoma de Sinaloa (UAS); en el 2004 se unió a la Facultad de Informática Culiacán de la UAS. Sus líneas de investigación incluyen sistemas de bases de datos de alto rendimiento, análisis de datos a gran escala y aprendizaje máquina.

**Contacto:** ifvega@uas.edu.mx

---

### Rito Vega-Aviña

De nacionalidad mexicana. Es ingeniero agrónomo fitotecnista egresado de la Facultad de Agronomía de la UAS, con Maestría en Botánica por el Colegio de Postgraduados, Chapingo, y Doctorado en Ciencias (Biología) por la Facultad de Ciencias de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). En el ámbito laboral se desempeña como profesor e investigador de tiempo completo en la UAS. Su línea principal de investigación es la taxonomía de plantas vasculares, contando con más de 12 500 colectas botánicas, principalmente en Sinaloa.

**Contacto:** rito.vega@gmail.com

---

**Francisco Delgado-Vargas**

De nacionalidad mexicana. Es ingeniero bioquímico egresado del Instituto Tecnológico Regional de Culiacán, maestro en Ciencias en Química por el Centro de Graduados del Instituto Tecnológico de Tijuana y doctor en Biotecnología de Plantas por el Centro de Investigación y de Estudios Avanzados (CINVESTAV) del Instituto Politécnico Nacional (IPN). A la fecha es profesor e investigador de tiempo completo en la UAS y jefe del Laboratorio de Química de Productos Naturales.

**Contacto:** fdelgado@uas.edu.mx

---

**Zuriel Ernesto Morales-Casas**

De nacionalidad mexicana. Es ingeniero en aprendizaje de máquina (*machine learning Engineer*) y maestro en Ciencias de la Información por la Universidad Autónoma de Sinaloa. En el ámbito laboral se desempeña como ingeniero en *Data Science*. Entre sus líneas de interés se encuentran técnicas de aprendizaje máquina y profundo.

**Contacto:** zuriel.morales@intellion.ai

---

**Eduardo Díaz-Gaxiola**

De nacionalidad mexicana. Es maestro en Ciencias de la Información por la UAS y en la actualidad estudia en el Programa de Doctorado en Ciencias de la Información de esa misma casa de estudios. Entre sus líneas de interés se encuentran aprendizaje profundo, técnicas de aprendizaje máquina y visualización de redes neuronales convolucionales.

**Contacto:** eduardogaxiola@uas.edu.mx

---

**Juan Augusto Campos-Leal**

De nacionalidad mexicana. Es maestro en Ciencias de la Información por la UAS y en la actualidad estudia en el Programa de Doctorado en Ciencias de la Información de esa misma casa de estudios. Sus líneas de interés son: aprendizaje profundo y técnicas de aprendizaje máquina.

**Contacto:** juan.campos@uas.edu.mx

---

**José Abraham Berger-Castro**

De nacionalidad mexicana. Es egresado de Licenciatura en Informática de la Universidad Autónoma de Sinaloa. En el ámbito laboral se desempeña como programador en sistemas computacionales. Entre sus líneas de interés se encuentran técnicas de aprendizaje máquina.

**Contacto:** abraham.bc17@gmail.com

---

---

**Gerardo Beltrán-Gutiérrez**

De nacionalidad mexicana. Es maestro en Ciencias en Computación por la Universidad Autónoma de Sinaloa. Se desempeña como investigador en Ciencias en Computación en esa misma casa de estudios. Sus líneas de interés incluyen bases de datos, ciencia de datos y programación paralela y distribuida.

**Contacto:** gerardo@uas.edu.mx

---

**Arturo Yee-Rendón**

De nacionalidad mexicana. Es maestro y doctor en Ciencias en Computación por el CINVESTAV-IPN. Se desempeña como profesor e investigador en Ciencias en Computación en la Universidad Autónoma de Sinaloa. Sus líneas de investigación incluyen reconocimiento de patrones, técnicas de aprendizaje profundo, teoría de juegos y algoritmos de optimización.

**Contacto:** arturo.yee@uas.edu.mx

---

**Edgar Sandoval-García**

Mexicano. Es ingeniero químico y maestro en Finanzas por la Facultad de Estudios Superiores (FES)-Cuautitlán de la UNAM y doctor en Ciencias en Desarrollo Científico y Tecnológico para la Sociedad por el CINVESTAV-IPN. Su experiencia profesional es de más de 10 años en la industria química nacional y actualmente está adscrito en el Tecnológico Nacional de México/TES de Cuautitlán Izcalli.

**Contacto:** edgar.sg@cuautitlan.tecnm.mx

---

**Guadalupe Graciela Ramos Rodríguez**

De nacionalidad mexicana. Es ingeniera química por la Universidad Autónoma Metropolitana (UAM)-Azcapotzalco y maestra en Ingeniería Ambiental por la Universidad Waseda Japón. Su experiencia profesional es de más de 20 años en sector gobierno, y hoy en día trabaja en el Tecnológico Nacional de México/TES de Cuautitlán Izcalli.

**Contacto:** guadalupe.rr@cuautitlan.tecnm.mx

---

**Adrián Correa Torres**

Mexicano. Es pasante de Ingeniería en Logística, inscrito en el octavo semestre en el Tecnológico Nacional de México/TES de Cuautitlán Izcalli.

**Contacto:** 193138024@cuautitlan.tecnm.mx

---

---

**Jorge Alberto  
Montejano Escamilla**

De nacionalidad mexicana. Es arquitecto por la Universidad Iberoamericana y doctor en Urbanismo por la Universitat Politècnica de Catalunya (Tesis Excelente Cum-Laude). Actualmente, es profesor-investigador titular "C" y coordinador de Proyectos en el Centro de Investigación en Ciencias de Información Geoespacial, A. C. (CentroGeo). Ha coordinado diversos estudios de planeación y ordenamiento territorial, como el Plan Maestro de la Zona Industrial de Vallejo o el Plan Maestro de Atlampa, entre otros. Es miembro del Sistema Nacional de Investigadores (SNI), con nivel II, y miembro de la Red de Estudios de la Forma Urbana (REFU). Sus líneas actuales de investigación son metropolización del territorio, forma urbana, movilidad, lógicas y modelos de localización, vivienda social y sistemas de información geográfica aplicados a la planeación y a los estudios urbanos.

**Contacto:** [jmontejano@centrogeo.edu.mx](mailto:jmontejano@centrogeo.edu.mx)

---

**Felipe Gerardo Ávila Jiménez**

De nacionalidad mexicana. Es licenciado en Diseño de los Asentamientos Humanos, con estudios en Planeación y Políticas Metropolitanas por la UAM y maestro en Gestión de Información por la Universidad de la Habana, Cuba, y candidato a doctor en Proyectos por la Fundación Universitaria Iberoamericana. Desde el 2007 se desempeña como profesor titular de tiempo parcial en la UAM-Unidad Xochimilco. Es miembro del Comité Técnico del Programa Universitario de Estudios Metropolitanos y colabora con el CentroGeo como investigador asociado en diversos estudios. Se especializa en análisis espacial con aplicación a la planeación urbana, territorial y ambiental.

**Contacto:** [gavila@centrogeo.edu.mx](mailto:gavila@centrogeo.edu.mx)

---

**Camilo Alberto Caudillo Cos**

De nacionalidad mexicana. Es maestro en Estudios de Población por la Facultad Latinoamericana de Ciencias Sociales (FLACSO) Sede México y en Geomática por el CentroGeo, así como doctor en Ciencias de Información Geoespacial por esta última institución. Es docente dentro del Programa Integrado de la Maestría y Doctorado en Ciencias de la Información Geoespacial y de la Maestría de Planeación Espacial, y participa en la Unidad de Educación a Distancia del CentroGeo. Su producción académica discurre por las líneas de investigación de geo-

grafía urbana, estudios urbanos, segregación residencial y movilidad urbana. Es autor o coautor de 30 publicaciones científicas, entre artículos de revistas de alto impacto, capítulos de libro y libros.

**Contacto:** ccaudillo@centrogeo.edu.mx

---

**Rodrigo Tapia McClung**

De nacionalidad mexicana. Es físico por la Facultad de Ciencias de la UNAM; maestro en Ciencias Ambientales por la Wilfrid Laurier University de Waterloo, Ontario, Canadá; y doctor en Ciencias de Información Geoespacial por el CentroGeo. Su investigación se relaciona con el uso de la analítica geovisual, geoweb, cartografía participativa y ciencia y participación ciudadana para buscar maneras de visualizar datos espaciales y temporales para poder comunicar significados apropiados y oportunos a distintos tipos de usuarios.

**Contacto:** rtapia@centrogeo.edu.mx

---

**Maribel Espinosa-Castillo**

Mexicana. Es socióloga y con maestría en esa disciplina por la UAM, así como doctora en Geografía por la UNAM. Labora en el Centro Interdisciplinario de Investigaciones y Estudios sobre Medio Ambiente y Desarrollo (CIIEMAD) del IPN. Sus líneas de investigación están delimitadas en las fronteras temáticas de: desarrollo urbano metropolitano; procesos socio-urbanos y medio ambiente; territorio, turismo y medio ambiente; y metodologías de investigación.

**Contacto:** mepinosac@ipn.mx y escasmar@hotmail.com

---

**Germán Raúl Vera Alejandro**

Mexicano. Tiene la Licenciatura en Biología Marina por la Universidad Autónoma de Baja California Sur y la Maestría en Ciencias Marinas por el Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas del IPN. Se desempeña como profesor-investigador en el CIIEMAD-IPN, y sus temas de interés son el impacto del cambio climático en áreas naturales protegidas y la aplicación de la percepción remota para el monitoreo ambiental.

**Contacto:** gveraa@ipn.mx

---

**Citlalli Reyes Ríos**

De nacionalidad mexicana. Tiene la Licenciatura de Ingeniero Arquitecto con orientación en Urbanismo por el IPN Unidad Escuela Superior de Ingeniería y Arquitectura (ESIA) Tecamachalco. Actualmente, se desempeña en Product Casting, donde participa en el desarrollo de pro-

yectos arquitectónicos urbanos y ejecutivos, así como modelados tridimensionales.

**Contacto:** reyesrioscitlalli@gmail.com

---

**Víctor Manuel Lozano Noches**

Mexicano. Egresado de la Licenciatura en Turismo con especialidad en Planificación y Gestión del Desarrollo Turístico del IPN y estudia la Licenciatura de Ciencias Políticas en la UNAM. Actualmente, trabaja como especialista comercial en J&T EXPRESS.

**Contacto:** vlozano908@gmail.com

---

**Alicia Hermila López Aguilar**

Mexicana. Es licenciada en Turismo por la Escuela Superior de Turismo (EST) del IPN y cuenta con el Diplomado en Gestión de Destinos Turísticos Sostenibles por el Centro de Investigación para el Desarrollo Sustentable. Hoy en día, labora en Viajes Itzaa. Fue participante y ponente en el XXV Verano de Investigación Científica y Tecnológica del Pacífico.

**Contacto:** alicia.ahla@gmail.com o alopeza1607@alumno.ipn.mx

---

**Yoselin Juárez Rodríguez**

Nació en México. Es ingeniera arquitecta egresada de la ESIA-IPN. Realiza trabajos e investigaciones independientes enfocados en el desarrollo de proyectos arquitectónicos y urbanísticos, así como diseño de espacios interiores. .

**Contacto:** jr.yoselin00@gmail.com

---

**Víctor Alfredo Bustos y de la Tijera**

Mexicano. Es actuario por la Facultad de Ciencias y maestro en Estadística por el Instituto de Investigaciones en Matemáticas Aplicadas y en Sistemas (IIMAS), ambas de la UNAM, así como doctor en Estadística por la London School of Economics. Ha sido catedrático en la Facultad de Ciencias; profesor-investigador del IIMAS; profesor en la Temple University, el Instituto Tecnológico Autónomo de México y el Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey; catedrático-investigador en el Centro de Investigación y Docencia Económicas, A. C.; y profesor invitado en el Centro Científico de IBM. Fue investigador nacional, nivel I, desde la creación del Sistema hasta su ingreso al INEGI, en 1991. Sus áreas de in-

terés son: la estimación de la distribución del ingreso con datos de la Encuesta Nacional de Ingresos y Gastos de los Hogares (ENIGH), compatible con otras fuentes de datos; clasificación multivariada con aplicación a la medición del bienestar y la marginación; construcción de índices temporales multivariados para seguir la evolución y los ciclos de negocios de una economía mediante criterios explícitos; el uso combinado de encuestas y de redes sociales para la producción frecuente y de bajo costo de estadísticas socioeconómicas; y el pensamiento sistémico aplicado a la producción de información estadística oficial.

**Contacto:** alfredo.bustos@inegi.org.mx

---

### **Ana Miriam Romo Anaya**

De nacionalidad mexicana. Es licenciada en Matemáticas Aplicadas por la Universidad Autónoma de Aguascalientes (UAA) y maestra en Ciencias en Estadística Oficial por el Centro de Investigación en Matemáticas, A. C. (CIMAT). Desde el 2009, ha participado en la Dirección General Adjunta de Investigación del INEGI en el desarrollo y análisis de técnicas estadísticas, como: muestreo, modelos lineales y no lineales, técnicas de agrupamiento y clasificación, optimización de funciones paramétricas y el desarrollo computacional estadístico. Ha sido catedrática en la UAA y en la Universidad Politécnica de Aguascalientes impartiendo en diversos periodos cursos de Matemáticas y Estadística.

**Contacto:** miriam.romo@inegi.org.mx

