

**Imágenes de radar para estudios territoriales, caso: inundaciones en Tabasco con el uso de imágenes SAR Sentinel-1A y Radarsat-2**

Yolanda Margarita Fernández-Ordoñez, Jesús Soria-Ruiz, Brigitte Leblon, Antonia Macedo-Cruz, Martha Elva Ramírez Guzmán y Miguel Escalona-Maurice

**An Open-Source-Based Software to Capture Aerial Video and Images Using Drones**

José Martínez-Carranza, Mariana Edith Miranda Varela, Leticia Oyuki Rojas Pérez, Aldrich Alfredo Cabrera Ponce, Edgar Jacob Sosa Cerón, and Raymundo Domínguez Colín

**Calidad de vida en la Argentina (1960). Una perspectiva geográfica**

Guillermo Ángel Velázquez y Juan Pablo Celemin

**Propuesta metodológica: Índice de Infraestructura Urbana para el diagnóstico urbanístico sobre el traslado de personas mayores de 60 años en tres AGEB de la Jurisdicción Sanitaria Magdalena Contreras**

Gerardo Florencio Casimiro y Janet Real Ramírez

**Un modelo espacial de desigualdad de género sobre trabajo no remunerado en México**

Mauricio Rodríguez Abreu y Brígida García Guzmán

**Aportes metodológicos para un modelo de ocupación y políticas territoriales en el estado de Chihuahua**

Luis Ernesto Cervera Gómez, Adrián Botello Mares y Guillermo Iván Hinojos Mendoza

**Deformaciones superficiales por los sismos de gran magnitud recientes en México detectadas mediante técnicas satelitales**

Rubén Esquivel Ramírez, Rosío Ramírez Contreras y Francisco Javier Huerta Juárez

**Sesgos en la medida de convergencia de los indicadores componentes del Índice de Rezago Social de las entidades federativas de México**

Óscar Peláez Herreros

## Contenido

<b>Imágenes de radar para estudios territoriales, caso: inundaciones en Tabasco con el uso de imágenes SAR Sentinel-1A y Radarsat-2</b>	4
<i>Radar Images for Territorial Studies. Flooding in Tabasco Using SAR Sentinel-1A and Radarsat-2</i> Yolanda Margarita Fernández-Ordoñez, Jesús Soria-Ruiz, Brigitte Leblon, Antonia Macedo-Cruz, Martha Elva Ramírez Guzmán y Miguel Escalona-Maurice	
<b>An Open-Source-Based Software to Capture Aerial Video and Images Using Drones</b>	22
<i>Un sistema de código abierto para capturar video e imágenes aéreas usando drones</i> José Martínez-Carranza, Mariana Edith Miranda Varela, Leticia Oyuki Rojas Pérez, Aldrich Alfredo Cabrera Ponce, Edgar Jacob Sosa Cerón, and Raymundo Dominguez Colín	
<b>Calidad de vida en la Argentina (1960). Una perspectiva geográfica</b>	38
<i>Life Quality in Argentina (1960). A Geographical Perspective</i> Guillermo Ángel Velázquez y Juan Pablo Celemin	
<b>Propuesta metodológica: Índice de Infraestructura Urbana para el diagnóstico urbanístico sobre el traslado de personas mayores de 60 años en tres AGEB de la Jurisdicción Sanitaria Magdalena Contreras</b>	52
<i>Methodological Proposal: Urban Infrastructure Index for Urban Diagnosis on the Mobility of Elder People Over 60, in Three AGEB of the Magdalena Contreras Sanitary Jurisdiction</i> Gerardo Florencio Casimiro y Janet Real Ramírez	
<b>Un modelo espacial de desigualdad de género sobre trabajo no remunerado en México</b>	68
<i>A Spatial Model for Gender Inequality in Unpaid Work in Mexico</i> Mauricio Rodríguez Abreu y Brígida García Guzmán	
<b>Aportes metodológicos para un modelo de ocupación y políticas territoriales en el estado de Chihuahua</b>	86
<i>Methodological Contributions for the Territorial Occupation Model of the Mexican State of Chihuahua</i> Luis Ernesto Cervera Gómez, Adrián Botello Mares y Guillermo Iván Hinojos Mendoza	
<b>Deformaciones superficiales por los sismos de gran magnitud recientes en México detectadas mediante técnicas satelitales</b>	104
<i>Surface Deformations Caused by the Latest Major Earthquakes in Mexico Detected by Means of Satellite Techniques</i> Rubén Esquivel Ramírez, Rosío Ramírez Contreras y Francisco Javier Huerta Juárez	
<b>Sesgos en la medida de convergencia de los indicadores componentes del Índice de Rezago Social de las entidades federativas de México</b>	120
<i>Biases in the Convergence Measure of the Component Indicators of the Social Backwardness Index of the Federal Entities of Mexico</i> Óscar Peláez Herreros	
<b>Colaboran en este número</b>	134

**INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA Y GEOGRAFÍA****Presidente del Instituto**

Julio Alfonso Santaella Castell

**Vicepresidentes**

Enrique de Alba Guerra

Paloma Merodio Gómez

Enrique Jesús Ordaz López

Adrián Franco Barrios

**Dirección General de Estadísticas Sociodemográficas**

Edgar Vielma Orozco

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

Óscar Jaimes Bello

**Dirección General de Estadísticas Económicas**

José Arturo Blancas Espejo

**Dirección General de Geografía y Medio Ambiente**

María del Carmen Reyes Guerrero

**Dirección General de Integración, Análisis e Investigación**

Sergio Carrera Riva Palacio

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

María Isabel Monterrubio Gómez

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

Eduardo Javier Gracida Campos

**Dirección General de Administración**

Luis María Zapata Ferrer, encargado del despacho

**Contraloría Interna**

Manuel Rodríguez Murillo

**REALIDAD, DATOS Y ESPACIO REVISTA INTERNACIONAL DE ESTADÍSTICA Y GEOGRAFÍA****Editor responsable**

Sergio Carrera Riva Palacio

**Editor técnico**

Gerardo Leyva Parra

**Coordinación editorial**

Virginia Abrin Batule y Mercedes Pedrosa Islas

**Corrección de estilo**

José Pablo Covarrubias Ordiales y Laura Elena López Ortiz

**Corrección de textos en inglés**

Gerardo Piña

**Diseño y formación edición impresa**

Juan Carlos Martínez Méndez y Eduardo Javier Ramírez Espino

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

REALIDAD, DATOS Y ESPACIO REVISTA INTERNACIONAL DE ESTADÍSTICA Y GEOGRAFÍA, Vol. 11, Núm. 1, enero-abril, 2020, es una publicación cuatrimestral editada por el Instituto Nacional de Estadística y Geografía, Avenida Héroe de Nacozari Sur 2301, Fraccionamiento Jardines del Parque, 20276, Aguascalientes, Aguascalientes, Aguascalientes, entre la calle INEGI, Avenida del Lago y Avenida Paseo de las Garzas, México. Teléfono 55 52781069. Toda correspondencia deberá dirigirse al correo: rde@inegi.org.mx

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

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

Se permite la reproducción total o parcial del material incluido en la Revista, sujeto a citar la fuente. Esta publicación consta de 400 ejemplares y se terminó de imprimir en febrero del 2020.

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

ISSN 2395-8537

**CONSEJO EDITORIAL**

Enrique de Alba Guerra

Presidente del Consejo

Fernando Cortés Cáceres

Profesor Emérito de FLACSO

PUED de la UNAM

México

Gerardo Bocco Verdinelli

Universidad Nacional Autónoma de México

México

Juan Carlos Chávez Martín del Campo

Banco de México

México

Lidia Bratanova

UNECE Statistical Division

Switzerland

Tonatiuh Guillén López

El Colegio de la Frontera Norte

México

Víctor Manuel Guerrero Guzmán

Instituto Tecnológico Autónomo de México

México



## Editorial

En este número se presenta, en primer lugar, el artículo *Imágenes de radar para estudios territoriales, caso: inundaciones en Tabasco con el uso de imágenes SAR Sentinel-1A y Radarsat-2 (Radar Images for Territorial Studies, Case: Flooding in Tabasco Using SAR Sentinel-1A and Radarsat-2)*. Su objetivo es contribuir a que instituciones mexicanas se acerquen al conocimiento de esta tecnología de teledetección, ya que pueden obtenerse datos bajo cualquier condición atmosférica y climática. Es un aporte real para el monitoreo de emergencias y la obtención de información base para la prevención de desastres naturales. La metodología generada es accesible a personal técnico de diversas organizaciones y de gobiernos estatales para la atención de asuntos de protección civil.

Enseguida, *An Open-Source-Based Software to Capture Aerial Video and Images Using Drones (Un sistema de código abierto para capturar video e imágenes aéreas usando drones)* es una propuesta para proporcionar un medio para aquellas personas que requieran observar en tiempo real el terreno durante el vuelo de un avión no tripulado. Las imágenes grabadas se procesan con el sistema propuesto a través de la visualización de sus modelos en 3D y cuenta con una herramienta que se desarrolló para clasificar automáticamente secciones de interés de tres tipos: urbana, vegetación y agrícola.

Posteriormente, *Calidad de vida en la Argentina (1960). Una perspectiva geográfica (Life Quality in Argentina (1960). A Geographical Perspective)* analiza la condición de bienestar de la población con el *Quinto Censo Nacional* a partir de la elaboración de un índice-resumen, acorde con la información disponible y las características del momento histórico considerado, la cual se representó cartográficamente a partir de un sistema de información geográfica. Esta radiografía muestra la potencialidad de los censos de población para el estudio de dimensiones que van mucho más allá de su utilización exclusivamente demográfica.

Después, *Propuesta metodológica: Índice de Infraestructura Urbana para el diagnóstico urbanístico sobre el traslado de personas mayores de 60 años en tres AGEB de la Jurisdicción Sanitaria Magdalena Contreras (Methodological Proposal: Urban Infrastructure Index for Urban Diagnosis on the Mobility of Elder People Over 60, in Three AGEB of the Magdalena Contreras Sanitary Jurisdiction)* es una investigación basada en criterios poblacionales, de infraestructura y equipamiento en tres áreas geoestadísticas básicas de alta, mediana y baja marginalidad. El Índice se puede usar como unidad de medida para analizar el medio urbano en estudios que vinculen la salud, el entorno y el fenómeno del envejecimiento, es sencillo de interpretar y un *proxi* de la posible movilidad del traslado de la población adulta mayor.

El siguiente trabajo, *Un modelo espacial de desigualdad de género sobre trabajo no remunerado en México (A Spatial Model for Gender Inequality in Unpaid Work in Mexico)*, ofrece un avance en el conocimiento de los procesos socioeconómicos asociados con la distribución desigual de actividades domésticas y de cuidado entre hombres y mujeres en el ámbito municipal. Los autores consideran que sus resultados tienen mucho potencial desde la perspectiva de la elaboración de las políticas públicas locales y que permiten afianzar la búsqueda de mayor igualdad.

Con el estudio de caso presentado en *Aportes metodológicos para un modelo de ocupación y políticas territoriales en el estado de Chihuahua (Methodological Contributions for the Territorial Occupation Model of the Mexican State of Chihuahua)* se busca potencializar el desarrollo para la zona fronteriza de México con criterios para el ordenamiento del territorio con una filosofía de sustentabilidad obedeciendo a políticas federales e internacionales estipuladas por diversos organismos de carácter binacional, de tal manera que se propicie la generación de una región de dominio alterna a otras estrategias institucionales planteadas a nivel nacional.

A continuación, en el trabajo *Deformaciones superficiales por los sismos de gran magnitud recientes en México detectadas mediante técnicas satelitales (Surface Deformations Caused by the Latest Major Earthquakes in Mexico Detected by Means of Satellite Techniques)* se describe la forma en que el posicionamiento satelital y las imágenes de radar de apertura sintética permiten detectar y cuantificar los desplazamientos del terreno provocados por los temblores, como los ocurridos en el país en el 2017 y 2018, con lo que es posible identificar los efectos en el marco de referencia geodésico e implementar modelos para mantener la calidad de la Red Geodésica Nacional, de acuerdo con las especificaciones de las normas técnicas.

Para concluir, en *Sesgos en la medida de convergencia de los indicadores componentes del Índice de Rezago Social de las entidades federativas de México (Biases in the Convergence Measure of the Component Indicators of the Social Backwardness Index of the Federal Entities of Mexico)* se trata de demostrar que los estados que presentaron mayores niveles de rezago social durante el periodo 2000-2015 no son los que tuvieron más reducciones en sus carencias, que son los lugares donde se han orientado los esfuerzos de la política de desarrollo social. Parte de la hipótesis de que la medida que utilizó el CONEVAL para cuantificar la disminución de las variables estaba sesgada hacia la detección de superiores avances en las entidades con mayores valores iniciales.

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

# Imágenes de radar para estudios territoriales, caso: inundaciones en Tabasco con el uso de imágenes SAR Sentinel-1A y Radarsat-2

## Radar Images for Territorial Studies. Flooding in Tabasco Using SAR Sentinel-1A and Radarsat-2

Yolanda Margarita Fernández-Ordoñez, \* Jesús Soria-Ruiz, \*\* Brigitte Leblon, \*\*\* Antonia Macedo-Cruz, \* Martha Elva Ramírez Guzmán\*  
y Miguel Escalona-Maurice\*

\* Colegio de Postgraduados en Ciencias Agrícolas (COLPOS)-Campus Montecillo, yfernand@colpos.mx, amacedo@colpos.mx, martharg@colpos.mx y mescalona@colpos.mx, respectivamente.

\*\* Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), soria.jesus@inifap.gob.mx

\*\*\* University of the New Brunswick, Canadá, bleblon@unb.ca

**Nota:** trabajo realizado con el apoyo financiero del Fondo Sectorial CONACYT-INEGI, proyecto núm. 278970: Imágenes de Radar para Estudios Territoriales: Análisis, Aplicación y Caso de Estudio.



Streets are flooded in Villahermosa, Tabasco State, Mexico/Bloomberg/Getty Images

Este trabajo es el producto de una investigación aplicada para contribuir al conocimiento y uso de imágenes satelitales de radares de apertura sintética (SAR). Su análisis proporciona información que, junto con la de procesadores de imágenes y sistemas de información geográficos, han probado su utilidad en otros países con resultados satisfactorios para el monitoreo de fenómenos terrestres, particularmente en zonas ecuatoriales y polares. Se presenta un caso de estudio realizado en Tabasco, México: el área padece inundaciones de manera recurrente que provocan pérdidas a los sectores rural, pecuario y de servicios, afectando la economía de la entidad. Su objetivo fue determinar el comportamiento de aquellas en la temporada de lluvias utilizando imágenes de SAR *Sentinel-1A* y *Radarsat-2*. Se llevó a cabo en el 2017, cuando las precipitaciones registradas indicaron un acumulado de 2 013.9 mm y los meses más lluviosos fueron septiembre y octubre. Se obtuvo la cartografía comparativa de zonas inundadas, cuerpos de agua y humedales para la temporada de lluvia *versus* la de sequía. La metodología generada puede ser empleada para dar seguimiento a las inundaciones con imágenes SAR y es accesible a personal técnico del Instituto Nacional de Estadística y Geografía y a gobiernos estatales que atienden emergencias y desastres naturales.

**Palabras clave:** inundaciones; imágenes de radar (SAR); *Sentinel-1A*; *Radarsat-2*.

Recibido: 30 de diciembre de 2018.

Aceptado: 4 de julio de 2019.

## 1. Introducción

El radar es una tecnología de teledetección que se desarrolló en la Segunda Guerra Mundial, cuyo principio físico es emitir pulsos de energía electromagnética (EM) con un rango muy estrecho de frecuencias y construir imágenes usando los datos de EM que retornan al sensor. El radar de apertura sintética (SAR, por sus siglas en inglés, *Synthetic Aperture Radar*) está ofreciendo de manera intensiva conjuntos de datos que son clave en la investigación geoespacial, los cuales se integran en productos satelitales provenientes de diver-

This work is the product of applied research to contribute to the knowledge and use of satellite images of synthetic aperture radars (SAR). Its analysis provides information that, together with that of image processors and geographic information systems, have proven to be useful in other countries with satisfactory results for the monitoring of terrestrial phenomena, particularly in equatorial and polar areas. A case study is presented in Tabasco, Mexico: the area suffers from recurrent flooding that causes losses to the rural, livestock, and services sectors, affecting the economy of the entity. Its objective was to determine the behavior of those in the rainy season using images of SAR *Sentinel-1A* and *Radarsat-2*. It was carried out in 2017, when the registered rainfall indicated an accumulation of 2,013.9 mm and the rainiest months were September and October. The comparative mapping of flooded areas, bodies of water, and wetlands was obtained for the rainy season *versus* the dry season. The methodology generated can be used to monitor floods with SAR images and is accessible to technical personnel of the National Institute of Statistics and Geography and to state governments that attend to emergencies and natural disasters.

**Key words:** flooding; radar images (SAR); *Sentinel-1A*; *Radarsat-2*.

sos sensores SAR de agencias espaciales de varios países. A diferencia de muchos otros métodos de observación terrestre, la función del SAR no está limitada por la iluminación o la cubierta de nubes. En los últimos años, debido a un número cada vez mayor de instrumentos orbitales SAR, ha habido un aumento significativo en la calidad de los datos y en la disponibilidad de la información.

El objetivo general de este trabajo es contribuir a que instituciones mexicanas se acerquen al conocimiento de la tecnología de teledetección con SAR. Para ello, se hace una revisión somera de los

principios básicos de esta, la cual es un tema muy amplio. Para ello, se presenta un caso de estudio de interés nacional que se llevó a cabo en el estado de Tabasco, México, que se refiere al fenómeno de inundación, investigación de la que derivó una metodología que ilustra cómo puede aplicarse la percepción remota con SAR.

En la segunda sección de este documento se revisan puntos relevantes de los sensores de radar de apertura sintética y se comentan algunas aplicaciones sobresalientes que permiten resaltar la diferencia entre la percepción remota óptica y la radar. La tercera aborda el caso de estudio con las consideraciones necesarias de aplicación incorporadas en una metodología, la cual es accesible a personal técnico de diversas organizaciones, en particular del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) y de gobiernos estatales que atienden emergencias y desastres naturales.

## 2. Teledetección con SAR

El radar de apertura sintética es un sistema de visión lateral espacialmente coherente que se utiliza, sobre todo, en la trayectoria de vuelo de la plataforma del sensor para simular una apertura de antena extremadamente grande de forma electrónica y que genera, así, imágenes de detección remota de alta resolución.

Esta tecnología se utiliza, principalmente, en países ecuatoriales —donde la nubosidad es continua— para dar seguimiento a fenómenos dinámicos. Es idónea para monitorear zonas terrestres independientemente de la condición climática prevalente al momento de la toma de imagen.

Según su diseño, los distintos sensores de radar emiten con características propias su EM hacia la superficie terrestre y la reciben para integrar con los datos recibidos las imágenes de radar; por ello, estas son de naturaleza muy distinta de las ópticas y requieren de otras técnicas y conocimientos para su explotación como fuentes de información. No solo captan datos en zonas del espectro electro-

magnético diferentes de las utilizadas en las ópticas, sino que pueden contener valores inducidos por los objetos bajo estudio de acuerdo con parámetros del funcionamiento del radar.

### 2.1. Aplicaciones del SAR

Algunas recientes incluyen: la detección de cambios de uso de suelo (Lamperein, 2004); la identificación y seguimiento de derrames de petróleo en el mar (Solberg *et al.*, 2007); el monitoreo de cultivos (McNairn *et al.*, 2009; Zhou *et al.*, 2017; Soria-Ruiz *et al.*, 2007); el seguimiento de inundaciones (LaRocque *et al.*, 2014; Jahncke *et al.*, 2018; Mleczo and Mróz, 2018); la interferometría, una técnica avanzada de SAR aplicada en la exploración minera y en la generación de modelos de elevación digital (Rao *et al.*, 2004), y también exploración con el radar de apertura sintética interferométrica diferencial (DInSAR, por sus siglas en inglés) (Liu *et al.*, 2014; Yang *et al.*, 2017); la detección de asentamientos arqueológicos selváticos (LaRocque y Gadoury, 2017; LaRocque *et al.*, 2019); el mapeo de hielo en los polos (Nagler *et al.*, 2015); el estudio de incendios forestales (Polychronaki *et al.*, 2013 y Verhegghen *et al.*, 2016); e incluso, la búsqueda de agua en Marte (Holt *et al.*, 2008; Orosei *et al.*, 2018).

Recientemente, la Comisión Europea ha identificado seis temas donde el SAR tiene aplicaciones directas mediante el sensor *Sentinel-1A*, apoyándose en los servicios operativos basados en datos de observación de la Tierra: respuesta a emergencias; monitoreos marinos y atmosféricos; así como seguridad y clima (Moreira, 2013).

Los fenómenos devastadores incluyen sequías, inundaciones, deslizamiento de tierras, maremotos y descongelamiento de hielos polares, entre otros. Los eventos extremos provocados por el calentamiento global del planeta son de especial interés en la investigación científica, ya que cada vez son más recurrentes con consecuencias devastadoras en todos los rincones del mundo. Cada año se estiman más de 90 mil decesos de personas con afectación de otros 160 millones alrededor del

mundo por fenómenos naturales. Según Scheuren *et al.* (2008), las inundaciones representaron 55% de los desastres totales informados en el 2007 a nivel mundial, los cuales tuvieron un impacto humano muy alto (177 millones de víctimas) con grandes daños económicos y un estimado de 24.5 mil millones de dólares.

## 2.2. Ventajas del SAR

Las imágenes satelitales de los sensores ópticos se han incorporado cada vez más en la colecta de información terrestre y marina; sin embargo, estas no son las idóneas para la adquisición de datos de manera ininterrumpida, ya que dependen de la luz solar, por lo que se ven afectadas por efectos del clima. Por otra parte, su utilización presenta limitaciones en zonas nubosas, con bruma, niebla y en regiones tropicales, haciendo imposible un seguimiento adecuado de fenómenos dinámicos. Por ello, el uso de la teledetección en estos casos solo es posible con imágenes de radar.

La EM con la que operan los sensores SAR permite obtener datos de observación de la Tierra independientemente de perturbaciones atmosféricas y de luz solar. La EM penetra nubosidad y otras perturbaciones atmosféricas e incluso logra cierta penetración en el terreno. Por esa capacidad, es posible obtener tomas de imágenes diurnas y nocturnas, cuyo contenido de datos es de naturaleza distinta de los de las ópticas. Estos dependen de parámetros y características como: la polarización de la señal electromagnética enviada y recibida, el ángulo de incidencia del rayo y la resolución espacial y temporal. La polarización es una de las características relevantes para la extracción de información de imágenes SAR. Este documento no pretende abordar de manera exhaustiva el vasto tema de la percepción remota por radar de apertura sintética.

En los siguientes párrafos se resumen explicaciones necesarias para una mayor claridad de resultados de este trabajo: la designación de las bandas de radar, la naturaleza de la polarización de las imágenes

y las características de los datos que se incorporan en el histograma correspondiente a una imagen de radar procesada.

Los rangos del espectro electromagnético de las imágenes de radar se conocen técnicamente como bandas, las cuales se caracterizan por la frecuencia y la longitud de onda de EM en las que opera un sensor de radar determinado. El cuadro 1 muestra la nomenclatura de bandas de radar donde se encuentran subrayadas las usadas con más frecuencia.

**Cuadro 1**  
**Bandas de radar y los rangos de longitud de onda y frecuencia que operan**

Banda	Longitud de onda ( $\lambda$ ) (cm)	Frecuencia (GHz)
Ka	0.8 a 1.1	40.0 a 26.5
K	1.1 a 1.7	26.5 a 18.0
Ku	1.7 a 2.4	18.0 a 12.5
<u>X</u>	2.4 a 3.8	12.5 a 8.0
<u>C</u>	3.8 a 7.5	8.0 a 4.0
S	7.5 a 15.0	4.0 a 2.0
<u>L</u>	15.0 a 30.0	2.0 a 1.0
P	30.0 a 100.0	1.0 a 0.3

La polarización estudia el uso de múltiples retornos de la señal devuelta o rebotada para inferir información sobre una superficie. La de instrumentos espaciales SAR se define en términos del campo eléctrico denotado por Y y del magnético, por X. En la figura 1 se ilustra una onda plana linealmente polarizada que se propaga de izquierda a derecha. Los campos eléctrico y magnético están en fase uno respecto al otro, es decir, alcanzan de manera simultánea sus máximos y mínimos. Los sensores SAR tienen distintas posibilidades de polarización de la EM que transmiten a la Tierra y la que captan al retorno: la transmisión puede ser de señal polarizada vertical u horizontalmente y la de retorno o retrodispersión terrestre, horizontal o verticalmente (ver figura 2).



Figura 1

**Onda plana linealmente polarizada que se propaga de izquierda a derecha**

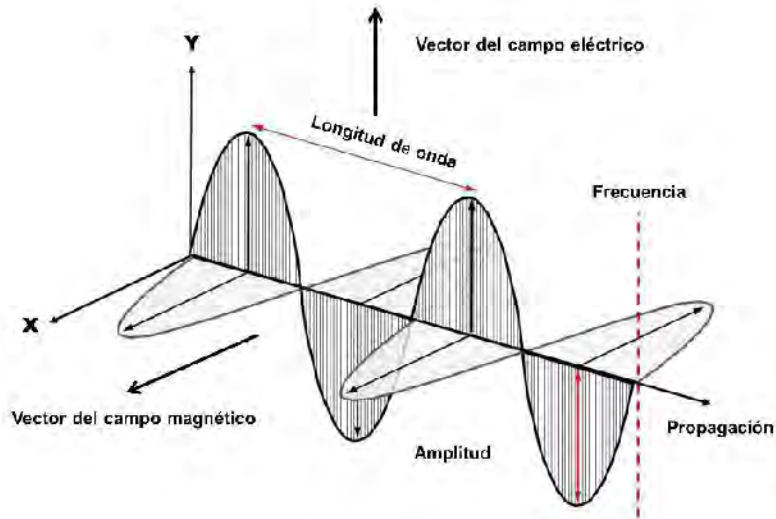
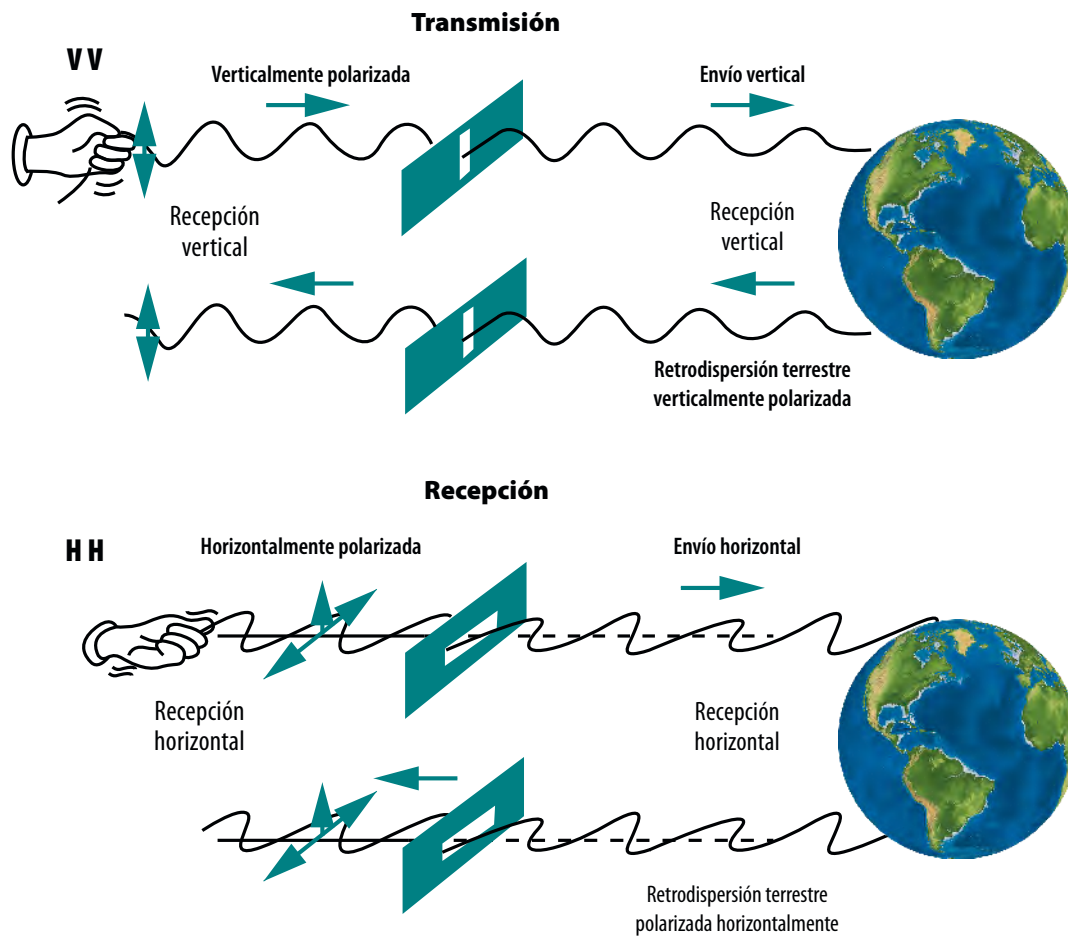


Figura 2

**Señales vertical y horizontalmente polarizadas de transmisión (envío) y recepción (retrodispersión)**



Fuente: Jensen, J. R. *Remote Sensing of the Environment: An Earth Resource Perspective*. Prentice Hall, 2000 (adaptada).

El cuadro 2 muestra la banda y la polarización de los sensores SAR *Sentinel-1A* y *Radarsat-2*. Obsérvense las alternativas disponibles en los productos de ambos: el primero ofrece polarizaciones simples y duales, mientras que el segundo es completamente polarimétrico al incluir, además de las simples y duales, las cuatro combinaciones posibles simultáneamente. Existen otros parámetros involucrados en la toma de imágenes SAR, los cuales incluyen el ángulo de incidencia del rayo de energía, el ancho de barrido o *swath* y las resoluciones espacial y temporal.

Cuadro 2

**Algunos sensores SAR**

Sensor	Banda	Polarización
<i>TerraSar-X</i>	X 12.5 GHz	HH VV HV VH HH+HV VV+VH HH+VV+HV+VH
<i>Sentinel-1A</i>	C 5.4 GHz	HH VV VV+VH HH+HV
<i>Radarsat-2</i>	C 5.4 GHz	HH VV HH+HV VV+VH HH+VV+HV+VH

**3. Caso de estudio: inundaciones en Tabasco**

El objetivo de este, realizado como parte de la investigación, es ilustrar, por una parte, cómo aplicar la percepción remota con SAR y, por la otra, abordar un fenómeno de interés nacional consistente en determinar zonas inundadas con imágenes de sensores de radar.

En México existen zonas que constantemente están expuestas a eventos extremos de inundación. De acuerdo con informes meteorológicos, estos se presentarán con mayor frecuencia e intensidad en los años venideros. Saber qué ocurre en una ven-

tana de tiempo mediante la percepción remota acerca al conocimiento de este tipo de eventos. En algunas regiones de país, cuando la precipitación es excesiva, en particular en la temporada de lluvias, esta se convierte en un problema que ocasiona inundaciones severas. El fenómeno ha sido más recurrente en zonas de impacto de los huracanes (costas del Pacífico y la península de Yucatán) o en regiones donde la lluvia sobrepasa la media normal (por lo regular en Tabasco y Chiapas) causando el desbordamiento de ríos.

Por ello, se eligió un evento extremo particular de inundación para resaltar las ventajas de aplicación de imágenes SAR bajo condiciones de nubosidad y lluvia referido en especial al estado de Tabasco, y se desarrolló una metodología para determinar el comportamiento de las inundaciones que ocurren en la temporada de lluvias utilizando imágenes SAR de los sensores *Sentinel-1A* y *Radarsat-2*. Se anticipa que dicha metodología incrementa la capacidad de respuesta a las demandas nacionales para estudios de este tipo.

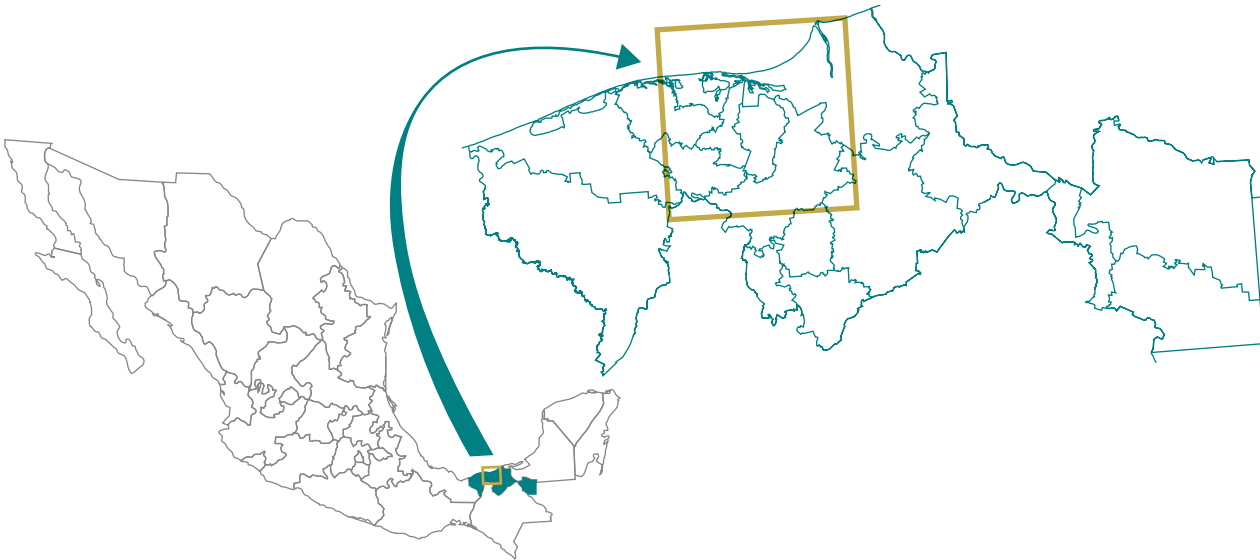
Tabasco es una entidad que padece inundaciones año con año que provocan pérdidas en los sectores agrícola, pecuario y de servicios, así como, en general, en la economía del estado, esto debido a dos causas: a) entre los límites con Chiapas se registran los índices más altos de lluvia en el país y b) 89% de la superficie de su territorio es plana, lo que provoca fuertes inundaciones por los desbordamientos de ríos, cuyos afluentes provienen de las áreas de captación de Chiapas y Guatemala.

**3.1. Área de estudio**

Se ubica dentro del estado de Tabasco (ver figura 3) y cubre una superficie total de 3 800.9 km<sup>2</sup>: abarca parte de los municipios de Comalcalco, Paraíso, Cunduacán, Centla, Centro, Macuspana y la totalidad de los de Jalpa de Méndez y Nacajuca. El trabajo de investigación se realizó en el 2017 y 2018, y se eligió para abarcar zonas agrícolas y pecuarias que han reportado inundaciones recurrentes en los últimos 10 años.

Figura 3

**Área de estudio en el contexto del estado de Tabasco**



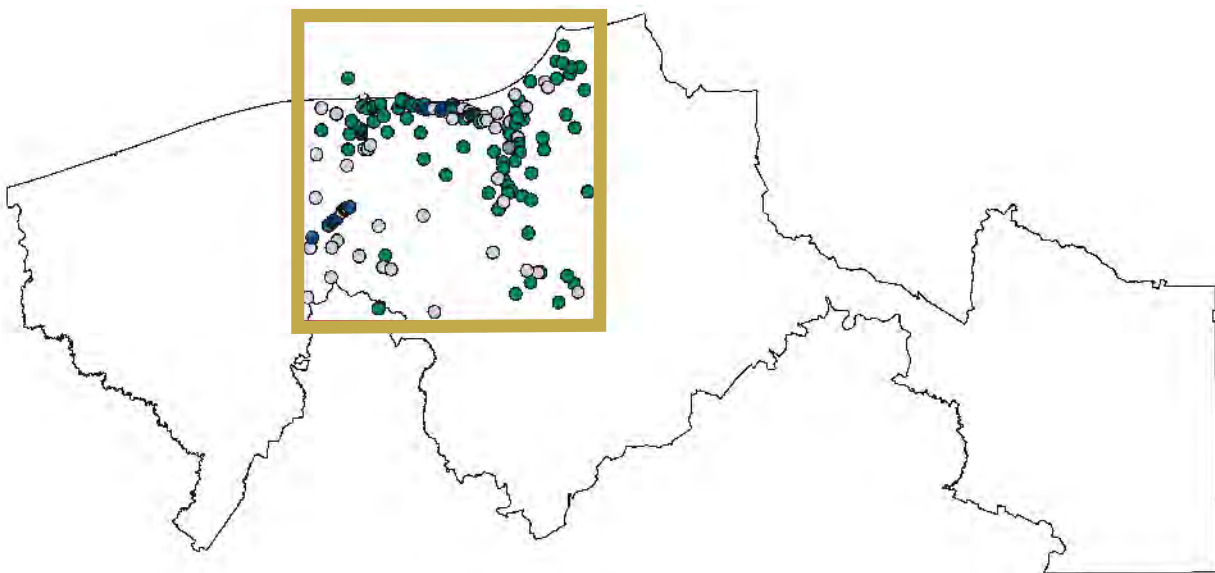
**3.2. Trabajos de campo**

Consistió en hacer recorridos dentro del área de estudio durante el periodo de lluvias (octubre del 2017) con el propósito de realizar el levantamiento de puntos georreferenciados mediante el uso de

navegadores satelitales. Se generaron 147 puntos que corresponden a praderas y áreas agrícolas inundadas, pantanos, zonas urbanas y semiurbanas, cuerpos de agua permanentes e intermitentes, terrenos frutícolas y manglares, entre otros (ver figura 4).

Figura 4

**Puntos generados en el área de estudio**



### 3.3. Gestión de imágenes de radar utilizadas

Tanto las *Sentinel-1A* como *Radarsat-2* se ubican en la banda C (5.4 GHz). Para determinar la dinámica de las inundaciones, se analizaron imágenes de radar correspondientes a dos fechas de toma: temporadas de sequía (febrero y marzo del 2017) y lluvias (agosto y octubre del 2017).

#### Imágenes *Sentinel-1A*

Estas forman parte de una constelación de dos satélites de radar de apertura sintética coordinada por la Agencia Espacial Europea (ESA, por sus siglas en inglés, *European Space Agency*) que se emplean para las misiones de observación de la Tierra que conducen diversas naciones con sensores SAR (Batazza, 2011). Las imágenes que se usaron en este trabajo se gestionaron desde la plataforma denominada *Alaska Satellite Facility* de la ESA.

Debido a que el sensor *Sentinel-1A* proporciona imágenes en polarizaciones duales (HH o VV), y adicionalmente las que operan en altas frecuencias de transmisión de la señal, para detectar cuerpos

de agua y humedales con presencia de vegetación herbácea, en este estudio de caso se eligieron VV y VH (ver cuadro 3).

#### Imágenes *Radarsat-2*

El sensor para estas forma parte de una misión satelital financiada conjuntamente por la Agencia Espacial Canadiense (CSA, por sus siglas en inglés) y *MacDonald Dettwiler Associates (MDA)* en una asociación industria/gobierno. Proporciona imágenes desde alta resolución (5 m) hasta estándar (100 m). Las utilizadas fueron seleccionadas desde la plataforma de la empresa *MDA-Corporation* de Canadá y se adquirieron mediante orden de compra a través de su proveedor en México. El cuadro 4 resume sus características.

### 3.4. Software utilizado

Para el procesamiento de las imágenes *Sentinel-1A* y *Radarsat-2*, se eligió el procesador SNAP© Versión 6.0 (*Sentinel Application Platform*), desarrollado por la ESA bajo una arquitectura de *software* unificada para la explotación de datos de observación terrestre. Para manipular información de campo

Cuadro 3

#### Características de las imágenes de radar *Sentinel-1A* utilizadas

Producto:	S1A_IW_GRDH_1SDV	S1A_IW_GRDH_1SDV
Fechas de toma:	14 de marzo del 2017 (sequía)	08 de octubre del 2017 (lluvias)
Nivel procesamiento:	(1), estándar (georreferenciado)	(1), estándar (georreferenciado)
Modo del haz ( <i>Beam mode</i> ):	(IW) <i>Interferometric Wide</i> (5 x 20)	(IW) <i>Interferometric Wide</i> (5 x 20)
Ancho de barrido:	250 km	250 km
Tipo de producto:	(GRD) <i>Ground Range Detection</i>	(GRD) <i>Ground Range Detection</i>
Polarización:	1SDV: (dual VV + VH)	1SDV: (dual VV + VH)
Frecuencia:	Banda C	Banda C
Paso:	Ascendente	Descendente

Cuadro 4

Características de las imágenes *Radarsat-2* utilizadas

Producto:	RS2_OK95717_PK841604_DK772742_XF0W2	RS2_OK95717_PK841605_DK772743_XF0W2
Fechas de toma:	10 de marzo del 2017 (sequía)	25 de agosto del 2017 (lluvias)
Nivel de procesamiento:	1	1
Modo adquisición:	Extrafino (5 m)	Extrafino (5 m)
Ancho de barrido ( <i>swath</i> ):	50 km	50 km
Angulo de incidencia:	30-50°	30-50°
Tipo de producto:	SGF	SGF
Polarización:	Simple: HH	Simple: HH
Frecuencia:	Banda C	Banda C
Paso:	Ascendente	Ascendente

de formato *raster* y/o vectorial y la producción de mapas finales, se utilizó el sistema de información geográfica (SIG) *ArcGis*®-Versión 10.5.

### 3.4.1. Formatos de las imágenes SAR

El formato nativo de las *Sentinel-1A* es *\*.DIMAP*; al momento de abrir una imagen con el procesador SNAP se reconoce y el *software* la abre sin problema alguno. Para el caso de las *Radarsat-2*, es *\*.GeoTIFF*; para abrir y visualizar las imágenes en la plataforma SNAP, previamente deben ser importadas a un formato genérico *\*.DIMAP*. Es muy importante tomar en cuenta que todos los archivos de origen de las imágenes SAR están compactadas con *\*.zip*; se recomienda no descomprimir el archivo antes de ser visualizadas con SNAP, el *software* lo hace de forma automática.

### 3.4.2. Procesamiento de imágenes SAR

Este se dividió en dos etapas: preprocesamiento y análisis para extracción de la información.

#### Preprocesamiento

Esta fase incluye:

- Recorte y extracción de la subimagen. Se realiza un primer recorte de la imagen original para reducir su tamaño.
- Calibración radiométrica. Consiste en crear una imagen donde el valor de cada pixel esté relacionado directamente con la retrodispersión de la escena; en otras palabras, la corrección radiométrica elimina valores altos de la señal de rebote en áreas con topografía compleja.
- Filtrado y/o *multilooking*. El ruido (*speckle*) es inherente a las imágenes de radar y dificulta la interpretación por el efecto de *sal y pimienta*, el cual distorsiona la información del terreno. Existen varias técnicas para eliminar el ruido; se puede utilizar el filtrado espacial para alisar la imagen, o bien, realizar el *multilook* a la imagen, que consiste en dividir el haz del radar en varios subhaces (más angostos). Cada subhaz proporciona un *look* independiente al área iluminada; cada *look* contiene *speckle*; al sumar los diferentes *looks* y promediar, se obtiene una imagen con el ruido reducido.
- Calibración geométrica. Las principales distorsiones geométricas de la imagen son debidas al rango oblicuo (*slant range*), a la inversión del relieve, a las sombras y al des-

plazamiento en contra del nadir. Para corregir todas las distorsiones, se aplica la corrección geométrica utilizando el sistema de proyección UTM/WGS84, en este caso es el que corresponde a la zona 15 de Tabasco. El algoritmo de corrección utiliza un modelo digital de elevación (MDE) para realizar la corrección.

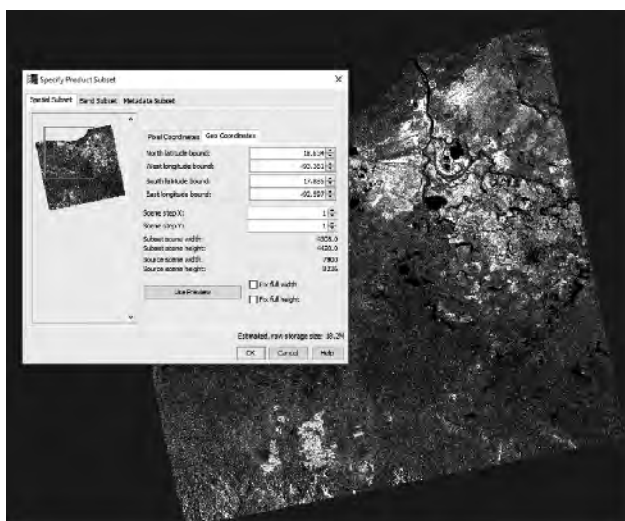
- Conversión de  $\text{Sigma}^0$  a decibeles (dB). La señal de rebote contenida en la imagen original contiene ruido, y se expresa como  $\text{Sigma}^0$ . Para una mejor interpretación de esta señal, se debe convertir a dB. La información numérica que se capta —*Digital Number (DN)*— en una imagen de radar es el haz de luz que fue devuelta de la superficie (retrodispersión) y que fue captada por la antena del radar. La interpretación de las relaciones entre los DN almacenados en forma matricial no es inmediata, requiere de una serie de transformaciones. El resultado es la retrodispersión, conocida como  $\text{Sigma}^0$  ( $\sigma^0$ ), cuyos valores se miden en dB y son independientes del tamaño de pixel. Cada pixel de una imagen representa, entonces, la retrodispersión normalizada de un área en la superficie, las más oscuras indican valores bajos y las brillantes, altos. El rango típico

de valores para superficies terrestres naturales es de +5 dB correspondiente a muy brillante y -40 dB, a muy oscuro. De manera general, los valores en áreas brillantes indican que una porción significativa de la energía en la señal de radar fue rebotada hacia la antena; áreas oscuras indican escasa energía; sin embargo, los valores de  $\sigma^0$  varían de acuerdo con otras condiciones, como el tamaño de los objetos retrodispersores (tipo de cultivos, hojas de árboles, movimiento de aguas, etc.), orientación respecto del sensor y longitud de onda que usa, contenido de humedad, polarización de la energía enviada/recibida y ángulos de observación. El histograma es la representación gráfica básica de los valores de brillantez que forman la imagen; indica valores de dispersión en el eje x y la frecuencia de ocurrencia de estos en el y. En este trabajo no se consideró necesario hacer una ampliación del histograma pues, simplemente, se muestra que la mayoría de los valores indican agua, aunque los histogramas para las polarizaciones sí presentan diferencia.

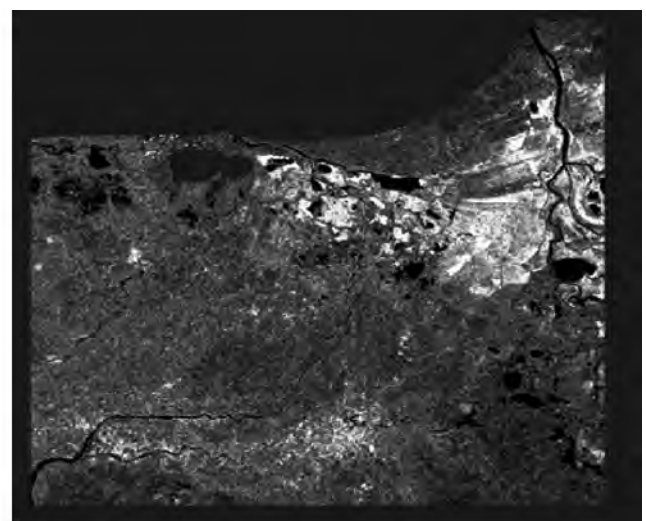
- Segundo recorte con coordenadas extremas. Esto se hace una vez obtenida la imagen preprocesada (ver figura 5).

Figura 5

### Imagen recortada que muestra el área de estudio



(a) Primer recorte.



(b) Segundo recorte.

## Análisis y extracción de información

Esto incluye el análisis del histograma de la imagen y la definición de límites de valores de dB:

- Análisis de histograma. Con este se separan las zonas inundadas, cuyo criterio es el valor promedio de la señal de retrodispersión expresado en dB en la imagen, como se indicó arriba, para lo cual se identifican dos picos: el inferior representa agua y el superior, lo que no es agua. Se elige el que separa el agua de otros valores, en este caso es -18.85 dB. Este análisis se realiza para cada una de las imágenes según su polarización; para este trabajo, se utilizó la dual de *Sentinel-1A* (VV y VH) tanto del periodo de sequía como el de lluvias y, así, determinar las zonas inundadas.
- Definición de límites de valores de dB. Mediante el análisis de los valores de dB en el histograma, se definieron los límites de los de la retrodispersión expresados en dB. Para ello, se utilizó un editor matemático que contiene el SNAP en el módulo *Raster*. Se edita la expresión matemática para que indique lo siguiente:  $-255 * (\text{Sigma}^0_{\text{VHdB}} < -18.85)$ . El resultado es una imagen donde el agua tiene un valor de 255 y el dB es igual a 19.71; la resultante muestra los cuerpos de agua, zonas inundadas y humedales según el periodo de análisis de esta.

### 3.5. Cartografía temática de zonas inundadas

Las imágenes SAR clasificadas de *Sentinel-1A* y *Radarsat-2* de las temporadas de sequía y lluvia fueron respaldadas en dos formatos para su visualización: *\*.shp* y *\*.kmz*. El primero es para extraer las estadísticas de superficies inundadas y la elaboración de los mapas temáticos en un SIG (*ArcGis®-V 10.5*); el segundo es útil para visualizar las zonas inundadas en la plataforma *Google Earth*.

### 3.5.1. Registro de lluvias 2017 y zonas susceptibles de inundación

Se obtuvieron los datos de lluvia mensual y el acumulado reportados en el 2017 (CONAGUA, 2017). Estos son de suma importancia para relacionar la información pluviométrica con los resultados obtenidos a partir de las imágenes SAR y, para darles soporte, se utilizaron MDE de terreno y de superficie generados con tecnología LIDAR de 5 metros de resolución (INEGI, 2018), esto para determinar las zonas susceptibles de inundación.

### 3.6. Diagrama de la metodología generada

Esta se deriva de lo descrito en la sección anterior y se muestra en la figura 6: constituye el flujo de trabajo (protocolo técnico-operativo) para el procesamiento y análisis de imágenes *Sentinel-1A* y *Radarsat-2* con el software SNAP para detectar cuerpos de agua, zonas inundadas y humedales.

## 4. Resultados y discusión

Estos se presentan, primeramente, en lo que concierne a los dos tipos de imágenes utilizadas: *Radarsat-2* y *Sentinel-1A*. Enseguida, se aborda lo correspondiente a climatología y lluvias registradas en el 2017 y los comentarios sobre zonas susceptibles de inundación.

### 4.1. Zonas inundadas, cuerpos de agua y humedales en temporadas de lluvia y sequía con Radarsat-2

La figura 7 muestra la cartografía generada. La diferencia de superficie inundada en temporada de lluvia respecto a la de sequía es de 88.2 km<sup>2</sup>, que representa un incremento de 16.9%; la imagen *Radarsat-2* analizada con polarización simple HH durante las lluvias corresponde al mes de agosto y, como se puede observar en la gráfica (precipitaciones 2017), las más abundantes del año en esas fechas de análisis aún no se habían registrado.

Figura 6

### Diagrama metodológico generado para determinar zonas inundadas con imágenes SAR utilizando SNAP

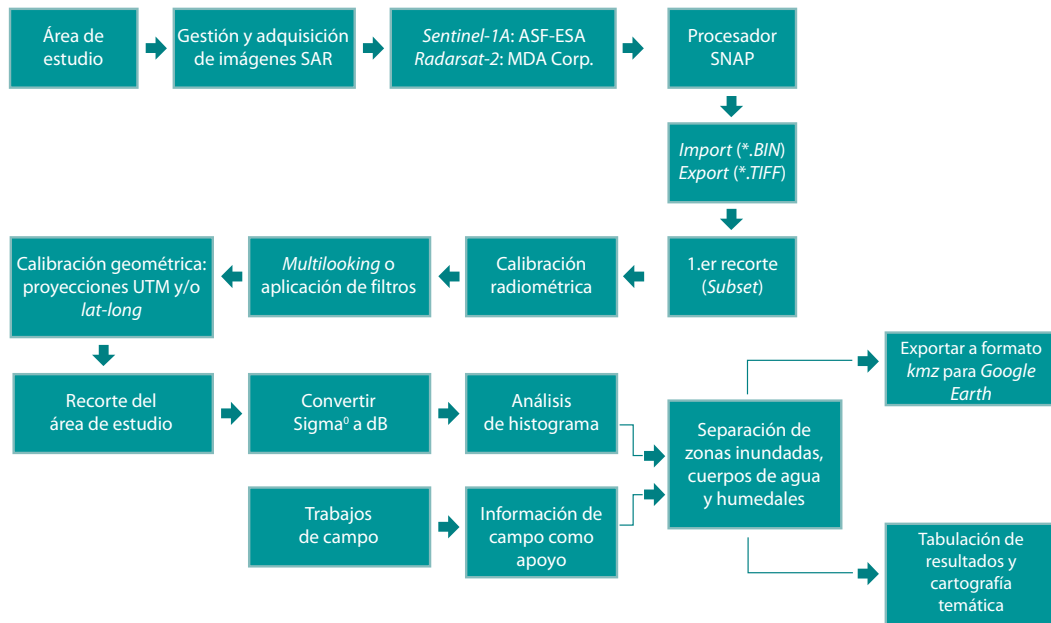


Figura 7

### Zonas inundadas, cuerpos de agua y humedales en la temporada de lluvia versus la de sequía obtenidas con imágenes Radarsat-2



Temporada de lluvias-polarización HH.

Temporada de sequía-polarización HH.



Las distintas polarizaciones producen datos diferentes; como en el caso de algunas investigaciones realizadas con datos del sensor *ASAR* para delimitar áreas inundadas, los resultados mostraron que los mejores datos se obtuvieron con la HH (Henry *et al.*, 2006). En el presente estudio, utilizando esta se hace evidente el incremento de las superficies inundadas en la temporada de lluvias (ver cuadro 5). La señal de envío/recepción con polarización dual para detectar inundaciones en aguas no abiertas, sino con presencia de vegetación inundada, depende de la física de la interacción de las microondas con la superficie de áreas inundadas, particularmente del grado de turbidez del agua y de la dispersión de la señal que retorna por la presencia de vegetación inundada.

Cuadro 5

#### Superficie inundada, cuerpos de agua y humedales en temporadas de lluvia y sequía en el 2017 obtenidas con imágenes *Radarsat-2*, polarización simple HH

SAR	Superficie inundada		Diferencia (%)
	Temporada		
	Sequía (km <sup>2</sup> )	Lluvias (Km <sup>2</sup> )	
<i>Radarsat-2</i> , polarización HH	519.7	607.9	16.9

#### 4.2. Zonas inundadas, cuerpos de agua y humedales en temporadas de lluvia y sequía con *Sentinel-1A*

El cuadro 6 muestra que las superficies inundadas presentan comportamientos similares en ambas polarizaciones (VH y VV) tanto en la temporada de lluvias como en la de sequía. La orientación del vector eléctrico presenta variaciones no significativas en la polarización, esto debido a que las antenas del sistema de radar *Sentinel-1A* están configuradas para transmitir y recibir radiación electromagnética polarizada horizontal (H) y verticalmente (V).

Cuadro 6

#### Superficie inundada, cuerpos de agua y humedales en temporadas de lluvia y sequía en el 2017 obtenidas con imágenes *Sentinel-1A*, polarización dual

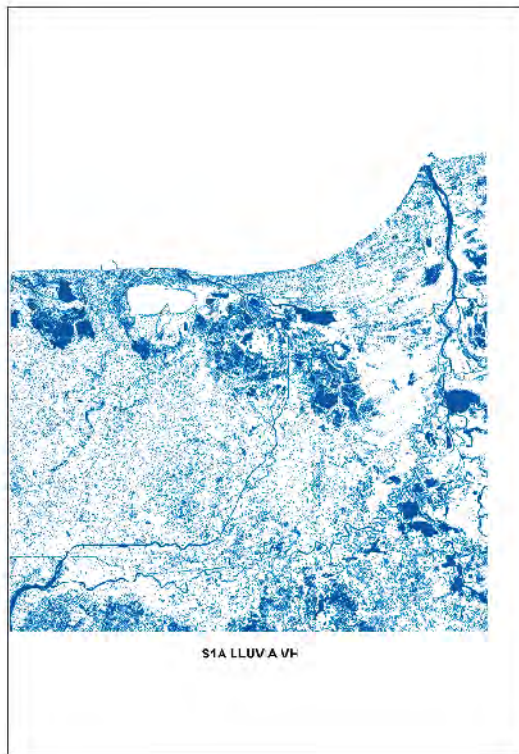
SAR	Superficie inundada Temporada		Incremento (%)
	Sequía (km <sup>2</sup> )	Lluvias (Km <sup>2</sup> )	
<i>Sentinel-1A</i> , polarización VH	1 076.51	1 280.52	18.9
<i>Sentinel-1A</i> , polarización VV	1 088.48	1 225.69	12.6
Promedio	1 082.49	1 253.10	15.7

Al comparar los resultados de las dos polarizaciones en una misma temporada (lluvia), con la VH se registra una superficie mayor de área inundada con respecto a la VV; esto se puede deber a la constante dieléctrica que influye en la absorción y reflexión de la energía de microondas. Debido a las diferencias en la humedad y, por lo tanto, en la constante dieléctrica, los materiales idénticos pueden variar en apariencia en diferentes momentos o lugares de acuerdo con la cantidad de humedad que contienen. Durante la transición de la superficie del suelo del estado seco al húmedo se registra un cambio en las propiedades dieléctricas de la superficie, lo cual causa un incremento notable en retrodispersión; nótese en los resultados de las temporadas de sequía y lluvias que registra un incremento en la superficie inundada con un porcentaje promedio de 15.7 (ver figura 8).

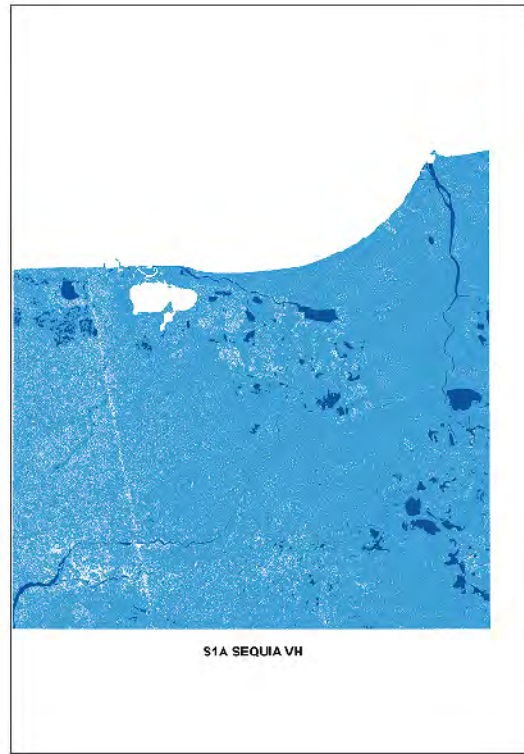
De acuerdo con investigaciones pioneras sobre la selección de parámetros para obtener imágenes de radar que incluyen distintas polarizaciones, la VV usualmente tiene una mayor razón señal/ruido que la HH. En este caso, se trabajó con polarizaciones duales (VV+VH) que están disponibles en *Sentinel-1A*. En estudios de percepción remota con radar, conviene determinar sobre la mejor selección de parámetros en función de los objetivos a alcanzar por una aplicación; por ejemplo, Evans *et al.* (1986) encontraron que los datos de imágenes

Figura 8

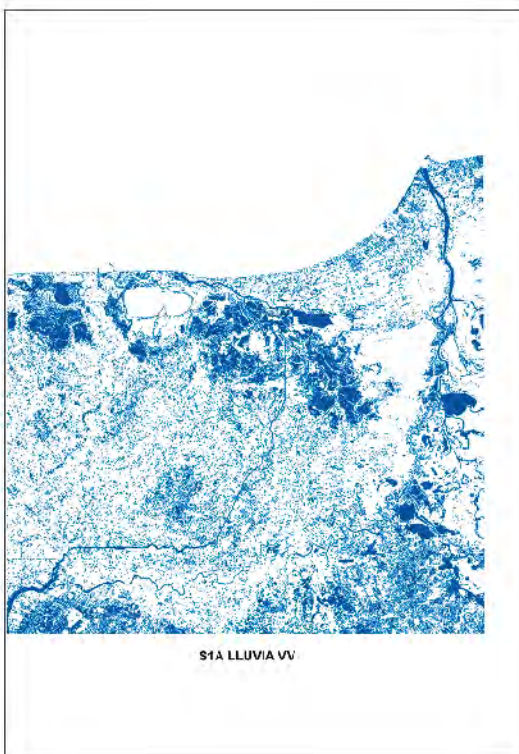
**Zonas inundadas, cuerpos de agua y humedales en las temporadas de lluvia y sequía obtenidas con imágenes *Sentinel-1A*, polarización VH y VV**



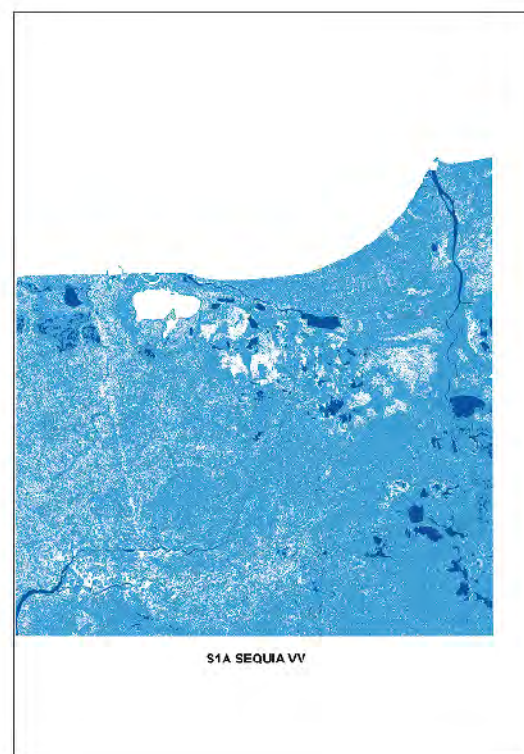
Temporada de lluvias-polarización VH.



Temporada de sequía-polarización VH.



Temporada de lluvias-polarización VV.



Temporada de sequía-polarización VV.

de polarización cruzada (i.e., HV o VH) son, en particular, útiles cuando se usan conjuntamente con datos de copolarización (i.e., HH o VV) para mapeos geológicos con presencia de vegetación.

### 4.3. Climatología y lluvias registradas en el 2017

En el área de estudio, 95.5% del estado tiene clima cálido húmedo y el restante, cálido subhúmedo. La temperatura media anual es de 27° C y la máxima promedio, de 36° C y se presenta en mayo; la mínima promedio es de 18.5° C y se registra en enero. La precipitación media es de 2 550 mm anuales; las lluvias se presentan todo el año, siendo más abundantes de junio a octubre. Al analizar las estadísticas climatológicas normales mensuales de un periodo de análisis 1991-2003 de la estación González (DGE), ubicada en el municipio de Centro (dentro del área de estudio), estas indican que la mayor precipitación pluvial (mm) se dio en septiem-

bre y octubre con un acumulado de 2 084.9 mm y 124.5 días con lluvia durante el año (Díaz *et al.*, 2006). Las precipitaciones registradas en Tabasco en el 2017 (CONAGUA, 2017) indican un acumulado de 2 013.9 mm, cuyos meses más lluviosos fueron septiembre y octubre, con 377.5 y 414 mm, respectivamente (ver gráfica).

### 4.4. Zonas susceptibles de inundación

A partir del MDE obtenido con LIDAR de 5 m y a través del SIG ArcGis®-V 10.5 se generaron 11 rangos de altitud. Las zonas susceptibles de inundación se muestran en la figura 9, en la cual se aprecian los diversos rangos de altitud donde el color azul oscuro corresponde a zonas más susceptibles de inundarse, cuyos rangos de altitud respecto al nivel medio del mar es de 0 a 2 metros. Los resultados indican que hay una alta correlación de zonas inundadas obtenidas con las imágenes de radar *versus* el modelo digital de elevación. Los afluentes

Gráfica

#### Comportamiento de la lluvia en el estado de Tabasco durante el 2017

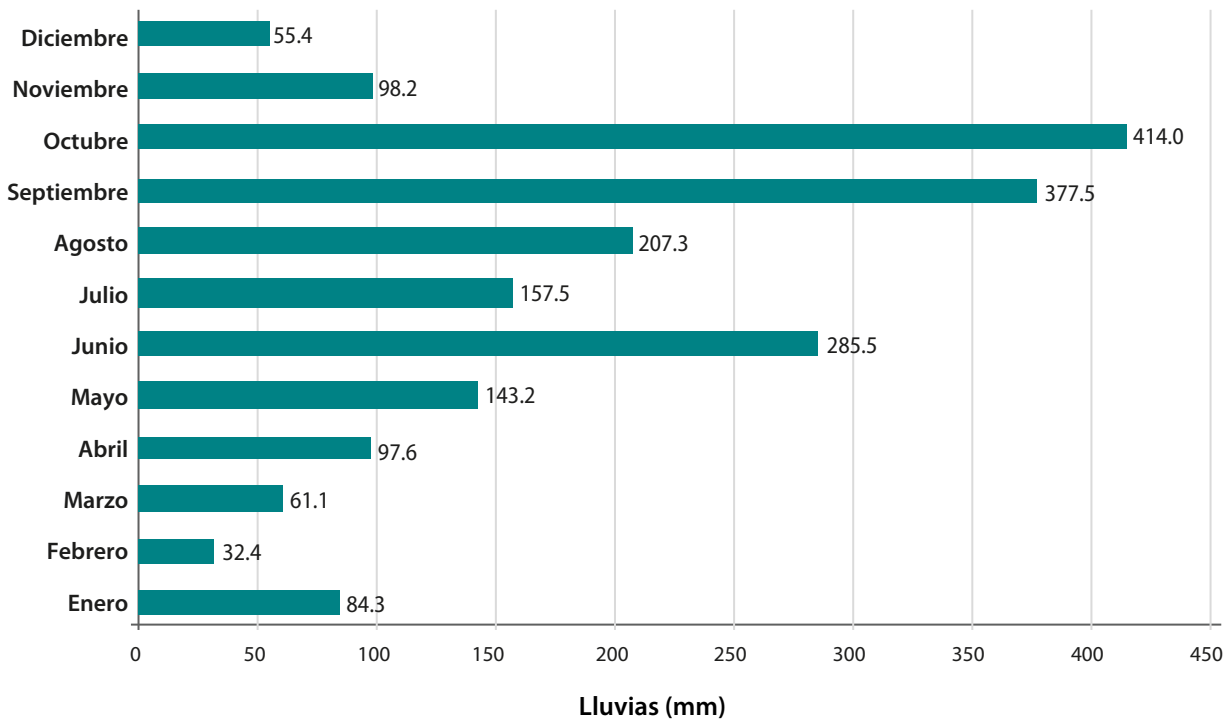
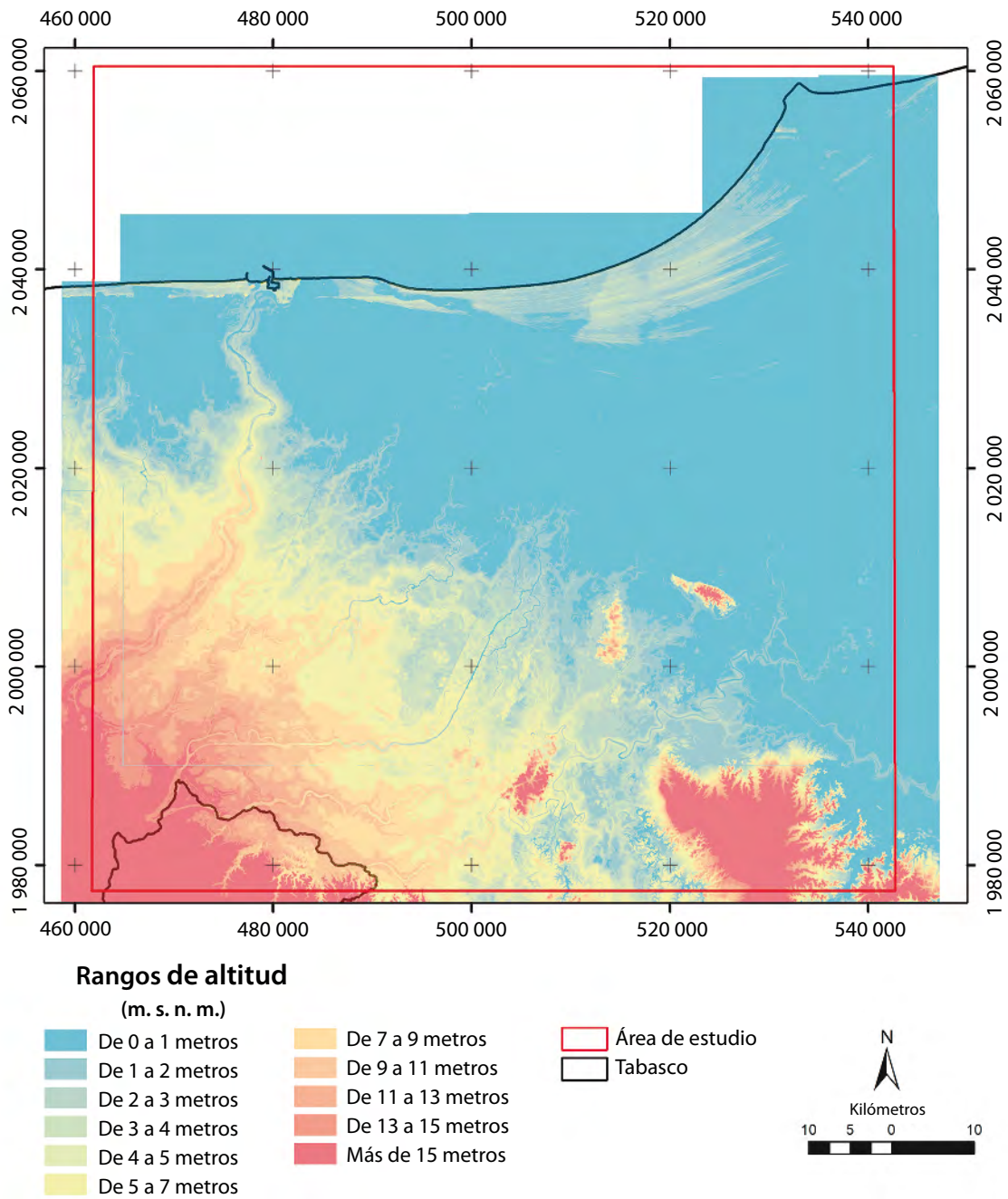


Figura 9

### Rangos de altitud para identificar zonas susceptibles de inundación obtenidos con LIDAR de 5 m de resolución



de agua provienen de las zonas de captación de partes altas (color rojo). Las lluvias de mayor intensidad y duración que se registraron en el 2017 fueron en septiembre y octubre, inundando las partes más bajas del área de estudio, incluyendo la capi-

tal Villahermosa (áreas de color azul pálido), además de los afluentes provenientes de los Altos de Chiapas y Guatemala que forman los ríos Grijalva y Samaria, los cuales, al desbordarse a lo largo de su trayecto causan grandes inundaciones antes de

desembocar al Golfo de México. Esta es la razón por la cual el estado de Tabasco sufre de inundaciones recurrentes.

## 5. Conclusiones

El presente trabajo muestra que las imágenes de SAR son un aporte real para el monitoreo de emergencias y la obtención de información base para la prevención de desastres, ya que pueden obtenerse datos bajo condiciones de lluvia, llovizna, nubosidad, humo o bruma, es decir, bajo cualquier condición atmosférica y climática. En particular, las imágenes que ofrecen distintas opciones de polarización permiten ensayos orientados a determinar sobre la selección de parámetros en función de los objetivos a alcanzar por una aplicación.

Las imágenes de radar de apertura sintética que se usaron en este trabajo permiten el seguimiento y monitoreo de fenómenos naturales, como las inundaciones que de manera recurrente padece el estado de Tabasco. El estudio mostró que en el 2017 se registró un incremento de la superficie inundada de 16.9 y 15.7% respecto a la temporada de sequía, resultados obtenidos con *Radarsat-2* y *Sentinel-1A*, respectivamente, utilizando polarizaciones simples y duales.

El aporte del presente estudio es la metodología generada para identificar y determinar zonas inundadas. Esta podrá ser utilizada por personal del INEGI, CENAPRED y gobiernos estatales para dar seguimiento a este fenómeno en el futuro inmediato, que cada vez se presenta con mayor frecuencia en el sur-sureste de México.

En la actualidad, la tecnología de percepción remota con SAR ha probado su utilidad en muchos ámbitos y países para la observación terrestre, como puede constatarse por la cantidad de eventos técnicos y científicos que se realizan, así como por la creciente cantidad de publicaciones. Es importante promover que instituciones mexicanas amplíen las aplicaciones y realicen investigación sobre los múltiples aspectos teóricos y

de aplicación involucrados, contribuyendo con ello al estudio y conocimiento del territorio nacional.

## Fuentes

- Batazza, F. *Mapping of the Antarctic Peninsula using COSMO-SkyMed constellation ScanSAR mode*. Agencia Espacial Italiana, 2011 (DE) [http://www.wmo.int/pages/prog/sat/meetings/documents/PSTG-1\\_Doc\\_07-02-03\\_ASI.pdf](http://www.wmo.int/pages/prog/sat/meetings/documents/PSTG-1_Doc_07-02-03_ASI.pdf) consultado el 29 de septiembre de 2018.
- Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). *Rainfall (mm) at National and Federation Entities 2017*. México, 2017 (DE) <http://smn.cna.gob.mx/es/climatologia/> consultado el 4 de enero de 2018.
- Díaz, P. G., A. Ruiz, G. Medina, M., A. Cano y V. Serrano. *Estadísticas climatológicas básicas del estado de Tabasco (periodo 1961-2003)*. Libro técnico núm. 12. Veracruz, México, INIFAP-CIRGOC, Campo Experimental Cotaxtla, 2006, 159 p.
- Evans, D. L, T. G Farr, J. P. Ford y T.W. Thompson. "Multipolarization Radar Images for Geologic Mapping and Vegetation Discrimination", en: *IEEE Transactions On Geoscience and Remote Sensing*. Vol. Ge-24, No.2. March, 1986, pp. 246-257.
- Henry, J. B., P. Chastanet, K. Fellah and Y. L. Desnos. "Envisat multi-polarized ASAR data for flood mapping", en: *International Journal of Remote Sensing*. 27:10, 2006, pp. 1921-1929, DOI: 10.1080/01431160500486724.
- Holt, J. W., A. Safaeinili, J. J. Plaut, J. W. Head, R. J. Phillips, R. Seu, S. D. Kempf, P. Choudhary, D. A. Young, N. E. Putzig, D. Biccari and Y. Gim. "Radar Sounding Evidence for Buried Glaciers in the Southern Mid-Latitudes of Mars", en: *Science*. 322-5905, 2008, pp. 1235-1238.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). *Modelo de elevación tipo superficie con 5 metros de resolución derivados de datos de sensores remotos satelitales y aerotransportados*. México, INEGI, 2108 (DE) <http://www.beta.inegi.org.mx/temas/mapas/relieve/continental/> consultado el 21 de febrero de 2018.
- Jahncke, R.; L. Leblon; P. Bush & A. Larocque. "Mapping wetlands in Nova Scotia with multi-beam RADARSAT-2 Polarimetric SAR, optical satellite imagery, and Lidar data", en: *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*. 68, 2018, 10.1016/j.jag.2018.01.012.
- Lamperein, P. P. *Diálogo Andino*. Núm. 23, agosto. Arica-Chile, Departamento de Antropología. Geografía e Historia, Facultad de Educación y Humanidades Universidad de Tarapacá, 2004.
- LaRocque, A. y W. Gadoury. "Mapping potential Maya sites in the Petén Campechano area (state of Campeche, Mexico) using optical and radar remote sensing", en: *Proceeding 37th Canadian Remote Sensing Symposium (Earth Observation Summit 2017)*. June 20-22, Montréal, QC, Canada, 2017.
- LaRocque, A., B. Leblon, R. Woodward, M. Mordini, L. Bourgeau-Chavez, A. Landon, N. French, J. McCarthy, T. Huntington y P. Camill. "Use of

- radarsat-2 and Alos-PalSAR SAR images for wetland mapping in New Brunswick”, en: *IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium Geosci. Remote Sens. Symp.* 2014, pp. 1226-1229.
- LaRocque, A., B. Leblon y J. Ek. “Detection of potential large Maya settlements in the northern Petén area (State of Campeche, Mexico) using optical and radar remote sensing”, en: *Journal of Archaeological Science: Reports*. Volume 23, 2019, pp. 80-97.
- Liu, D., Y. Shao, Z. Liu, B. Riedel, A. Sowter, W. Niemeier and Z. Bian. “Evaluation of InSAR and TomoSAR for Monitoring Deformations Caused by Mining in a Mountainous Area with High Resolution Satellite-Based SAR”, en: *Remote Sensing*. 6(2), 2014, pp. 1476-1495.
- McNairn, H., C. Champagne, J. Shang, D. A. Holmstrom and G. Reichert. “Integration of optical and Synthetic Aperture Radar (SAR) imagery for delivering operational annual crop inventories”, en: *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*. 64(5), 2009, pp. 434-449.
- Mleczo, M. y M. Mróz. “Wetland Mapping Using SAR Data from the Sentinel-1A and TanDEM-X Missions: A Comparative Study in the Biebrza Floodplain (Poland)”, en: *Remote Sens.* 2018, pp. 10, 78.
- Moreira, A. *Synthetic Aperture Radar (SAR): Principles and Applications*. German Aerospace Center (DLR), Microwaves and Radar Institute Germany, 2013.
- Nagler, T., H. Rott, M. Hetzenecker, J. Wuite and P. Potin. “The Sentinel-1 Mission: New Opportunities for Ice Sheet Observations”, en: *Remote Sensing*. 7(7), 2015, pp. 9371-9389.
- Orosei, R. S., E. Lauro, E. Pettinelli, A. Cicchetti, M. Coradini, B. Cosciotti, F. Di Paolo, E. Flamini, E. Mattei, M. Pajola, F. Soldovieri, M. Cartacci, F. Cassenti, A. Frigeri, S. Giuppi, R. Martufi, A. Masdea, G. Mitri, C. Nenna, R. Noschese, M. Restano and R. Seu. “Radar evidence of subglacial liquid water on Mars”, en: *Science*. 361-6401, 2018, pp. 490-493.
- Polychronaki, A. L., Z. Gitas, S. Veraverbeke and A. Debien. “Evaluation of Alos- PalSAR Imagery for Burned Area Mapping in Greece Using Object-Based Classification”, en: *Remote Sensing*. 5(11), 2013, pp. 5680-5701.
- Rao, Y. S., Gopalan Venkataraman and K. S. Rao. “SAR interferometry for DEM generation and movement of Indian glaciers”, en: *Geoscience and Remote Sensing Symposium, 2004. IGARSS'04. Proceedings. 2004 IEEE International*. IEEE, 2004, pp. 1128-1131.
- Scheuren, J-M, O. de le PolainWaroux y R. Below. *Annual disaster statistical review – the number and trends 2007*. Melin, Belgium, Center for Research of the Epidemiology of Disasters (CRED), Jacoffsaet Printers, 2008.
- Solberg, A., C. Brecke and O. Per. “Oil Spill Detection in Radarsat and Envisat SAR Images”, en: *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*. Vol. 45-3, 2007.
- Soria-Ruiz, J., Y. Fernandez-Ordonez, H. McNairn and J. Bugden-Storie. “Corn monitoring and crop yield using optical and RADARSAT-2 images”, en: *IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium*. 2007, DOI: 10.1109/IGARSS.2007.4423638.
- Verhegghen, A. H. Eva, G. Ceccherini, F. Achard, V. Gond, S. Gourlet-Fleury and P. O. Cerutti (2016). The Potential of Sentinel Satellites for Burnt Area Mapping and Monitoring in the Congo Basin Forests. *Remote Sensing*. 8(12), 986.
- Yang, Z., Z. Li, J. Zhu, H. Yi, J. Hu and G. Feng. “Deriving Dynamic Subsidence of Coal Mining Areas Using InSAR and Logistic Model”, en: *Remote Sensing*. 9(2), 2017.
- Zhou, T., P. Jianjun, P. Zhang, S. Wei and T. Han. “Mapping Winter Wheat with Multi-Temporal SAR and Optical Images in an Urban Agricultural Region”, en: *Sensors (Basel)*. 17(6): 1210, 2017, DOI: 10.3390/s17061210.

# An Open-Source-Based Software to Capture **Aerial Images and Video Using Drones**

Un sistema  
de código abierto  
**para capturar video e imágenes  
aéreas usando drones**

**José Martínez-Carranza, Mariana Edith Miranda Varela, Leticia Oyuki Rojas Pérez, Aldrich Alfredo Cabrera Ponce, Edgar Jacob Sosa Cerón, and Raymundo Domínguez Colín\***

\* Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica (INAOE). Only for José Martínez-Carranza, e mail: carranza@inaoep.mx

**Acknowledgements:** all authors acknowledge support from INEGI and CONACYT through project No. 268528.



Drone flying over a futuristic city/ Buena Vista Images/Getty Images

There are several programs to process the images taken by a drone. We present a system based on open-source systems for recording video and photography. Our proposal provides a tool to those users who need to observe in real time the terrain during the flight of a drone, which can be achieved in two ways: 1) through the mosaic of images; 2) by generating 3D point clouds and their tessellation. To demonstrate the usefulness of the recorded images, these are processed by the proposed system through the visualization of their 3D models. Besides, a quantitative evaluation has to be carried out, in order to indicate that our models have an approximate error of 0.7 m. Finally, a tool was developed to automatically classify sections of interest in aerial images. These areas correspond to three types: urban, vegetation, and agricultural land.

**Key words:** image stitching; 3D visualization; drones.

Recibido: 12 de abril de 2019.

Aceptado: 3 de agosto de 2019.

### Abbreviations/Abreviaciones

<b>3D</b>	Three-dimensional
<b>CNN</b>	Convolutional Neural Network
<b>DJI</b>	Da-Jiang Innovations
<b>GPS</b>	Global Positioning System
<b>INAOE</b>	Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica
<b>INEGI</b>	Instituto Nacional de Estadística y Geografía
<b>ODM</b>	OpenDroneMap
<b>ORB</b>	Oriented FAST and Rotated BRIEF
<b>ROS</b>	Roboting Operating System
<b>SLAM</b>	Simultaneous Localization and Mapping
<b>UAV</b>	Unmanned Aerial Vehicle

## 1. Introduction

For some years now, the processing of aerial images with specialized software tools has allowed the development of diverse geographic tasks: cadastral surveys, agricultural monitoring, assessment of urban spot growth, monitoring of temperature varia-

Existen varios programas para procesar las imágenes tomadas por un dron; presentamos un sistema basado en sistemas de código abierto para grabar video y fotografía. Nuestra propuesta proporciona una herramienta a aquellos usuarios que requieran observar en tiempo real el terreno durante el vuelo de un avión no tripulado, lo que puede hacerse de dos maneras: 1) a través del mosaico de imágenes y 2) mediante la generación de nubes de puntos 3D y su *teselación*. Además, para demostrar la utilidad de las imágenes grabadas, estas se procesan mediante el sistema propuesto a través de la visualización de sus modelos en 3D. Asimismo, se realizó una evaluación cuantitativa, la cual indica que nuestros modelos tienen un error aproximado de 0.7 metros. Por último, se desarrolló una herramienta para clasificar automáticamente secciones de interés en imágenes aéreas; estas zonas corresponden a tres tipos: urbana, vegetación y agrícola.

**Palabras clave:** *stitching*; visualización 3D; drones.

tion, geographic cartography, creation of elevation models, exploration of high-risk areas, etc. [1]. At present, the use of UAVs, also known as drones, gives the opportunity to capture aerial images in real time, and as a consequence it opens up a range of useful applications such as building aerial panoramas, making real terrain measurements,



3D visualization, classifying the type of terrain, and evaluating the urban spot, among many others. UAVs have become a useful tool for capturing video and aerial photographs of large tracts of land. It is now possible to acquire aerial images at a relatively low cost, mainly through the use of UAVs equipped with a suitable camera [2]. However, all images captured with drones require intense post-processing, so software tools are needed to process them. There are several commercial software allowing the management of aerial images to reach some of the above-mentioned applications. The most important and best-known are Pix4D [3] and DroneDeploy [4]. Pix4D performs autonomous aerial flights, selecting a route of points to follow and adjusting various configuration options, such as height, speed, duration, and so on. This program allows the generation of point clouds, 3D models, and orthophotographs, among many other options.

On the other hand, DroneDeploy has setting options similar to Pix4D. Although both software programs are very complete, the cost for the use of their licenses can, in the long run, be very expensive (the Pix4D monthly license is 500 US, while DroneDeploy is priced at 450 US per-month). For this project, a commercial drone was preferred over one assembled, because the assembly of a drone requires a lot of work to achieve flight stability due to its weight, the batteries it requires, its propellers and even the external peripherals, which have to be taken into account. All this takes a great amount of time for a specialized work team.

As a consequence, a drone for development was selected: Matrice 100. It has a very stable flight, a wide range of information transmission (just over a kilometre) and can even add other peripherals without affecting the stability of the flight. Furthermore, the average Matrice battery is between seven and ten minutes, and the required time to fly an area of 25 hectares takes five minutes. To cushion the cost of the drone, we present a system developed exclusively with free software tools. Our system takes advantage of commercial drones and at the same time performs many of the tasks they offered at a relatively low cost, consid-

ering that the price of the drone and its respective peripherals are unique.

Our proposal's main purpose is to provide the user with a system that allows recording a video and photographs in real time, which are taken by a camera mounted on a drone. Furthermore, our system can be able to do: 1) via real-time image mosaicking; and, 2) via real-time 3D point cloud generation and tessellation. To the best of the authors' knowledge, both real-time mosaicking and tessellation have been overlooked in commercial applications. Also, to know the precision of the 3D models generated by our system, an evaluation of them is provided. Finally, a tool to segment zones of interest (urban, vegetation and agricultural land) is presented. According to the qualitative and quantitative validation, the data recorded by our system has high precision. The remainder of this paper is organized as follows: the related works are briefly reviewed in Section 2. The general scheme adopted for mosaicking in real-time is explained in Section 3. In Section 4, the methodology to build the 3D mesh in real-time is briefly expounded. The post-processing for the generation of 3D models using OpenDroneMap is reported in Section 5. The tool to segment zones of interest is presented in Section 6. In Section 7, the experimental results are shown. Finally, the conclusions of our system are presented in Section 8.

## 2. Related Work

Image mosaicking is a challenging area of study because different methods and techniques to build high-quality mosaic are employed. The most common methodology is this: in the first step, the extraction of visual descriptors (characteristics such as colour, shape, orientation and scale) are obtained. These are employed to correspond the current image (input image) against the destination one (final image), using the feature matching. After we calculate the homograph matrix for each pair matching points, one belongs to the current image, and another corresponds to the destination image. This matrix is employed to join the

images (stitching) with suitable orientation, scale and displacement. Finally, a seamless continuous mosaic is done by blender method.

There are some proposals that don't extract the visual descriptors and as a consequence don't use the feature matching. Therefore, these find the relationship between a pair of images through the templates or windows, it is a small region of the image. The similarity metrics for each template are calculated from their pixel values [5, 6]. Another technique, which is based on local characteristics [7], uses the bag of words allowing to search the correspondences rapidly. As a result, these approaches have been broadly used to perform real-time applications to improve image alignment accuracy and processing time [8].

Although the stitching algorithm is the most popular in the creation of aerial mosaics, [9] the authors propose to keep binary descriptors inside of a base of Hash-Tables to speed up the search. This strategy allows generating image mosaicking with efficiency in real time, without importing the resolution, the number of coincidences, and the number of descriptors [10].

At present, most of the software that built a mosaic, from either aerial, front or oblique images, can do it regardless of the change of illumination and size. In this work, images of our interest are aerial, which are captured by drones; some times they have additional information, such as Inertial Measurement Unit sensors combined with a video sensor and the GPS [11, 12]. This information is used to create maps [13], SLAM [14] and methods for feature extraction [15].

Concerning applications for drones, two kinds are considered: those applications compatible with DJI platforms and those compatible with commercial and open-hardware drones. Both can be installed on mobile phone, tablets and computers, and they perform the image stitching, autonomous navigation, reconstruction and other tasks. Some compatible applications with DJI platforms are: AirMap is a tool that maps the drone flights lo-

cation and keeps a log of them by notifying in real time about traffic alerts through the mobile app [16]. Hover is an application that provides information about the location, even adding meteorological data in such a way that the application warns if it is safe to fly or not considering visibility, wind, etc. [17]. Similarly, UAV Forecast is a tool that provides piloting info; for instance, wind speed and its direction [18]. B4UFLY is subjected to the drone laws of the United States, which are established by the Federal Aviation Administration [19]. Nowadays, DJI (company) [20] offers its application [21], which can be used on its drones: DJI Mavic, Phantom, Inspire, Matrice 100 and Spark. It allows performing flights with waypoints and Virtual Reality/First-Person View functionality. Contrarily, those applications that work with any drone are the following: Verifly [22] includes drone insurance, which is valid during the drone flight. Kittyhawk is an app and platform that checks the weather, maps with no-fly zone listings, maps with active air traffic information, apps that keep flight logs and help you track your drones, etc. [23]. The previous applications allow editing and sharing your photos/videos from the app. However, if you want to perform all their functions, it is necessary to buy them and, in some cases, they are too expensive.

As can be noted from the above-mentioned applications, their main aim lies in perform autonomous navigation and reconstruction. Furthermore, they have a cost. For this reason, this work aims to present a system based on open-source software, that can generate image mosaicking and tessellation in real-time. Additionally, it guarantees freedom of modification (you can access and modify the code), unlimited testing (the tools can be downloaded, installed and tested without restrictions), free (no license fee) and extensive support (there is a large support community for extended use applications).

### 3. Mosaicking in Real Time

In this system, we have developed a novel tool that allows the creation of a panoramic image in real

time. As far as we know, this tool is not yet available in any of the existing commercial tools.

A flight drone is coordinated with the vehicle and a workstation. In figure 1, the image on the left shows the general communication scheme of this system. The drone transmits the video signal to the drone control through a radio frequency of 5.8 GHz and this, in turn, to the workstation through the image recorder "Avio 4K". To create the mosaic with aerial images, we extract the visual descriptors. Subsequently, the search is carried out for the correspondence between a destination image and the current image, which allows for multiple images to be combined even with a different view, creating the mosaic (figure 1, the image on the right). The experiments performed have synchronised with the video input and the algorithmic module conducted by ROS [24] to show the image mosaicking and saved the keyframes captured during the flight.

This mosaic allows the user to obtain either a quick view of the difficult-to-access ground, a preliminary vision of a region after a natural disaster, or a zone inspection. A drawback is a procedure required to do a mosaic, which is in the function of the number of keyframes process by our system. That is, when the number is high, the final mosaic does not have a precise alignment. For this reason,

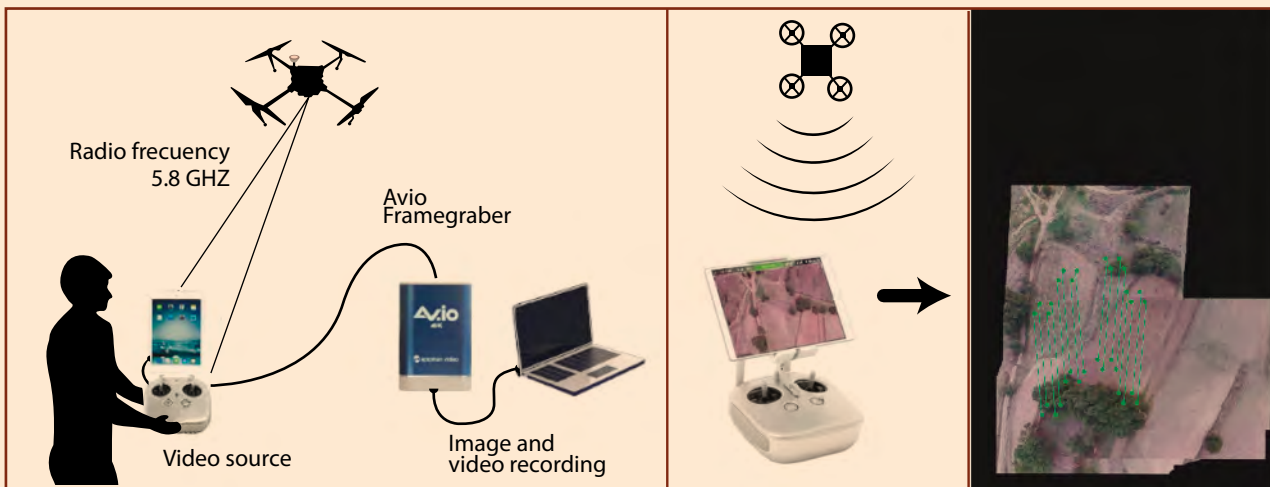
a user parameter was added, overlapping, to control the overlap between two keyframes, and as a consequence the number of keyframes. A high percentage of overlapping the number of keyframes is long.

#### 4. Real-Time 3D Mesh

Surface reconstruction from point clouds is a reverse engineering problem used for geometric analysis of objects, simulations, video games, etc. [25]. In this section, we present a system module that is responsible for reconstructing surfaces as a 3D mesh in real time. We use the same communication scheme explained in the previous section. Also, figure 2 shows the communication process that was developed between different functions for the creation of the mesh. During the flight, each image is received by ROS, which sends it to ORB-SLAM [26] to generate a 3D point cloud. This cloud is returned to ROS where the 3D mesh is finally generated (purple box).

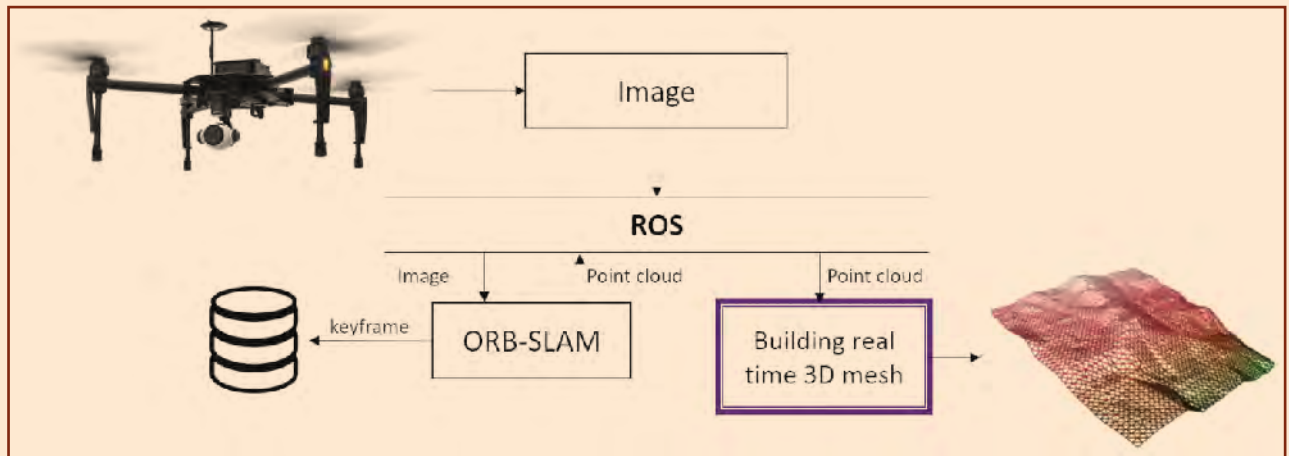
This approach builds a real-time 3D mesh considering a less dense point cloud. First, ORB-SLAM generates the corresponding 3D point cloud from an aerial image, which is composed by a set of points  $(X, Y, Z)$  and for each point, an index is assigned to generate a Voronoi Diagram [27]. After setting the

Figure 1



To the left: general communication scheme. The drone sends the video signal to the remote control via radiofrequency. To the right: the computer receives images, analyses the overlap points and stitches them.

Figure 2



The communication process used to generate a mesh from the real-time 3D point cloud.

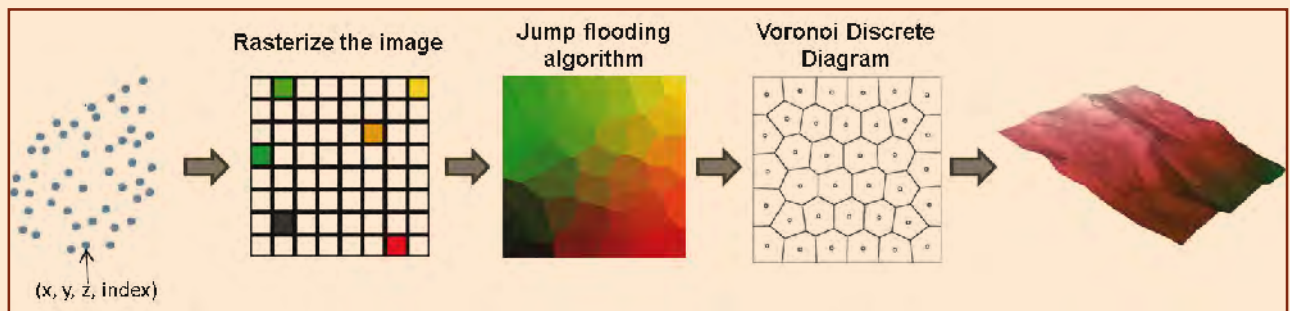
height of all points to zero to rasterize the image and the X and Y values are normalized between [-1, 1], that is, each point named seed is put into a red-green matrix. Once an image raster is generated, the Jump Flooding Algorithm [28] is applied to propagate indexes for each seed over those pixels that are empty. The final matrix represents the Discrete Diagram of Voronoi [29]. In figure 3, the graphical steps to generate the mesh in real-time are shown.

## 5. OpenDroneMap

With a set of aerial images, it is possible to build two useful outputs to explore terrain deeply: an orthophoto and a 3D model. The former is a high-quality panoramic view, and the second is a 3D representation. The proposed system generates those outputs based on ODM [30]. ODM is a free software

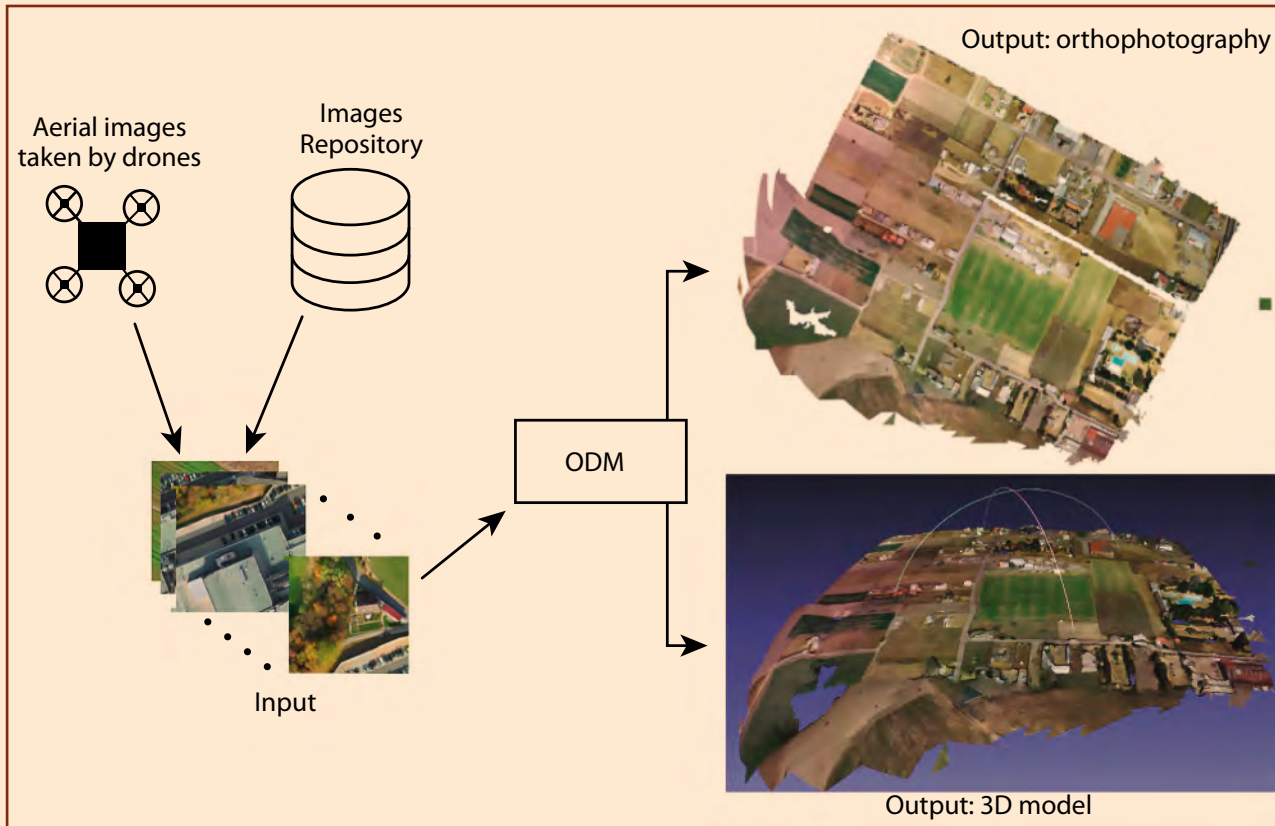
able to process aerial images and generates many outputs: orthophoto (simple png or GeoTIFF image), 3D models (point cloud file and the meshed surface), texturing (the texturing surface mesh), and georeferencing models. The GeoTIFF output allows georeferenced information to be embedded into it, which means that the orthophoto can be seen in any mapping software like Google Earth, QGIS, Meshlab and others. In figure 4, we show the general scheme of this module of our system. A set of aerial images are obtained by drones' flight or from some repository. These images are processed by the system and generate output files that allow visualizing the complete scenario and at the same time appreciate details of volume and depth. With specialized programs such as MeshLab [31], it is possible to adjust the scale of the model, take measurements, and extract the corresponding point cloud, among many other functions.

Figure 3



3D mesh. Steps to generate a mesh during the drone's flight.

Figure 4



Aerial input images are processing by ODM that generates two outputs, the orthophoto and the 3D model.

### 5.1. Validation of 3D Models

In order to assess the accuracy provided by these 3D models, we present in this section a qualitative (visual comparison) and quantitative (Euclidean distance among their points) evaluation. The dataset employed to evaluate the accuracy of 3D models was generated from an official raster provided by INEGI. A raster is a grid of pixels, where each one contains a value representing surface elevation, called Digital Elevation Model. The raster information can be used to create a point cloud; that is, the elevation values correspond to the z-axis.

The point cloud obtained from raster was divided into several worlds, where each world is composed of 50 x 50 pixels.<sup>1</sup> To build them, the raster

<sup>1</sup> Each pixel in Magdalena Contreras raster's covers an area of 2 x 2 meters on the ground.

was loaded with Matlab to get its 3D point cloud in order to be able to save a region in the *ply* format (during the evaluation these were referred to as the original point cloud). This 3D point cloud is then converted into a triangular mesh with MeshLab, and texture is added with Blender [32]. After that, each world was a scenario in Gazebo [33], where a virtual flight with a drone was taken. This virtual drone is equipped with a camera able to take aerial pictures, including virtual GPS information for each picture. Finally, for each georeferenced 3D model, its respective 3D point cloud was generated, which will be compared against the original point cloud. We create ten simulated worlds. However, due to space availability, we will only visually present two of them. Finally, the precision metrics are:

- **Error** is the Euclidean distance between the  $i$ -element of the original point cloud ( $PC_{or}$ )

and its nearest element corresponding to the georeferenced 3D model generated by ODM ( $PC_{ODM}$ ). This is computed by

$$err_i = (\|PC_{or}^i - PC_{ODM}\|)$$

where  $err_i$  indicates the interval of error for each point cloud.

Other measures are:

**Minimum and**  $e_{min} = (err_i)$

**maximum error**  $e_{max} = (err_i)$

**Mean Absolute Error**  $\mu = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n err_i$

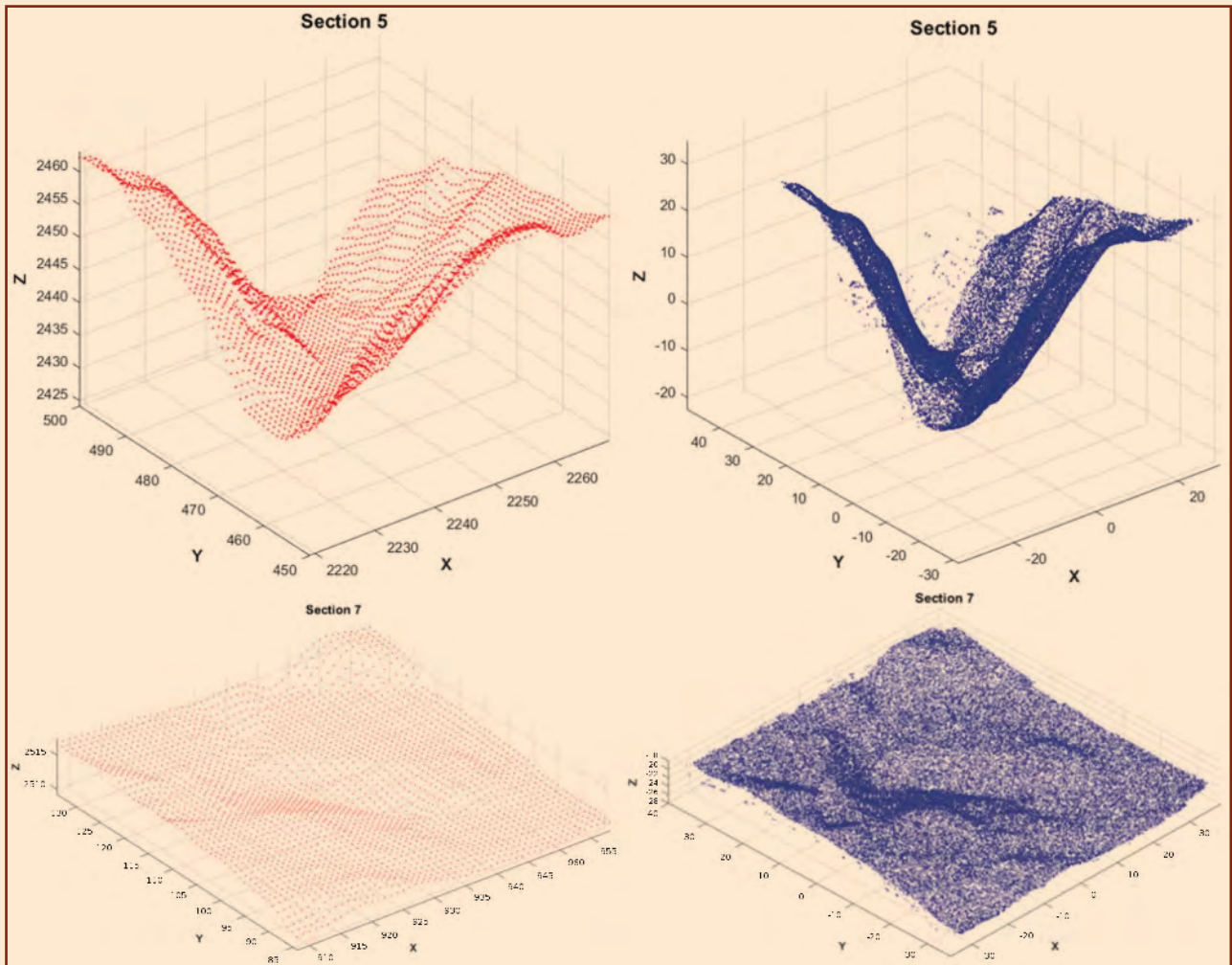
**Standard deviation**  $\sigma = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (err_i - \mu)^2}$

where  $err_i$  is the error of  $i$ -element of  $PC_{or}$ ,  $\mu$  is the mean absolute error and  $n$  is  $|PC_{or}|$ .

## Results

In figure 5, the original point cloud (left) and the point cloud corresponding to the georeferenced 3D model are presented (right). Although both 3D point clouds look identical, with similar shape and scale, they have different  $x$ ,  $y$  and  $z$  values. Furthermore, the first point cloud (Section 5) is rotated concerning the original point cloud.

Figure 5



Two 3D models: the original point cloud (in red) and a point cloud from the ODM 3D model (in blue).

These point clouds were aligned through the Iterative Closest Point [34]. algorithm to compute previous metrics. In table 1, the results are shown.

According to the results, for the most of 3D models, the mean absolute error ( $\mu$ ) is lower than a meter, except Section 5 (see table), whose value is 2.039236 m. Finally, the  $\mu$  average is 0.7566509 m. Furthermore, the mean interval for error is found

between 0.0254288 and 3.7901345 m, where section 10 has the smallest interval, and the opposite is Section 4. In figure 6, the distribution of the error, in meters, for two 3D point clouds between  $e_{min}$  and  $e_{max}$  through a histogram is shown. According to the histograms, for both sections a lower error is most common (to left *err*-axis) than a high error. According to the results, those models generated by ODM are similar to the surface, with a difference lower than a meter.

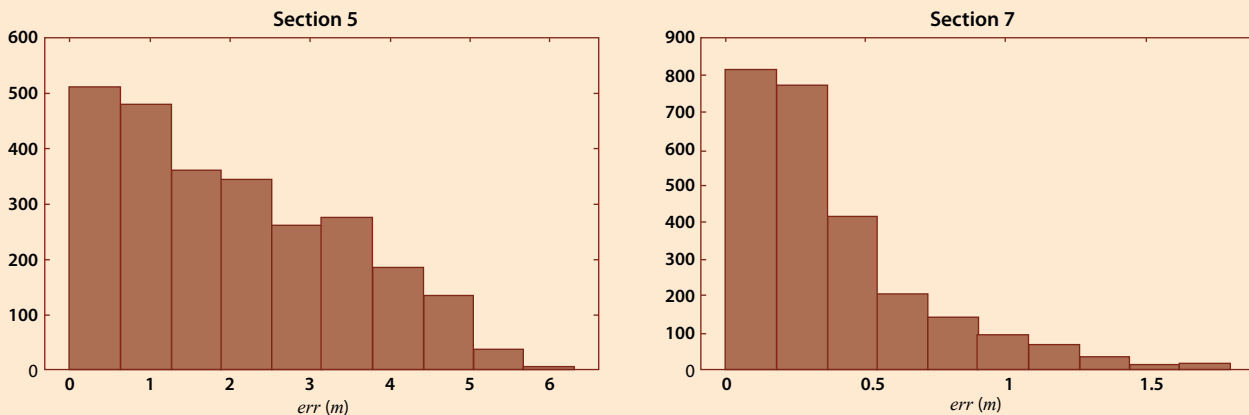
Table 1

**Error-values for ten-point clouds extracted from INEGI's raster**

Id. Section	Metrics			
	$\mu$	$e_{min}$	$e_{max}$	$\sigma$
Section 1	0.8994208	0.0287579	3.454045	0.6232341
Section 2	0.7671860	0.0189523	2.524240	0.5159046
Section 3	0.4349553	0.0101516	3.299515	0.3310733
Section 4	0.6516958	0.0192623	9.894009	0.808559
Section 5	2.039236	0.064441	6.227036	1.404786
Section 6	0.6782711	0.0213524	4.537317	0.5577992
Section 7	0.3927942	0.0204476	1.792584	0.3309126
Section 8	0.363957	0.0127606	1.586797	0.2878624
Section 9	0.8677112	0.0334127	2.993543	0.4633393
Section 10	0.4712819	0.0247501	1.592259	0.2673401
Average	0.7566509	0.0254288	3.7901345	0.5590810

Figure 6

**Histogram error of Section 5 and Section 7**



## 6. Automatic Zone Classification

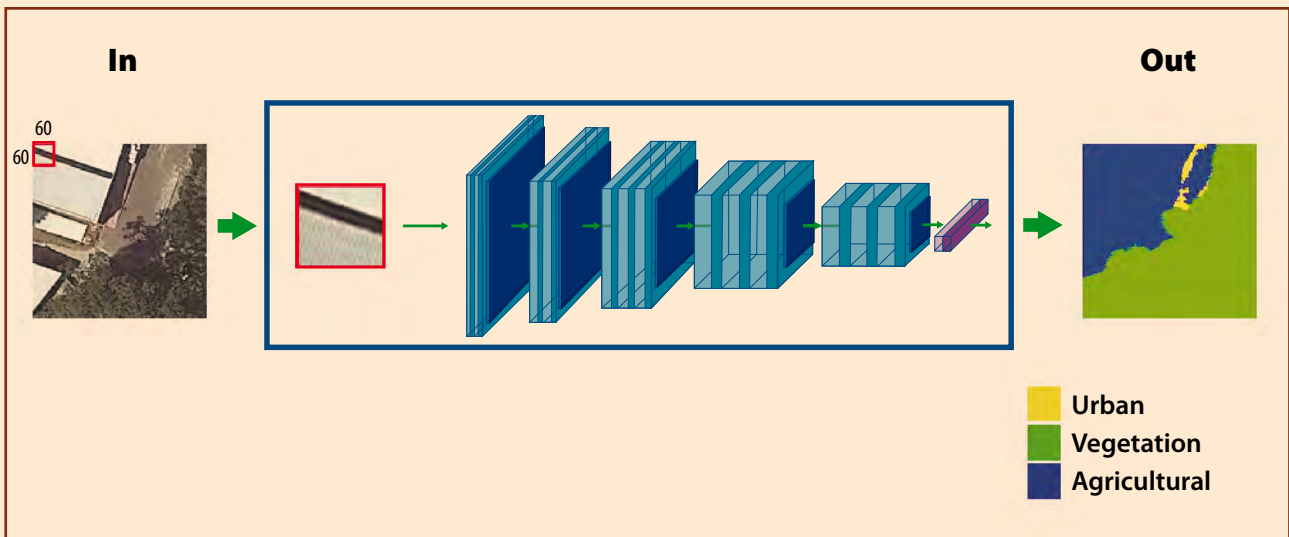
At present, the analysis and classification of geographical areas allow us to know the changes that have taken place over time. It is of great interest to specialists how an agricultural land becomes urban or how a forest is cut down to become agricultural or urban land, among many other aspects. Aerial images can be used to land-cover classification because these images can be obtained quickly and at low cost using a drone. Längkvist *et al.* [35] identified vegetation, ground, roads, buildings and water on multispectral orthoimages employing a CNN. In [36], Gamba and Houshmand employed a fuzzy C means to identify vegetation, buildings, roads and open areas. Vazquez *et al.* [37] identified the kind of cultivation in some region of Mexico by means of multilayer perceptron networks. In [38], Aguirre-Gutiérrez *et al.* combined pixel-based and object-based land cover classifications to study forest cover changes in the North of Mexico. Moreover, the approaches above employ additional information such as a digital elevation model, digital surface model or multispectral images, but none performs the classification from aerial images. Therefore, a cover-land classification by means of a CNN for segmenting agricultural, urban, or green zones is presented.

### 6.1. CNN for Zone Classification

Convolutional neural networks have demonstrated satisfactory performance in processing images [39]. Their architecture was inspired by the animal visual cortex organization; these learn progressively the features from a set of images, named dataset, through each layer. They are trained using the backpropagation algorithm. Details for dataset and architecture CNN can be found below:

- **Dataset.** It is composed of 18000 small images of 60x60, named patches. Each patch contains information corresponding to one region, either agricultural, urban or vegetation. As a consequence, there are 6000 patches for each region. On the other hand, a CNN requires a large amount of training data, so our dataset was increased by the synthetic data augmentation technique. The applied transformations to our dataset were rotation and translation.
- **CNN architecture.** This has thirteen convolutional layers and one fully connected. Moreover, its input is an image region of 60x60 and its output is the colour corresponding to the identified region, which is put by pixel. In figure 7, the input image, the CNN architecture

Figure 7



Architecture of our CNN, where blue boxes represent a convolutional layer and the purple box represents a fully connected layer. Although an image is the input, in fact the area surrounded by a red rectangle is the input to CNN.



and the output image are shown. To train the CNN, 80% of the dataset was employed, and the rest was used to test the model.

## 7. Experimental results

In this section, we present the experimental results of the modules of our system. These results were generated from the information of three flights, they were done by a Matrice 100, in which the following is evaluated: the quality of the image, its geographic orientation, and its portability.

### 7.1. Real-time mosaicking experiments

First, we present the mosaics obtained in real-time as a result of two flights. The first scenario was in the technology park in the outskirts of the

INAOE, where the environment contains rural areas and buildings. The second scenario was in the “La Guyana” field in the state of Aguascalientes, México. This environment is larger, with big fields and agricultural areas. The results performed with the image stitching algorithm were to create a final panorama. Our experiments focus on the environment with different characteristics as trees, buildings, green, and agricultural areas. Besides, a high-resolution image allows performing a good feature matching algorithm in spite of different objects in the background. In figure 8, the image on the left shows a mosaic created from a flight at 100 meters altitude and covering an area of 150,000 square meters, whilst the image on the right displays the mosaic of a flight at 110 meters high and a region of approximately 160,000 square meters. By the nature of the terrain, the separation between the images, because of the zigzag drone path, is more evident, which is a consequence for

Figure 8



Obtained mosaics from image stitching. To the left, we show a scene that is a combination of buildings, cultivation, and green areas. To the right, we can see cultivation areas in a more arid region.

real-time processing. Although the time required by commercial applications is greater than our system for building a high-quality mosaic, we offer a quickly mosaic from a flight, besides the keyframes can be used to build a high-quality orthophoto with other utilities of our system (Section 5).

## 7.2. 3D mesh experiments

In this section, we present the results of the 3D mesh module of the system, which is done in real time. The video signal is analysed by the ORB-SLAM that identify the visual descriptors of the elements and objects of each frame, creating a set of points. In figure 9 above to the right, we show the scene that the camera is pointing at, while in the lower right we can see the visual descriptor points, and finally, to the left you can observe the coloured mesh that is being built.

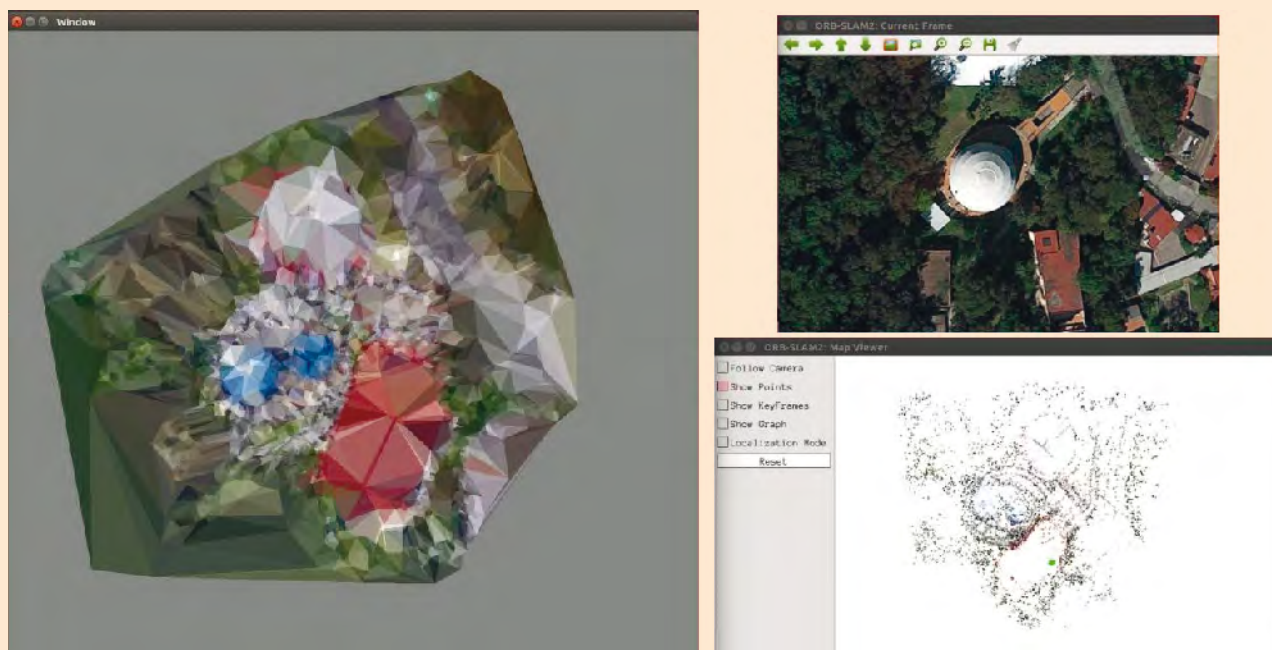
We use the data of the flight of INAOE from the previous experiment. The advantage of this system module is that no new flights are required, just the video that was captured the first time. The video

can be reproduced, and the necessary information is obtained just as it would be done if it were in real time. In figure 10, the final result is shown, the image on the left is the point cloud obtained by ORB-SLAM. Note that the points allow to appreciate the general structure of the scenario, whilst the image on the right presents the coloured mesh created from this point cloud.

## 7.3. Orthophoto experiments and validation

The orthophoto was created by the module based on ODM from the keyframes. In some cases, each one of the input images has its GPS information. When this happens, the output file will also be georeferenced; meaning that the image will be oriented to the north of the Earth. One of the ways to validate this oriented orthophoto is using an online tool independent of this system: the MapBox Studio website (it can also be displayed in other mapping programs). In the site, after creating an account, go to "Start Building->Design in Mapbox Studio->New Style"

Figure 9



Mesh construction. In the top right, the frame seeing by the camera. In the bottom right, the visual descriptors points of that frame are shown. To the left, we can see the coloured mesh.

Figure 10



3D mesh results. To the left, we show the cloud points of the terrain. To the right, the final coloured 3D mesh is shown.

and select the "Satellite" style. Then add a layer and upload the image "tif" (preferably the one named *odm\_orthophoto.original.tif*). Then to locate the region where the flight took place or where the images came from, and you can see the orthophoto already mounted on the map. Figure 11 shows the output of the flight carried out in "La Guyana".

The image on the left is the orthophoto (tif file), whilst the image on the right displays the image mounted on the website. The image is geographically oriented and fits the real scale of the map on this web site. Similarly, the corresponding 3D model will be oriented to the geographic north of the Earth.

Figure 11



Validation of orthophoto. The output image obtained by ODM is show on the left. To the right, this output ( the geo-referenced tif image) is mounted on a web mapping software.

## 7.4. Segmentation validation

In this section, we present the accuracy of our model that segments an aerial image into three regions so that the following three metrics are employed:

$$Precision = \frac{TP}{TP + FP}$$

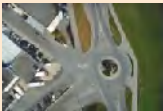


$$Recall = \frac{TP}{TP + FN}$$

$$F-Score = \frac{2}{\frac{1}{Precision} + \frac{1}{Recall}}$$

where *TP* (True Positive) is the number of pixels correctly classified according to the ground truth,<sup>2</sup> *FP* (False Positive) is the number of pixels that according to CNN belong to one class but they really belong to another, and *FN* (False Negative) is the number of pixels that according to CNN do not belong to a class but they actually do. Therefore, *Precision* is the ratio of the correctly classified pixels to all classified positive pixels, *Recall* is the ratio of the correctly classified pixels to all actual positive pixels, and *F-Score* represents the balance

<sup>2</sup> Ground true is employed in supervised learning and defines the correct and expected output of the model.

Figure 12

Inputs	Ground truth	Output
		
Width 1100	Percentages	Percentages
Height 733	Urban zone: 74.1184%	Urban zone: 73.34%
Total pixels: 806,300	Vegetation zone: 25.8815%	Vegetation zone: 25.81%
	Agricultural zone: 0.0%	Agricultural zone: 0.84%

Ground truth (middle) corresponding to the input image (left) and output image (right) generated by our model. Furthermore, the percentages for each zone in ground truth and output of our model.

between *Precision* and *Recall*. For all measures, a value close to 1 is better.

For segmentation zones, our model was tested in seven images. In figure 12, the input image (width and height), its ground truth, the output generated by our model and the percentages for each zone are presented. According to the input image and its ground truth, agricultural region is not observed. Therefore metric values for the agricultural zone are zero. Moreover, we can appreciate that our model has problems on the roadside, because it was detected as an agricultural zone.

Meanwhile, in table 2, the metric values per zone are presented; by the recall value, our model is not able to classify urban zone correctly. Finally, in table 3, the global evaluation of each image (*Precision*, *Recall* and *F-Score* values) are shown.

Table 2

Zone	Precision	Recall	<i>F-Score</i>
Urban	0.9615	0.8184	0.8842
Vegetation	0.7595	0.8980	0.8230
Agricultural	0.0	0.0	0.0
Global evaluation	0.8605	0.8582	0.8536

Metric values are corresponding to images of Figure 8. The last row is the average of each metric for all zones, named global evaluation.

The first row corresponds to the global evaluation of table 2. The total number of classified pixels was 3,173,100.

According to the metrics values, our model gives several false positives and false negatives, and as a consequence, the average of each metric is lowered than 0.8. To improve the performance of our model, we add more images to our dataset and employ superpixel segmentation to avoid the salt-pepper effect. Furthermore, one more class are considered, the segmentation of roads.

**Table 3**

Image	Precision	Recall	F-Score
1	0.8605	0.8582	0.8536
2	0.8253	0.7602	0.7525
3	0.7917	0.7822	0.7431
4	0.7877	0.7304	0.7495
5	0.7169	0.7865	0.7426
6	0.8341	0.8821	0.7533
7	0.8622	0.8739	0.8944
<b>Average</b>	<b>0.7948</b>	<b>0.7856</b>	<b>0.7642</b>

Global evaluation corresponding to seven images.

## 8. Conclusions

We presented a novel system where the user can carry out aerial video and image recording. Our proposal is based on open-source software, which has been adapted and extended to additionally enable the user to carry out the recordings in real time; this is during a flight mission using drones. For this purpose, we developed a mosaicking system in real-time that generates key images that can be later processed offline for 3D model and ortho-image generation. In the same fashion, 3D point-based mapping can be carried out in real time whose output consists of a meshed point cloud and a set of keyframes, both useful for terrain analysis. Finally, we have also presented a system based on deep learning for automatic detection of zones of interest in aerial images captured during drone missions. As a whole, we expect this software to be-

come as useful as the equivalent commercial software. On the other hand, the results can help us quickly visualize environments without flying the drone more than twice in the same area.

## References

- [1] INEGI, "Modelos Digitales de Elevación: Generalidades y Especificaciones," 2016. [Online]. Available: <https://tinyurl.com/ycsh9ppn>. [Accessed 23 Noviembre 2018].
- [2] EUKA, "A drone's eye view," 2018. [Online]. Available: [https://euka.org/wp-content/uploads/2018/05/Drone\\_Study\\_2018-05-18\\_Web.pdf](https://euka.org/wp-content/uploads/2018/05/Drone_Study_2018-05-18_Web.pdf). [Accessed 16 10 2018].
- [3] P. SA, "Pix4Dcapture," 2018. [Online]. Available: <https://www.pix4d.com/product/pix4dcapture>. [Accessed 25 12 2018].
- [4] DroneDeploy, "Work Smarter with Drone Data," 1 jul 2019. [Online]. Available: <https://www.dronedeploy.com/>.
- [5] T.M. Cover and J. A. Thomas, Elements of information theory, John Wiley & Sons, 2012.
- [6] J. P. Lewis, "Fast normalized cross-correlation," in *Vision interface*, vol. 10, pp. 120-123, 1995.
- [7] T. Botterill, M. Steven and G. Richard, "Real-time aerial image mosaicing," in *25th International Conference of Image and Vision Computing*, New Zealand, 2010.
- [8] M. D. Kokate, V. A. Wankhede and R. S. Patil, "Image mosaicing based on feature extraction," in *International Journal of Computer Applications*, vol. 165, no. 1, 2017.
- [9] J. Martinez-Carranza and W. Mayol-Cuevas, "Real-time continuous 6d relocalisation for depth cameras," in *IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS)*, Tokyo, Japan, 2013.
- [10] R. de Lima and J. Martinez-Carranza, "Real-time aerial image mosaicing using hashing-based matching," in *Workshop on Research, Education and Development of Unmanned Aerial Systems (RED-UAS)*, Linköping, Sweden, 2017.
- [11] Y. Saeed, D. Wischounig-Struel, M. Quaritsch and B. Rinner, "Incremental mosaicing of images from autonomous, small-scale UAVs," in *Seventh IEEE International Conference on Advanced Video and Signal Based Surveillance*, 2010.
- [12] A. Brown, G. Chris, H. Heather and L. Yan, "Near real-time dissemination of georeferenced imagery by an enterprise server," Ottawa, Ontario, Canada, 2006.
- [13] C. Zou, W. Pei and X. Zeqian, "Research on seamless image stitching based on depth map," in *ICPRAM*, 2017.
- [14] S. Bu, Z. Yong, W. Gang and L. Zhenbao, "Map2dfusion: real-time incremental uav image mosaicing based on monocular slam," in *IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS)*, Daejeon, 2016.

- [15] J. Zhang, C. Guangxue and J. Zhaoyang, "An image stitching algorithm based on histogram matching and sift algorithm," in *International Journal of Pattern Recognition and Artificial Intelligence*, vol. 31, no. 04, 2017.
- [16] AirMap, Inc., "Airspace Intelligence: to Power the Drone Economy," [Online]. Available: <https://www.airmap.com/>. [Accessed 01 10 2018].
- [17] Analytica, LLC., "Data-Driven Solutions," [Online]. Available: <https://www.analytica.net/>. [Accessed 15 01 2017].
- [18] U. Forecast, "UAV Forecast," [Online]. Available: <https://www.uavforecast.com/#/>. [Accessed 15 08 2018].
- [19] U.S. Department of Transportation, "Administration, Federal Aviation," [Online]. Available: <https://www.faa.gov/>. [Accessed 13 02 2018].
- [20] DJI Technology CO, LTD, "DJI GO," [Online]. Available: <https://www.dji.com/mx/goapp>. [Accessed 25 03 2017].
- [21] VC Technology, LTD, "Litchi for DJI Mavic/ Phantom/ Inspire/ Spark," [Online]. Available: <https://flylitchi.com/>. [Accessed 19 06 2017].
- [22] L. Verify Technology, "Verify, Drone Insurance," 2017. [Online]. Available: <https://www.verify.com/>. [Accessed 17 03 2017].
- [23] I. Kittyhawk, "Kittyhawk: Enterprise Drone Flight Operations," 2018. [Online]. Available: <https://kittyhawk.aero/>. [Accessed 24 11 2018].
- [24] Q. Morgan, K. Conley, B. Gerkey, J. Faust, T. Foote, J. Leibs, R. Wheeler and A. Y. Ng., "ROS: an open-source Robot Operating System," in *ICRA Workshop on Open Source Software*, Kobe, Japan, 2009.
- [25] H. Hoppe, D. Tony, D. Tom, M. John and S. Werner, "Surface reconstruction from unorganized points," vol. 26, no. 2, pp. 71-78, 1992.
- [26] R. Mur-Artal, J. M. Martinez Montiel and J. D. Tardos, "ORB-SLAM: a versatile and accurate monocular SLAM system," in *EEE transactions on robotics*, vol. 31, no. 5, pp. 1147-1163, 2015.
- [27] M. De Berg, M. Van Kreveld, M. Overmars and O. Schwarzkopf, *Computational Geometry*, Berlin, Heidelberg: Springer, 1997, pp. 1-17.
- [28] G. Rong and T. Tiow-Seng, "Jump flooding in GPU with applications to Voronoi diagram and distance transform," in *In Proceedings of the 2006 symposium on Interactive 3D graphics and games*, Redwood City, California, 2006.
- [29] F. Cazals and J. Giesen, *Delaunay triangulation based surface reconstruction: ideas and algorithms*, France: INRIA, 2004.
- [30] OpenDroneMap contributors, "Drone Mapping Software," [Online]. Available: <https://www.opendronemap.org/>. [Accessed 13 02 2015].
- [31] M. Kazhdan and H. Hugues, "Screened poisson surface reconstruction," in *ACM Transactions on Graphics*, vol. 32, no. 3, pp. 1-29, 2013.
- [32] B. Foundation, "<https://www.blender.org/foundation/>," 2016. [Online]. Available: <https://www.blender.org/foundation/>. [Accessed 01 02 2016].
- [33] O. S. R. Foundation, "Open Source Robotics Foundation," 2018. [Online]. Available: <http://gazebosim.org/>. [Accessed 01 01 2016].
- [34] Z. Z. Wang F., "A survey of iterative closest point algorithm," in *Chinese Automation Congress (CAC)*, Jinan, 2017.
- [35] M. Långkvist, A. Kiselev, M. Alirezaie and A. Loutfi, "Classification and Segmentation of Satellite Orthoimagery Using Convolutional Neural Networks," in *Journal Remote Sensing*, vol. 8, no. 329, pp. 1-21, 2016.
- [36] P. Gamba and B. Houshmand, "Joint analysis of SAR, LIDAR and aerial imagery for simultaneous extraction of land cover, DTM and 3D shape of buildings," in *International Journal of Remote Sensing*, vol. 23, no. 20, pp. 4439-4450, 2002.
- [37] R. A. Vázquez Espinoza de los Monteros, J. Ambrosio Bastián and G. A. Sandoval Sánchez, "Clasificación de cultivos agrícolas utilizando técnicas clásicas de procesamiento de imágenes y redes neuronales artificiales," in *Realidad, Datos y Espacio Revista Internacional de Estadística y Geografía*, vol. 6, no. 3, pp. 62-77, 2015.
- [38] J. Aguirre-Gutiérrez, S. Arie C. and D. Joost F., "Optimizing land cover classification accuracy for change detection, a combined pixel-based and object-based approach in a mountainous area in Mexico," in *Applied Geography*, vol. 34, no. 29, pp. 29-37, 2012.
- [39] L. Weibo, Z. Wang, X. Liu, N. Zeng, Y. Liu and F. E. Alsaadi, "A survey of deep neural network architectures and their applications," in *Neurocomputing*, vol. 234, no. 1, pp. 11-26, 2017.

# Calidad de vida en Argentina (1960).

## Una perspectiva geográfica

Life Quality in Argentina (1960).  
**A Geographical Perspective**

Guillermo Ángel Velázquez\* y Juan Pablo Celemin\*\*

La calidad de vida es una categoría de creciente interés académico de los últimos años. Distintas disciplinas intentan abordarla desde sus perspectivas y metodología. No obstante, existe una muy escasa producción científica relacionada con su estudio para periodos históricos contemporáneos. En este contexto, el presente trabajo propone elaborar un índice de calidad de vida para las provincias de la República Argentina con variables utilizadas en el censo nacional de 1960, las cuales se representaron cartográficamente a partir de un sistema de información geográfica, obteniéndose como producto final un mapa del índice en cuestión. Los resultados muestran una amplia disparidad territorial de este, dado que las provincias de la Región Pampeana revelan valores mucho más favorables que los registrados en las del norte del país.

**Palabras clave:** calidad de vida; censo 1960; índice-resumen; sistema de información geográfica.

Recibido: 22 de abril de 2019.  
Aceptado: 6 de agosto de 2019.

\* Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET) e Instituto de Geografía, Historia y Ciencias Sociales (IGHCS), gvelaz@fch.unicen.edu.ar

\*\* CONICET e IGHCS, jpcelemin@conicet.gov.ar

Life Quality is a category of growing academic interest in recent years. Different disciplines try to address it from their perspectives and methodology. However, there is very little scientific production related to its study for contemporary historical periods. In this context, the present work proposes to elaborate an index of quality of life for the provinces of the Argentine Republic with variables used in the 1960 national census, which were represented cartographically from a geographic information system, obtaining as a final product a map of the index at issue. The results show a wide territorial disparity of this, given that the provinces of the Pampean Region reveal much more favorable values than those registered in the northern part of the country.

**Key words:** life quality; 1960 census; index-summary; geographic information system.



World Cup fans gather to celebrate in Cordoba/Andres A. Ruffo/Getty Images

## Introducción

La calidad de vida constituye un indicador de síntesis de un conjunto de situaciones socioeconómicas y ambientales relevantes que ilustran las condiciones en las que se desenvuelve la vida cotidiana de las personas, lo cual le otorga interés tanto para la formulación de políticas públicas como para la comprensión del funcionamiento social. Por esta razón, la producción sobre el particular, iniciada durante la década de los 90 en el contexto latinoamericano (Olave *et al.*, 1995; Camargo, 1996; Delgado *et al.*, 1996; Velázquez *et al.*, 1999), ha crecido desde entonces de manera significativa en nuestro medio (Rofman y Márques, 1988; Velázquez, 2001, 2008 y 2016; Lucero *et al.*, 2007; Mikkelsen *et al.*, 2013).

Sin embargo, y a pesar de su relevancia evidente, el tema ha recibido escasa o nula atención para algunos periodos históricos, hecho que se explica por dos factores concurrentes: en primer lugar, las insuficientes conexiones entre historia y geografía que, a diferencia de otros contextos intelectuales,

han caracterizado al caso argentino y, en segundo término, las dificultades empíricas que presentan los datos del pasado, incluso del relativamente reciente.

La investigación de la calidad de vida no es patrimonio exclusivo de una disciplina científica en particular; además, reviste un grado de complejidad que dificulta el consenso acerca de su área de estudio. En general, y en la Argentina en particular, los estudios sobre el tema son elaborados por geógrafos y se basan, sobre todo, en un enfoque espacial; es decir, mediante indicadores sociales, investigan localizaciones, distribuciones, asociaciones y evoluciones espaciales (Buzai y Baxendale, 2006:52).

Es así como la base territorial es la que le permite a la ciencia geográfica marcar una diferencia con respecto a otras disciplinas involucradas en el estudio de la calidad de vida, como la economía o la psicología. La capacidad que posee para realizar análisis sobre la configuración espacial de diferentes variables le permite tener una apro-



ximación empírica. Esta cualidad se potencia con el uso de herramientas como los sistemas de información geográfica (SIG), que permiten la representación cartográfica de variables e índices asociados con la calidad de vida. Así es como se han publicado en la Argentina numerosos artículos que cartografían índices de calidad de vida en distintas escalas de análisis (Lucero *et al.*, 2015; Mikkelsen y Velásquez, 2015; Velásquez, 2010; entre otros) y que han servido como referencia al momento de la selección de dimensiones, variables y ponderación.

Partiendo de este panorama, en el presente trabajo nos proponemos analizar la calidad de vida de la población hacia el *Quinto Censo Nacional de la República Argentina*, realizado en 1960 con el objetivo de suministrar una perspectiva general de las diferencias socioespaciales que caracterizaban al país hacia mediados del siglo XX.

La utilización del censo de población como fuente secundaria de información no resulta, desde luego, casual, ya que es base de datos que permite alcanzar una cobertura universal del territorio en cada momento histórico (con excepción de los censos antiguos que registraban ciertas limitaciones territoriales, como menciona Otero, 2007). Cabe consignar, asimismo, que si bien los censos de población han sido visitados con frecuencia, los trabajos realizados han priorizado básicamente su uso demográfico (Lattes y Lattes, 1975; Torrado, 2007) o su valor como fuente en segundo grado; por ejemplo, el estudio según categorías de su diseño conceptual o los aspectos políticos e institucionales propios de la sociohistoria de la estadística (Mentz, 1991; Massé, 2003; Otero, 2006; Daniel, 2011; González Bollo, 2014), dejando de lado un amplio conjunto de variables de interés incluidas en el levantamiento censal, en particular, las relativas a la vivienda y la salud.

Desde el punto de vista metodológico, el trabajo se apoya en el uso de SIG para el análisis espacial de las dimensiones y variables consideradas relevantes y la elaboración de un Índice de Calidad de Vida (ICV) que resulte acorde con la

información disponible y las características del momento histórico considerado.

Con anterioridad al levantamiento de 1960 se habían realizado cuatro censos nacionales (1869, 1895, 1914 y 1947). En el primero era presidente Domingo Faustino Sarmiento, y su cobertura fue parcial pues no fueron censados los pueblos originarios. El segundo se llevó a cabo durante el mandato de José Evaristo Uriburu, durante el cual ya estaban incorporados el llamado *desierto* (La Patagonia) y la Región Chaqueña; en él se introdujeron preguntas relacionadas con religión, fecundidad, propiedad de los inmuebles y nacionalidad. El tercero se realizó siendo presidente Roque Sáenz Peña; la publicación de sus 10 tomos se hizo muy rápido para que su aparición coincidiese con los festejos del Centenario de la Independencia Argentina, en 1916. El cuarto se realizó durante la primera presidencia de Juan Domingo Perón; fue el primero en considerar a la familia y al hogar como unidad de análisis privilegiada; además, se aplicaron preguntas sobre educación y ocupación laboral; también, fue la primera vez que se incorporó tecnología computacional para el procesado de los datos.

Lamentablemente, el censo de 1960 no ofrece el mismo nivel de desagregación ni la misma riqueza de variables que sus predecesores. Así, no es posible encontrar información significativa respecto a variables asociadas con educación, salud o vivienda a escala departamental. Para la provincial, sin embargo, sí se dispone de datos; para reflejar la situación educativa, contamos con la tasa de analfabetismo; para evaluar la situación residencial existe el promedio de personas por vivienda, la tasa de viviendas sin retrete e, incluso, indicadores referidos al confort de los hogares a partir de la disponibilidad de heladera; por último, respecto a los indicadores de salud, si bien el censo no suministra ninguno relevante a escala provincial, el Ministerio de Salud (DEIS) brinda la tasa de mortalidad infantil.

Esto constituye una severa limitación para cualquier análisis que se pueda hacer respecto a las diferencias en las condiciones de vida de la población argentina en ese momento histórico.

Dado que el censo constituye la fuente de base de la propuesta, importa reseñar algunos aspectos centrales de su realización, tarea necesaria para contextualizar de forma adecuada sus ventajas y límites.

El *Quinto Censo Nacional de la República Argentina*, conocido como *Censo Nacional de Población, Viviendas y Agropecuario*, fue levantado por la Dirección Nacional de Estadística y Censos durante la presidencia de Arturo Frondizi. Fue un operativo *de hecho* que se caracterizó por censar a la población en el lugar donde pasó la noche del censo. Se diferencia del *de derecho* en que este obtiene datos de las personas que residen habitualmente en el hogar, aunque no estén presentes en el momento del levantamiento. Ello ha permitido simplificar las

tareas censales durante la realización del operativo, contribuyendo a disminuir los niveles de omisión o duplicación de individuos. Otro elemento es que el día del censo se estableció como feriado con el propósito de reducir todo tipo de traslado o movimiento de los habitantes para facilitar que los censistas localizaran y entrevistaran a toda la población en una primera y única visita. Por último, resulta importante destacar que este censo inició la era informática al valerse de tarjetas perforadas para el procesamiento de la información (Giusti, 2007).

En 1960, la Argentina se organizaba administrativamente en la Capital Federal, 22 provincias y un territorio nacional (Tierra del Fuego), todos ellos divididos en 486 departamentos/partidos (ver mapa 1).

Mapa 1

### División por provincias y regiones, Argentina, 1960



Fuente: elaboración personal con base en Velázquez *et al.*, 2007 y Velázquez, 2008 (capítulo 12).

Para el estudio de la calidad de vida de la población, es habitual recurrir al análisis de dimensiones significativas. Desde el punto de vista socioeconómico, resulta insoslayable referir a las condiciones de educación, salud y vivienda. Los trabajos de Barclay (1962), Bolsi *et al.* (2006), Celemín (2007), Connerly *et al.* (1985), Delgado *et al.* (1996), Estés (1999), Fernández-López *et al.* (2010), Friel *et al.* (2011), Halperín (1994), Lo Vuolo *et al.* (1992), Longhi *et al.* (2013), Lucero *et al.* (2007), Mikkelsen *et al.* (2013), Olave *et al.* (1995), Rofman y Márques (1999), Santos (1979), Sterimberg *et al.* (2004), Torrado (2007) y Velázquez (2016), entre otros, contribuyen a generar un marco apropiado que debe ser adaptado a la escala predominante de valores y a la disponibilidad de información para la Argentina de 1960, tarea que reseñaremos a continuación.

## Análisis de variables del ICV

En síntesis, pese a los mencionados avances de los sistemas estadísticos nacionales y a las constantes innovaciones en los diseños metodológicos y conceptuales para la medición de las condiciones de vida de la población, la formulación de un índice de bienestar con cierta pretensión de generalización o universalidad no es todavía una cuestión resuelta a cabalidad, pues depende de numerosos factores, como: procesos históricos, escala de valores de la sociedad, expectativas, vivencias individuales y colectivas, dimensiones privadas (ingresos, nivel de instrucción) y públicas (accesibilidad, cuestiones ambientales), escala de análisis, ajuste con la información disponible o georreferenciación y validación de los resultados obtenidos.

Basándonos en nuestras propias experiencias y en trabajos previos de investigación ampliamente discutidos en ámbitos específicos, hemos empleado variables socioeconómicas (educación, salud, vivienda) para el dimensionamiento del bienestar de los argentinos. En otros trabajos metodológicos (Marinelli *et al.*, 2000; Cepeda y Velázquez, 2001; Marinelli *et al.*, 2005; Celemín, 2010), al partir de la totalidad de las variables censales dispo-

nibles y mediante un procedimiento de selección estrictamente matemático (como el análisis multivariado), han arrojado resultados muy similares a aquellos obtenidos para el caso argentino en las décadas de los 80 y 90 y principios del siglo XXI (Velázquez, 2001 y 2008). Lo mismo ocurre con la asignación de los pesos, ya que cada una de las dimensiones posee un mismo peso, siguiendo el procedimiento metodológico de la elaboración del Índice de Desarrollo Humano en el cual cada uno de sus componentes (educación, ingresos y esperanza de vida) posee el mismo nivel de ponderación. Además, cabe mencionar que esta simplificación en la selección de variables y en su respectiva ponderación permite el análisis comparativo con otros ICV posteriores al censo de 1960, ya que estos indicadores se repiten.

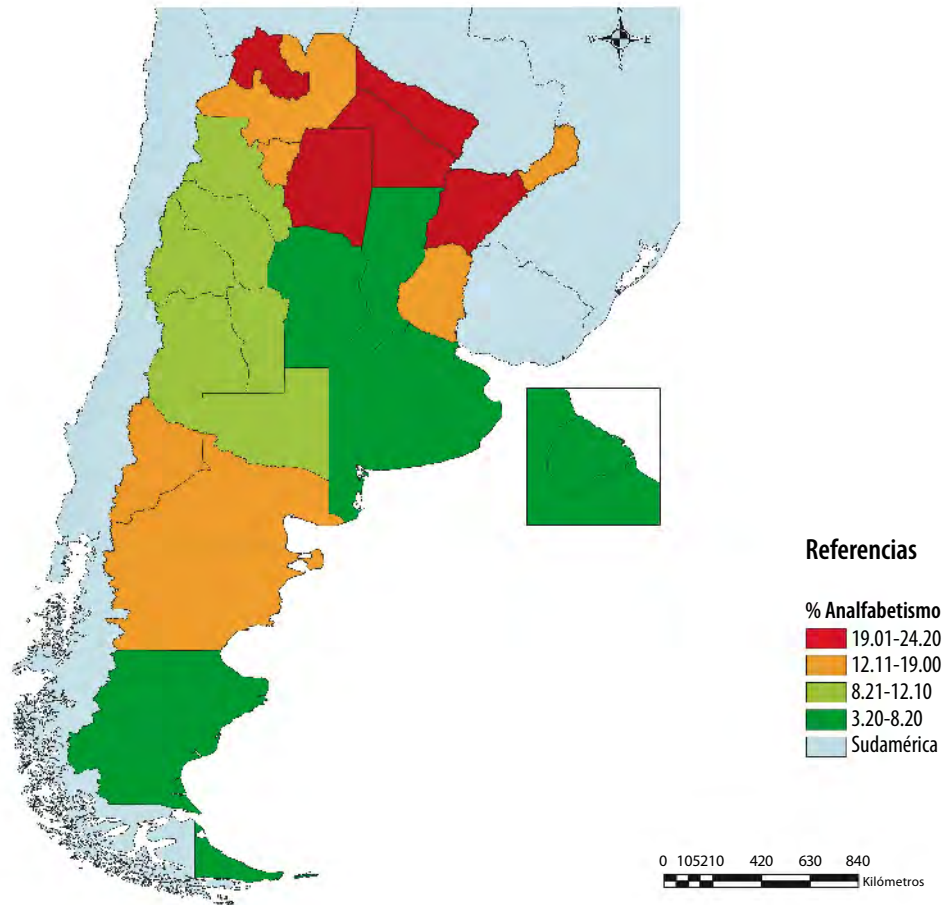
## Educación y analfabetismo

El *Quinto Censo Nacional* tuvo la preocupación por detectar a las personas en situaciones críticas, siguiendo una concepción cercana al moderno concepto de población en riesgo, para lo cual incluyó datos sobre educación. No hay, sin embargo, otra información respecto a los niveles de instrucción alcanzados por los diferentes segmentos de la sociedad.

Este censo estableció que el promedio de analfabetismo para la población mayor de 7 años de edad era de 8.5% (ver mapa 2). Comparando con los censos anteriores, tenemos que los porcentajes eran de 13.6 y 35.9 para 1947 y 1914, respectivamente, aunque esa tasa difería de forma considerable entre las jurisdicciones.

Estableciendo una división en cuartiles, la mejor situación relativa le corresponde a la Ciudad de Buenos Aires (3.2% de analfabetos). Por debajo de 8.2% se ubican también, por un lado, las provincias de Buenos Aires, Córdoba y Santa Fe en la Región Pampeana y, por el otro, Santa Cruz y Tierra del Fuego en la Patagonia. En un segundo escalón tenemos a las tres de Cuyo (Mendoza, San Juan y San Luis), otra de las pampeanas (La Pampa) y dos del norte (La Rioja y Catamarca). En contraposición,

### Tasa de analfabetismo, Argentina, 1960



Fuente: elaboración personal.

la peor situación relativa se registra en Jujuy, cuyo analfabetismo trepa nada menos que a 24.2%; también, resulta muy malo el estado de las provincias del nordeste y Santiago del Estero, así como la del territorio del Neuquén, ya que, en todas, el analfabetismo supera 19 por ciento.

### Morbilidad y salud

El DEIS brinda información sobre un problema de gran relevancia como es la mortalidad infantil. Su importancia radica en que es un indicador del estado de salud de la niñez y de la población en su conjunto, así como de las condiciones socioeconómicas en las que se encuentran. Además, es un indicador sensible de la accesibilidad y la calidad de

los sistemas de servicios de salud (Finkelstein *et al.*, 2015). El registro nacional de la tasa de mortalidad infantil (TMI) empezó en 1911, pero las mediciones comenzaron a escala provincial a partir de 1944.

En primer lugar, debemos señalar que la TMI resulta relativamente baja (59.7‰), según informa el Instituto Nacional de Estadísticas y Censos para el quinquenio 1960-1965 (INDEC, 2004) en el contexto latinoamericano (120.1‰) (Escudero y Sosa, 2006), pero con importantes variaciones en el interior del territorio nacional. La peor situación relativa se padece en Jujuy (125.1‰). Otras provincias del norte (Salta, Catamarca), Patagonia (Río Negro, Neuquén) y San Luis también integran el grupo con mayores problemas en este sentido, ya que en todas ellas la TMI supera 94.9 por mil.

Otras unidades, como Formosa o Santiago del Estero, registran valores llamativamente bajos (en virtud de un fuerte subregistro estadístico), pero deberían integrar también este grupo.

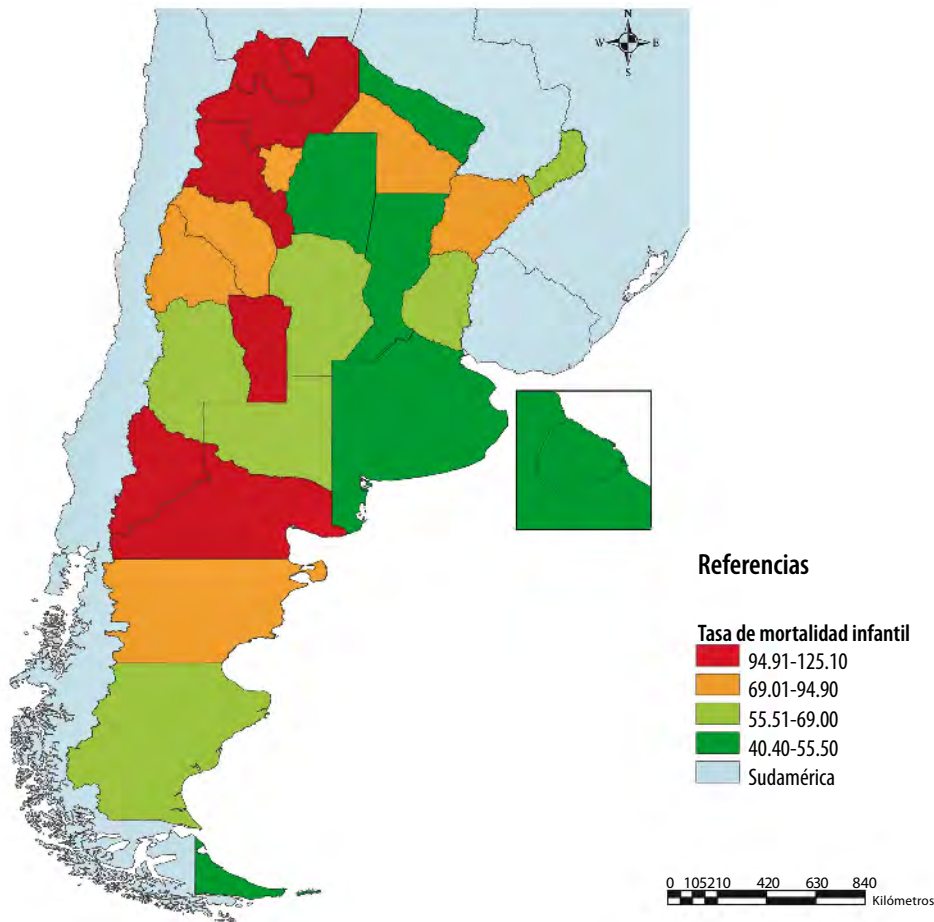
Por el contrario, las tasas más bajas se registran en la Capital Federal (Ciudad de Buenos Aires) y Santa Fe (40.4 y 52.1‰, respectivamente). El resto de la Región Pampeana y la Patagonia austral también muestran valores relativamente bajos (ver mapa 3). Asimismo, según Recchini y Lattes (1975), la tasa bruta de reproducción —número total de hijos(as) al final de la vida reproductiva— en 1960 era de 1.5.

## Vivienda

El *Quinto Censo Nacional* volvió a registrar información sobre vivienda (el de 1947 la obtuvo, pero no la dio a conocer). Como variable de aproximación al grado de hacinamiento residencial, podemos calcular la cantidad de personas por vivienda. Aclaramos que se trata solo de una aproximación porque el tamaño y cantidad de habitaciones de las viviendas puede diferir de manera significativa a lo largo del territorio y entre los diferentes grupos sociales. Además, el censo brinda solo la cantidad de personas y de viviendas, dificultando la estimación del hacinamiento (a diferencia de cen-

Mapa 3

### Tasa de mortalidad infantil, Argentina, 1960



Fuente: elaboración personal.

Los posteriores a 1991, que brindan la información de personas por cuarto). Se tomó la ratio tal como está. Esto significa que no hay un *umbral*; cuanto más alta la ratio, peor.

La menor cantidad de personas por vivienda se registra en Santa Cruz (4.02). Las provincias de Buenos Aires, Santa Fe y La Pampa (en la Región Pampeana) y Río Negro y Tierra del Fuego (en la Patagonia) también exhiben buena situación relativa, ya que están por debajo de 4.3 personas por vivienda.

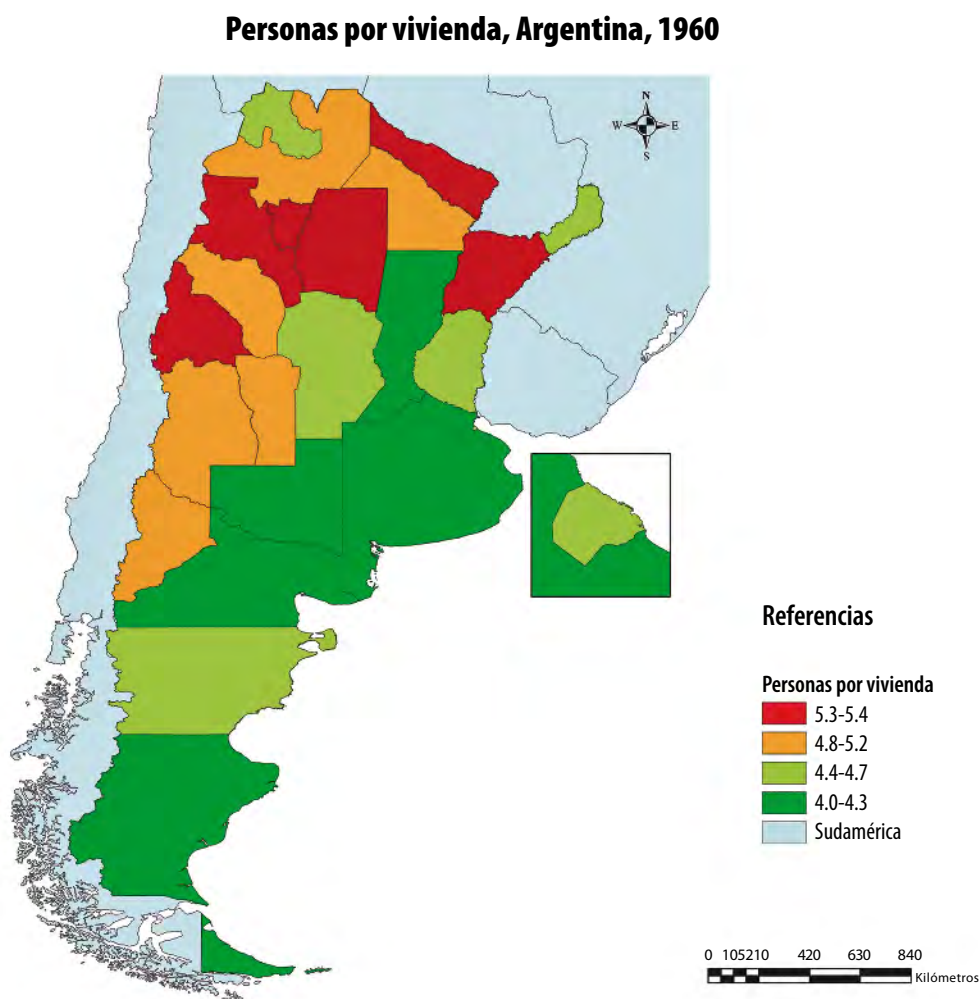
Por el contrario, el hacinamiento reviste particular magnitud en diversas provincias del

norte (Santiago, Tucumán, Catamarca, Formosa, Corrientes) y en San Juan; en todas se superan las 5.3 personas por vivienda. El caso más extremo es el de Tucumán, donde el promedio es de 5.4 (ver mapa 4).

En general, este problema se asocia con los diferenciales de fecundidad (más elevada en las provincias del norte) que resultan agravados, a su vez, por la mayor carencia de recursos en el mismo contexto.

La no disponibilidad de retrete refleja una falencia material. La proporción de viviendas sin él resulta

Mapa 4



Fuente: elaboración personal.

alta en las provincias del norte, destacándose por su contigüidad territorial. El caso más extremo es el de Jujuy, donde más de la mitad de sus viviendas (50.13%) carece de este servicio.

Por el contrario, la proporción de este problema es considerablemente más baja en la Región Pampeana y, en menor medida, en la Patagonia. Se destaca la Ciudad de Buenos Aires por casi carecer (0.69%) de viviendas sin retrete (ver mapa 5).

Una de las peculiaridades del *Quinto Censo Nacional* fue el haber preguntado sobre la disponibilidad de ciertos electrodomésticos en las viviendas (cocina, lavarropas, heladera). En este caso, queremos destacar la proporción de aquellas con heladera, dada su importancia para la conservación de los alimentos, en particular en el norte del país donde se registran altas temperaturas, pues

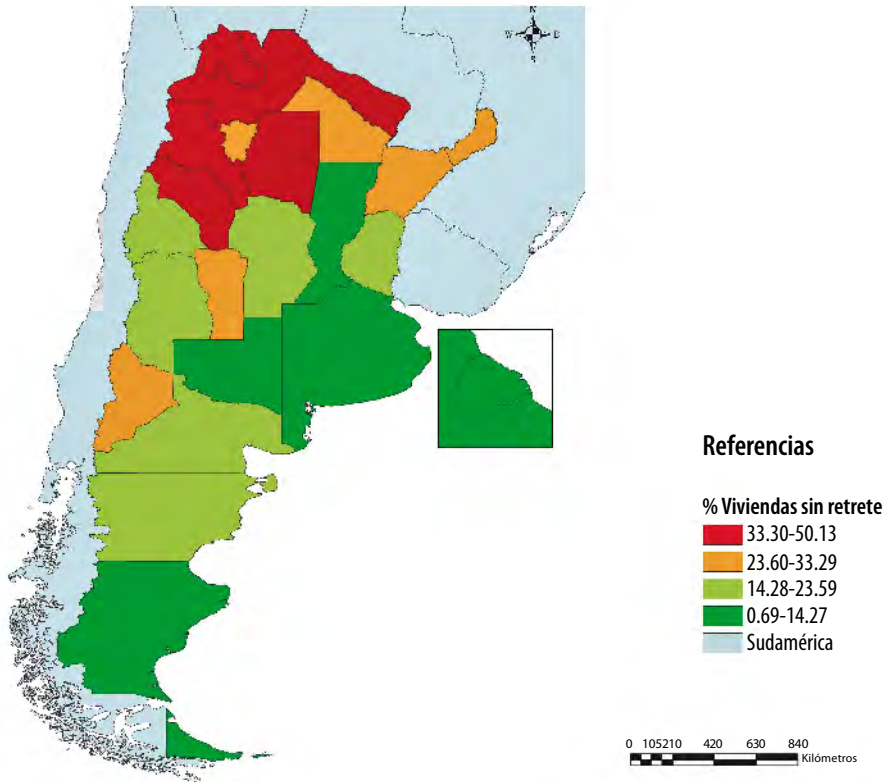
tenían menor presencia relativa en las casas del norte (a pesar de que el clima incrementa la necesidad de contar con refrigeración para estos). En la mayoría de las provincias del norte, menos de 14% de las viviendas contaban con ella.

También, resulta peculiar la situación de Tierra del Fuego, territorio que, en otros aspectos, muestra buenas situaciones relativas, pero que exhibe la menor proporción de casas con heladera (6.35%), tal vez porque es el territorio más frío del país.

Por el contrario, la mayor proporción de unidades con este electrodoméstico se registra en la Ciudad de Buenos Aires (82.60%), mientras que las unidades que siguen (Buenos Aires, Santa Fe) lo hacen con proporciones considerablemente menores (43.64 y 39.15%, respectivamente) (ver mapa 6).

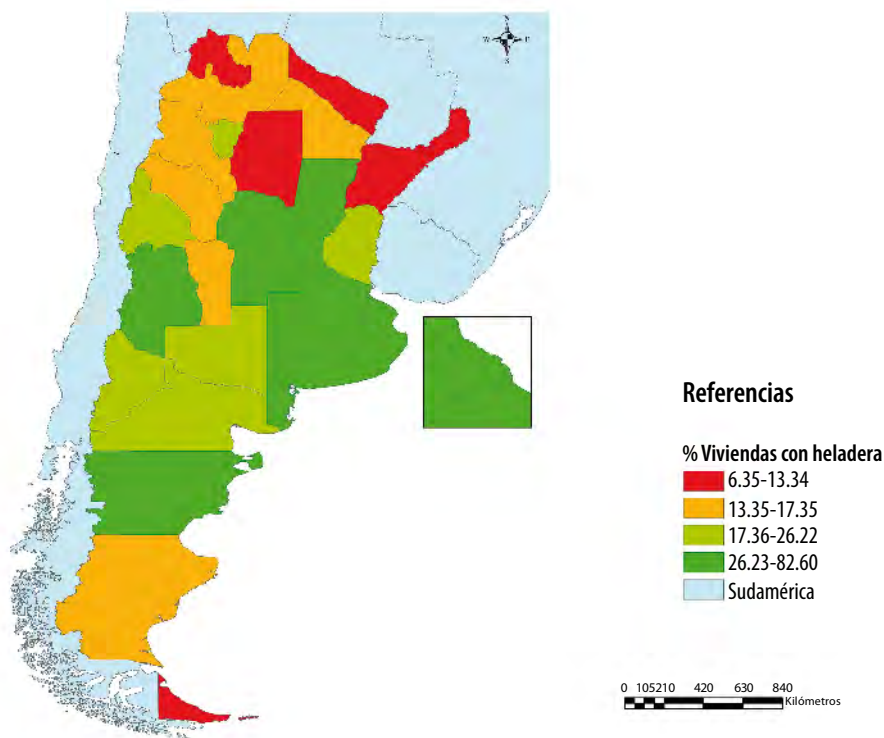
Mapa 5

### Viviendas sin retrete, Argentina, 1960



Fuente: elaboración personal.

### Viviendas con heladera, Argentina, 1960



Fuente: elaboración personal.

### Calidad de vida en 1960: una propuesta para su evaluación

Las variables que ya reseñamos contribuyen a construir una imagen preliminar respecto a las condiciones de vida de la población argentina en 1960. Hemos visto que su distribución, en algunos casos, resulta coincidente y, en otros, no. Las coincidencias y diferencias pueden explicarse por la naturaleza de las variables que, en algunas situaciones, tienden a perjudicar o beneficiar más a la población de algunos territorios. Por eso, para intentar brindar un mapa integral de la calidad de vida de la población, resulta útil proponer un índice-resumen a partir de la combinación de las variables más significativas.

Este índice resulta de un compromiso entre la información disponible, las unidades de análisis utilizadas y el intento de aproximación a la escala de valores de la sociedad en cada momento histórico. A

título de ejemplo, es difícil no contemplar aspectos ambientales en la actualidad en un índice de bienestar, dimensión que para la Argentina de mediados del siglo XX no resultaba aún relevante ni intentaba ser captada por el Sistema Estadístico Nacional. Recién, en los censos del 2001 y 2010, se contemplaron variables ambientales. Otro criterio para la elaboración del índice consiste en incorporar variables que puedan ser relevantes a lo largo del tiempo y que permitan efectuar comparaciones a largo plazo con los estudios de periodos más recientes.

En virtud de estas consideraciones, nuestra propuesta para estimar la calidad de vida de la población argentina en 1960 incluye una serie de dimensiones y variables que se muestran en el cuadro 1.

Como se puede observar en el cuadro 1, las diferentes variables tienen distinta amplitud total. Así, algunas varían entre 125.10 y 40.40 puntos, mientras que otras lo hacen entre 50.13 y 0.69.



La integración de estas tasas se efectuó mediante su transformación en números-índice parciales, en los cuales los valores extremos se transforman entre 1 y 10 para reflejar la mejor y peor situación relativa, respectivamente. Esto se realizó según el tipo de variable con el siguiente procedimiento:

$$I = \frac{\text{Máximo} - a}{\text{Máximo} - \text{mínimo}} * 10,$$

donde  $a$  = variable de costo.

Así, por ejemplo, la provincia de Buenos Aires tenía 5.6 analfabetos por cada 100 habitantes, cifra que, llevada a número-índice, da 0.89 (lo que ubica a la provincia de Buenos Aires más cerca de la mejor situación relativa, cuyo valor es 3.2).

La transformación de las variables permite la elaboración del ICV, cuya composición resulta de la suma ponderada de los números-índice parciales de cada una de las variables de las tres dimensiones seleccionadas.

El mapa de síntesis sobre la base del índice propuesto muestra que la calidad de vida de la población argentina en 1960 resultaba muy inequitativa a lo largo del territorio (ver mapa 7).

**Cuadro 1**

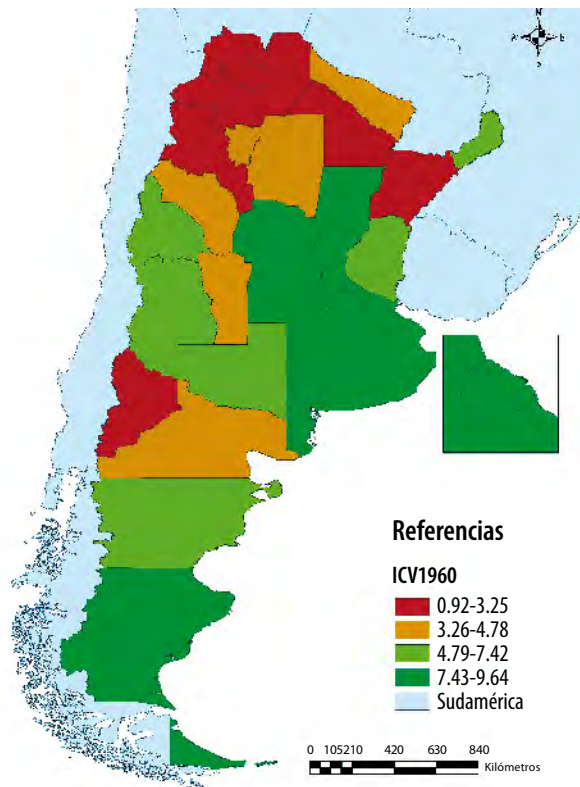
**Dimensiones y variables del ICV, Argentina, 1960**

Dimensión	Variables	Peso relativo	Valores extremos (máximo-mínimo)
Educación	• Tasa de analfabetismo (población mayor a 6 años)	1/3	(24.20-3.20)
Salud	• Tasa de mortalidad infantil	1/3	(125.10-40.40)
Vivienda	• Hacinamiento (personas/vivienda)	1/6	(5.4-4.0)
	• Tasa de viviendas sin retrete	1/6	(50.13-0.69)

Fuente: elaboración personal.

**Mapa 7**

**Índice de Calidad de Vida, Argentina, 1960**



Fuente: elaboración personal.

Las provincias de las regiones Pampeana y Patagonia austral tienden a ubicarse en el rango de los valores más altos de calidad de vida (comprendido entre 7.43 y 9.64 puntos del ICV). La mejor situación relativa se registra en la Ciudad de Buenos Aires (9.64 puntos), seguida por la provincia Buenos Aires (8.93 puntos) y el Territorio Nacional de Tierra del Fuego (8.78 puntos). Cabe recordar que la escala provincial implica un grado de generalización alto, por lo cual es probable que algunos partidos/departamentos de Buenos Aires u otras provincias puedan tener ICV mayores que los de la propia Ciudad de Buenos Aires.

Por el contrario, la peor situación relativa en lo que respecta al bienestar se registra en el norte; en particular, la provincia de Jujuy, que muestra un comportamiento muy poco satisfactorio en casi todos los indicadores y solo alcanza un ICV de 0.92 puntos. La provincia de San Luis y algunas unidades patagónicas (Neuquén y Río Negro) también presentan magros índices.

La brecha entre la mejor y peor situación es alta. El *ranking* lo encabeza, como dijimos, la Ciudad de Buenos Aires (9.64 puntos), mientras que el lugar relativo más bajo es para Jujuy, que alcanza solo 0.92 puntos.

Comparando las 22 provincias, en la Ciudad de Buenos Aires y el Territorio Nacional de Tierra del Fuego, Antártida e islas del Atlántico sur, los valores del ICV para 1960 son los que se presentan en el cuadro 2.

**Cuadro 2** Continúa  
**ICV por provincia, Argentina, 1960**

Unidad administrativa	Población	ICV
Ciudad de Buenos Aires	2 966 634	9.64
Buenos Aires	6 766 108	8.93
Territorio Nacional de Tierra del Fuego	7 955	8.78
Santa Fe	1 884 918	8.29
Santa Cruz	52 908	8.15

**Cuadro 2** Concluye

### ICV por provincia, Argentina, 1960

Unidad administrativa	Población	ICV
Córdoba	1 753 840	7.64
La Pampa	158 746	7.42
Mendoza	824 036	6.52
Entre Ríos	805 357	6.45
Misiones	361 440	5.33
Chubut	142 412	5.26
San Juan	352 387	5.16
Formosa	178 526	4.78
La Rioja	128 220	4.51
San Luis	174 316	4.49
Río Negro	193 292	4.10
Santiago del Estero	476 503	3.93
Tucumán	773 972	3.81
Chaco	543 331	3.25
Corrientes	533 201	3.25
Catamarca	168 231	3.11
Neuquén	109 890	2.50
Salta	412 854	2.37
Jujuy	241 462	0.92
		(brecha: 8.72)

Fuente: elaboración personal.

## Conclusiones

El *Quinto Censo Nacional* permite conocer de forma aproximada la calidad de vida de la población de la República Argentina a partir de la elaboración de un índice-resumen acorde con la información disponible y las características del momento histórico considerado.

Como muestran los resultados obtenidos, las desigualdades regionales en la Argentina durante el *Quinto Censo Nacional* eran muy altas, en particular entre las unidades menores (departamentos/partidos) pero, como hemos visto, la información disponible no permite ir más allá de la escala provincial/territorial.

El grado de inequidad entre las peores y mejores situaciones es muy grande. Considerando las provincias, la diferencia entre la mejor y peor situación relativa (Capital Federal y Jujuy, respectivamente) es de 8.72 puntos. Además, cabe remarcar que estas diferencias espaciales para la gran mayoría de indicadores sociales y económicos son las mismas que se registran en la actualidad con una Región Pampeana con valores más altos (en conjunto con la Patagonia austral) y con provincias del norte con los registros más bajos.

Por último, queremos remarcar la potencialidad operativa de los SIG, que permite recuperar fuentes históricas de notable riqueza, como los censos de población de mediados del siglo XX, los cuales constituyen una fuente insoslayable de información. Esta radiografía de la calidad de vida argentina muestra, asimismo, la potencialidad de los censos de población para el estudio de dimensiones que van mucho más allá de su utilización exclusivamente demográfica. Asimismo, en el futuro, se realizarán nuevos ICV con base en censos anteriores y posteriores al de 1960 para poder obtener una evolución temporal de las condiciones en que residen los habitantes de la Argentina.

## Fuentes

- Barclay, G. *Técnicas de análisis de la población*. Rosario, Instituto Interamericano de Estadística, 1962.
- Bolsi, A.; F. Longhi y P. Paolasso. "El Norte Grande Argentino entre el progreso y la pobreza", en: *Población & Sociedad*. Argentina, Universidad Nacional de La Pampa, núm.12-13, 2006, pp. 227-283.
- Buzai, G. y C. Baxendale. *Análisis socioespacial con sistemas de información geográfica*. Buenos Aires, Lugar Editorial, 2006.
- Camargo Mora, M. G. (ed.). *III Seminario Latinoamericano de Calidad de Vida Urbana*. Mérida, Instituto de Geografía, Universidad de los Andes, 1996.
- Campobassi, C. *El analfabetismo en la República Argentina*. Buenos Aires, Ministerio de Educación y Justicia, 1966.
- Celemín, J. P. "El estudio de la calidad de vida ambiental: definiciones conceptuales, elaboración de índices y su aplicación en la ciudad de Mar del Plata, Argentina", en: *Hologramática*. Núm. 7. Argentina, Universidad Nacional de Lomas de Zamora, 2007, pp. 71-98.
- \_\_\_\_\_ "Contribución metodológica a la ponderación de variables: aplicación desde una perspectiva geográfica", en: *Revista Geográfica Venezolana*. Vol. 51, núm. 1. Venezuela, Universidad de Los Andes, 2010, pp. 45-58.
- Celemín, J. P.; C. A. Mikkelsen y G. A. Velázquez. "La calidad de vida desde una perspectiva geográfica: integración de indicadores objetivos y subjetivos", en: *Revista Universitaria de Geografía*. Vol. 24. Departamento de Geografía y Turismo, Universidad Nacional del Sur, Argentina, 2015, pp. 63-84.
- Cepeda, R. y G. Velázquez. "Una metodología tendiente a validar la hipótesis de contigüidad espacial en relación a la calidad de vida para ciudades intermedias". *V Jornadas de la Asociación de Estudios de Población de la Argentina*. Buenos Aires, AEPA-INDEC, 2001.
- Cepeda, R.; C. Marinelli; S. Gómez Lende y G. Velázquez. "Técnicas de análisis multivariado para la determinación de calidad de vida". *Primer Seminario Argentino de Geografía Cuantitativa*. Buenos Aires, GEPAMA-FADU-UBA, 2004.
- Connerly, C. y R. Marans. "Comparing two global measures of perceived neighborhood quality", en: *Social Indicators Research*. Vol.17, núm., 1. Suiza, 1985, pp. 29-47.
- De Aparicio, F. y H. Difrieri (dir.). *La Argentina. Suma de geografía*. Buenos Aires, Peuser, 1958-1963.
- Delgado, M. T. y E. Méndez. *Planificación territorial. Medio ambiente y calidad de vida*. Mérida, Litorama, 1996.
- Escudero, J. C. y C. M. Massa. "Cifras del retroceso: el deterioro relativo de la tasa de mortalidad infantil de Argentina en la segunda mitad del siglo XX", en: *Salud Colectiva*. Núm. 2. Argentina, 2006, pp. 249-257.
- Estés, R. "Hacia un índice de calidad de vida: enfoques empíricos para la evaluación del bienestar humano a nivel internacional", en: Kliksberg, B. (ed.). *Pobreza, un tema impostergable*. Caracas, FCE-PNUD, UNESCO, 1999, pp. 131-148.
- Fernández-López, J. A.; M. Fernández-Fidalgo y A. Cieza. "Los conceptos de la calidad de vida, salud y bienestar analizados desde la perspectiva de la clasificación internacional del funcionamiento (CIF)", en: *Revista Española de Salud Pública*. Vol. 84, núm., 2. España, Ministerio de Sanidad, Consumo y Bienestar Social, 2010, pp. 169-184.
- Finkelstein, J. Z.; M. Duhau; A. Speranza, É. Marconi & P. Escobar. "Evolución de la mortalidad infantil en Argentina en el marco de los Objetivos de Desarrollo del Milenio", en: *Archivos Argentinos de Pediatría*. Vol. 114, núm. 3. Argentina, 2016, pp. 216-222.
- Friel, S.; M. Akerman; T. Hancock et al. "Addressing the social and environmental determinants of urban health equity: evidence for action and a research agenda", en: *J Urban Health*. Vol. 88, núm. 5. Suiza, 2011, pp. 860-874.
- Giusti, A. "Censos modernos: 1960, 1970, 1980, 1991 y 2001", en: *Población y bienestar en la Argentina del primero al segundo Centenario*. Buenos Aires, Edhasa, 2007.

- Halperín, L. *Condiciones de vida de la población de Mar del Plata 1992/1994*. Mar del Plata, Facultad de Humanidades, UNMdP, 1994.
- INDEC-CEPAL-CELADE. *Estimaciones y proyecciones nacionales de población por sexo y edad. 1950-2015*. Buenos Aires, INDEC (Serie Análisis Demográfico núm. 30), 2004.
- Kutznetz, S. *Modern Economic Growth*. New Haven, Yale University Press, 1966.
- Longhi, F.; A. Bolsi; G. Velázquez; P. Paolasso y J. P. Celemin. "Fragmentación socio-territorial y condiciones de vida en Argentina en los albores del siglo XXI", en: *Revista Latinoamericana de Población*. Núm. 12. México, Asociación Latinoamericana de Población, 2013, pp. 99-132.
- Lucero, P.; C. Mikkelsen; F. Sabuda; S. Ares; S. Aveni y A. Ondartz. "Calidad de vida y espacio: una mirada geográfica desde el territorio local", en: *Hologramática*. Vol. 1, núm. 7. Argentina, Universidad Nacional de Lomas de Zamora, 2007, pp. 99-125.
- Lucero, P.; C. Mikkelsen; S. Ares y F. Sabuda. "Calidad de vida urbana en la Argentina de la postconvertibilidad. Procesos sociales y territoriales en el periodo 2003-2012", en: *Revista Población de Buenos Aires*. Núm. 21. Argentina, Dirección General de Estadísticas y Censos, 2015, pp. 43-75.
- Marinelli, C.; S. Torcida y G. Velázquez. "Discusiones metodológicas acerca de la validez de la elaboración de un índice de calidad de vida urbana, aplicable a ciudades de tamaño intermedio". *V Seminario Latinoamericano de Calidad de Vida Urbana*. Chillan, Chile, Universidad del Bío-Bío, 2000.
- Marinelli, C.; R. Cepeda y S. Gómez Lende. "Geografía y técnicas estadísticas. Una aproximación metodológica al análisis temporal de la calidad de vida en la Argentina (1991-2001)". *II Seminario Internacional sobre Población y Sociedad*. Salta, Argentina, GREDES, 2005.
- Mentz, R. "Sobre la historia de la estadística oficial argentina", en: *Estadística Española*. Vol. 33, núm. 128. España, Instituto Nacional de Estadística, 1991, pp. 501-532.
- Olave, F. D. y H. Bodini. *Metodología básica para detectar calidad de vida en ciudades intermedias*. Bío-Bío, Departamento de Geografía, Universidad del Bío-Bío, 1995.
- Otero, H. *Estadística y nación. Una historia conceptual del pensamiento censal de la Argentina Moderna*. Buenos Aires, Prometeo, 2006.
- \_\_\_\_\_. "Censos antiguos", en: Torrado, S. (comp.). *Población y bienestar en la Argentina del primero al segundo Centenario*. Tomo I. Buenos Aires, Edhasa, 2007, pp. 187-213.
- Pantano, L. *La discapacidad como problema social. Reflexiones y propuestas*. Buenos Aires, Eudeba, 1987.
- Recchini, Z. y A. Lattes (eds.). *La población de Argentina*. Buenos Aires, CICRED, 1975.
- Rofman, A. y N. Márques. *Desigualdades regionales en la Argentina*. Buenos Aires, Centro de Estudios Urbanos y Regionales, 1988.
- Sterimberg, E.; C. Sánchez; A. Cuervo de Forero y J. Ramírez. *Diseño de un sistema de indicadores socioambientales para el distrito capital de Bogotá. Serie Estudios y Perspectivas*. Santiago de Chile, Cepal-Organización de las Naciones Unidas, 2004.
- Santos, M. *O espaço dividido. Os dois circuitos da economia urbana dos países subdesenvolvidos*. São Paulo, Hucitec, 1979.
- Torrado, S. *Población y bienestar en la Argentina del primero al segundo Centenario*. Buenos Aires, Edhasa, 2007.
- Velázquez, G. *Geografía, calidad de vida y fragmentación en la Argentina de los noventa. Análisis regional y departamental utilizando SIG*. Tandil, CIG-UNICEN, 2001.
- Velázquez, G. *Geografía y bienestar. Situación local, regional y global de la Argentina luego del censo de 2001*. Buenos Aires, Eudeba, 2008.
- \_\_\_\_\_. *Geografía y calidad de vida. Análisis regional y departamental*. Tandil, UNCPBA, 2010.
- Velázquez, G. y M. García. *Calidad de vida urbana. Aportes para su estudio en Latinoamérica*. Tandil, CIG-UNICEN, 1999.
- Velázquez, G.; A. Vega; J. Macchi y A. Gallo. "Representaciones del territorio argentino a partir del primer censo nacional", en: Torrado, S. (comp.). *Población y bienestar en la Argentina del primero al segundo Centenario*. Tomo I. Buenos Aires, Edhasa, 2007, pp. 131-160.
- Velázquez, G.; C. Mikkelsen; S. Linares y J. P. Celemin. *Calidad de vida en Argentina. Ranking del bienestar por departamentos (2010)*. Tandil, CIG-UNICEN, 2014.

Propuesta metodológica:

# Índice de Infraestructura Urbana

para el diagnóstico urbanístico sobre  
el traslado de personas mayores de 60 años  
en tres AGEB de la Jurisdicción Sanitaria

## Magdalena Contreras

Methodological Proposal:

### Urban Infrastructure Index

for Urban Diagnosis on the Mobility of Elder People over 60,  
in Three AGEB of the Magdalena Contreras  
Sanitary Jurisdiction

Gerardo Florencio Casimiro\* y Janet Real Ramírez\*\*

\* Centro de Salud TIII Dr. Ángel de la Garza Brito, gerardo\_fc@live.com.mx

\*\* Instituto Nacional de Salud Pública (INSP), janet.real@insp.mx

**Nota:** se agradece al MSPAS Héctor Cabrera Gallaga por sus comentarios en la versión final del resumen en inglés, así como al equipo de la Subdirección Estatal de Difusión Regional Centro encabezado por el licenciado José Antonio Maldonado Escalante por acompañarnos en la asesoría de este y otros proyectos con la herramienta.

Se desarrolló la propuesta de un nuevo Índice de Infraestructura Urbana (IIU) para medir la presencia de elementos urbanísticos construidos (banquetas, rampas, recubrimiento de calles, alumbrado público y drenaje) que faciliten el traslado y prevenga lesiones en las personas mayores de 60 años. El estudio se hizo en tres áreas geostatísticas básicas (0300, 0423 y 057A) de la zona de influencia del Centro de Salud T-III Dr. Ángel de la Garza Brito, en la Jurisdicción Sanitaria Magdalena Contreras. Los resultados se presentan en mapas temáticos elaborados con la herramienta *Mapa Digital de México V6.3* y el *Censo de Población y Vivienda 2010*, del INEGI. Los resultados se expresan en porcentajes de infraestructura urbana construida: la 0300 tiene 69%; la 0423, 52.8%; y la 057A, 30.3% de dichos elementos. Este índice representó cuantitativamente las diferencias de infraestructura entre las zonas. Esta metodología permitiría la priorización del desarrollo urbano con equidad basada en determinantes para adultos mayores.

**Palabras claves:** índice; infraestructura urbana; traslado; adultos mayores de 60 años.

Recibido: 15 de marzo de 2019.

Aceptado: 22 de agosto de 2019.

The proposal for a new Urban Infrastructure Index (IUI) was developed in order to measure the presence of built urban elements (sidewalks, ramps, roads resurfacing, street lighting, and drainage) that facilitate transportation and prevent injuries in people over 60 years of age. The study was conducted in three basic geostatistical areas (0300, 0423, and 057A) in the zone of influence of the T-III Dr. Ángel de la Garza Brito Health Center, in the Magdalena Contreras Health Jurisdiction. The results are presented in thematic maps prepared with the Digital Map of Mexico tool V6.3 and the Population and Housing Census 2010, of INEGI. The results are expressed in percentages of built urban infrastructure: the 0300 has 69%; 0423, 52.8%; and 057A, 30.3% of said elements. This index represented quantitatively the infrastructure differences between the zones. This methodology would allow the prioritization of urban development with equity based on determinants for older persons.

**Keywords:** index; urban infrastructure; transfer; older persons



Slum in Mexico city/Cindy Karp/Getty Images

## Introducción

Esta investigación documenta resultados del diagnóstico demográfico y urbanístico —basado en criterios poblacionales, de infraestructura y equipamiento urbano— en tres áreas geoestadísticas básicas (AGEB) de alta, mediana y baja marginalidad, de la zona de influencia del Centro de Salud T-III Dr. Ángel de la Garza Brito en la Jurisdicción Sanitaria Magdalena Contreras en la Ciudad de México; lo anterior se llevó a cabo mediante el análisis de la base de datos del *Censo de Población y Vivienda (CPV) 2010* del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI).

El principal objetivo del estudio es proponer el Índice de Infraestructura Urbana (IIU), el cual puede ayudar a estimar la presencia de obra pública que facilite el traslado de las personas mayores de 60 años en su entorno. Los principales resultados se presentan comparando las tres AGEB estudiadas en mapas temáticos elaborados con la herramienta *Mapa Digital de México (MDM) V6.3* del INEGI, donde se muestran las áreas de oportunidad y mejora para el desarrollo de infraestructura urbanística para ese grupo etario, acordes con los componentes recomendados por la Organización Mundial de la Salud (OMS, 2007) en el documento *Ciudades globales amigables con los mayores: una guía*.

Este trabajo se divide en tres partes, la primera aborda los antecedentes que sentaron las bases para la realización del mismo, la segunda se refiere a la propuesta y desarrollo del IIU y en la última se presentan los resultados y las conclusiones obtenidas del anterior apartado.

## Antecedentes

El proceso de la transición demográfica en el que la población de América Latina está envejeciendo rápidamente puede explicarse por el descenso en las tasas de fecundidad, mejores intervenciones en salud, nutrición y educación, así como por el acceso a los avances en la medicina curativa y la creación de políticas públicas dirigidas hacia todos los sectores

de la población desde los primeros años de vida y hasta el final de esta (Oppen y Vaupel, 2002).

El fenómeno de la transición epidemiológica, inconcluso en México, actualmente está caracterizado por la presencia de enfermedades transmisibles y no transmisibles, así como por las causas de muerte que han modificado la esperanza de vida de las personas y su calidad de vida (Santosa *et al.*, 2014), donde la inconsistencia en el uso de medidas preventivas primarias, secundarias y la priorización de medidas de rehabilitación y empleo de tecnología de alto costo con resultados limitados han favorecido el incremento en la inversión en salud.

Se estima que para el 2050, la población de personas mayores de 60 años será cercana a 2 billones en todo el mundo (Beard y Petitot, 2010). En los países con economías de ingresos altos se han observado menores tasas de natalidad y mayor esperanza de vida a un ritmo consistentemente estable (OMS, 2015), mientras que en los de ingresos bajos y medio-bajos (BM, 2016), estos procesos están ocurriendo de una manera más acelerada y se calcula que para ese año, 80% de esa población vivirá en naciones de ingresos bajos y medio bajos (FPNU, 2017).

Por su parte, en América Latina se estima que para el 2050 habrá 200 millones de habitantes de ese grupo etario (Suárez y Pescetto, 2005) y, en México, el Consejo Nacional de Población (CONAPO, 2016) calcula que dicha población llegará a la cifra de 32 427 196. Comparativamente, el número de adultos mayores de 60 años de edad en la Ciudad de México (CDMX) aumentará de 1 219 167 en el 2016 a 1 725 862 en el 2050.

Los fenómenos poblacionales de crecimiento y envejecimiento conllevan diferentes retos. En México, como en otros países, el primero ha forzado a las personas a residir y construir sus viviendas en las áreas periféricas de las ciudades donde, al no haber sido planificadas, se generaron tanto necesidades de servicios no cubiertas como problemas de movilidad y traslado en las zonas que ahora están habitadas de manera irregular (Capron *et al.*, 2013).

Las personas mayores de 60 años tienen más probabilidad, comparado con otros grupos etarios, de sufrir situaciones de discapacidad, dependencia y exclusión social, así como soledad, abandono y maltrato (Salas y Sánchez, 2014).

El rápido crecimiento urbano y el asentamiento de la gente en la periferia de las ciudades están impactando de forma negativa en el rubro de la planificación urbanística y el ordenamiento territorial, generando problemas de salud al incrementar la exposición a riesgos naturales y sociales, como la exclusión social y aislamiento, perpetuando determinantes negativos vinculados a la pobreza, por ejemplo, vivienda inadecuada y dificultad de acceso a servicios por falta de infraestructura urbana (banquetas, rampas, alumbrado público, entre otras) que facilite el traslado de las personas (Sánchez, 2012).

En la Ciudad de México, el crecimiento demográfico ha creado preocupación por el aumento en el indicador de la densidad poblacional. Según el INEGI, la nacional en el 2010 era de 61 habitantes por kilómetro cuadrado y en la CDMX (la entidad con la menor extensión territorial del país), de 5 967. Con cifras del CONAPO, para el 2018 fue de 67.09 y 6 093, respectivamente. De acuerdo con la ONU, para el 2050, la densidad poblacional nacional aumentará a 79 habitantes por kilómetro cuadrado.

La transición demográfica en México —donde se observa una inversión de la pirámide poblacional— ha generado preocupación en torno a la pobreza económica de las personas adultas mayores, el sistema de pensiones, los gastos en salud y la adecuación de espacios en el contexto de las inequidades socioespaciales vinculadas a los problemas de acceso y uso de servicios básicos de salud, recreación, educación y empleo, entre otros.

Un análisis de las características del entorno urbano evidencia los obstáculos y las oportunidades en el desplazamiento de las personas adultas mayores. Esto nos permitirá entender la complejidad de la generación de espacios que faciliten la cali-

dad de vida que promuevan la inclusión social y el libre tránsito de este segmento de la población.

## **Ciudades amigables con los adultos mayores**

En el 2002, durante la Segunda Asamblea de las Naciones Unidas sobre el Envejecimiento (Madrid, España) se emitió la declaración política y plan de acción internacional sobre el envejecimiento en la que se adoptaron las medidas para la atención de "...las personas de edad y su desarrollo; la promoción de la salud y el bienestar en la vejez, y el logro de entornos emancipadores y propicios...", ya que estos pueden favorecer u obstaculizar la vida y la convivencia de este grupo etario; con ello, se reconoce de vital importancia a la vivienda y el espacio físico para un adecuado desarrollo de las personas adultas mayores. También, enfatiza el reto de los países de economías con ingresos bajos, donde las condiciones sociales y económicas no dan la posibilidad a la gente de estar en un ambiente accesible, seguro y saludable (OMS, 2002).

En el apartado sobre el entorno externo a la vivienda se promueve velar por:

- Que la vivienda y el espacio público fomenten la independencia de las personas adultas mayores.
- Mejorar la red de transporte público y adaptarlo a sus necesidades.

Asimismo, en la guía de la OMS (2007) se busca lograr que: "...una ciudad amigable con los mayores aliente el envejecimiento activo mediante la optimización de las oportunidades de salud, participación y seguridad a fin de mejorar la calidad de vida de las personas a medida que envejecen...".

Esta fue el resultado de la coordinación de 33 ciudades en todo el mundo, incluidas la CDMX y Cancún, en la cual se realizaron grupos focales con adultos mayores de 60 años, quienes describieron las ventajas y barreras que había en ocho actividades de su vida: vivienda, participación social, respeto e



inclusión social, participación cívica y empleo, comunicación e información, servicios comunitarios de salud, espacios al aire libre y edificios, así como transporte.

En el 2012 se realizó el trabajo de investigación *Envejecimiento demográfico y requerimientos de equipamiento urbano: hacia un urbanismo gerontológico* (Narváez, 2012), el cual presenta el análisis de las condiciones de infraestructura urbanística de la ciudad de Aguascalientes, México, potencialmente utilizable por las personas adultas mayores con base en las proyecciones poblacionales del CONAPO y el levantamiento de encuestas a ese segmento de población para conocer estado de salud y condiciones sociodemográficas.

Diferentes estudios han demostrado la relación que existe entre entornos desfavorables, estilos de vida no saludables en las personas adultas mayores (Suárez y Pescetto, 2005; Ribeiro *et al.*, 2009; Yen *et al.*, 2009) y la presencia de aislamiento social, enfermedades crónicas no transmisibles, aumento en la comorbilidad, discapacidad, fragilidad y pobreza.

### CPV 2010/MDM V6.3

El Censo es una base de datos compleja que nos evidencia "...el rezago social, los grupos vulnerables; las necesidades de la población en materia de vivienda, educación, salud, servicios de agua potable, electricidad y drenaje, entre otras, y, a partir de ello, elaborar planes y programas que tiendan a mejorar las condiciones de vida de los habitantes..." (INEGI, 2010). La herramienta MDM V6.3 es un sistema de información geográfica (SIG) "...donde se integra información de los elementos naturales y culturales que conforman el entorno geográfico del país y permite relacionarlos con información estadística..." (INEGI, 2016).

En el presente estudio se utilizaron las bases de datos del Censo de Población y Vivienda y el MDM V6.3 para observar y ubicar de manera gráfica la información acerca de concentración poblacional y principales vías de comunicación, así como de can-

tidad de banquetas, rampas, alumbrado público, recubrimiento de calles y drenaje.

## Diagnóstico urbanístico

El crecimiento poblacional en la Ciudad de México ha generado asentamientos irregulares en sus zonas periféricas, demanda insatisfecha de servicios e índices de marginalidad y pobreza elevados y, consecuentemente, fuente de inequidades y mala calidad de vida (Discoli *et al.*, 2010).

Este diagnóstico es una metodología que permite conocer de forma objetiva las condiciones y relaciones existentes entre las personas y los asentamientos.

El CPV 2010 agrupó la infraestructura urbana en tres categorías: 1) infraestructura vial, 2) mobiliario urbano y servicios públicos y 3) acceso vial y comercio en vía pública.

El análisis urbanístico de la población que envejece argumenta políticas públicas, de asistencia social y de salud con una perspectiva de curso de vida para una adecuada toma de decisiones basados en una visión integral y de determinación social (Sánchez, 2012; Plouffe y Kalache, 2010).

## Material y métodos

### Diagnóstico de la infraestructura urbanística básica del área de estudio

Los elementos de equipamiento urbano se entienden como facilitadores del tránsito de las personas (banquetas y calles asfaltadas); algunas modificaciones en los edificios o construcciones son específicas para algún grupo etario (rampas o infraestructura en escuelas primarias) (Narváez, 2012). El fenómeno de la transición demográfica ha modificado el uso de los espacios públicos, así como los requerimientos de equipamiento urbano necesarios para el libre tránsito de las personas, en especial de las adultas mayores (Ribeiro *et al.*, 2009).

La Secretaría de Desarrollo Social (SEDESOL, 1999) emitió el Sistema Normativo de Equipamiento Urbano, el cual contiene los lineamientos y criterios que se aplicarán en la construcción de espacios públicos. En esta investigación se analizó el equipamiento básico necesario y con enfoque a facilitar el desarrollo, traslado y acceso a servicios, y se valoró, indirectamente, la calidad de vida de las personas adultas mayores (OMS, 2017; SEDATU, 2017); además, se observó la importancia de analizar las condiciones de infraestructura urbanística para el desarrollo de las personas mayores de 60 años acorde con los lineamientos de la guía de la Organización Mundial de la Salud (2017).

Se analizó información censal nacional y del área de estudio, de acuerdo con su nivel de desagregación, para buscar datos referentes a cada elemento de interés:

- a) Censo de Población y Vivienda 2010, INEGI.
- b) Características de las localidades y del entorno urbano, 2014, INEGI.
- c) Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas (DENUE) 2015, INEGI.

## Índice de Infraestructura Urbana

Los índices son expresiones matemáticas que se han ideado para estimar y resumir información contenida en un grupo de variables; deben ser herramientas fáciles de calcular, confiables y comparables a través del tiempo, sencillos de interpretar y comunicar (Vences, 2014).

Para analizar la complejidad de los elementos urbanísticos que faciliten el traslado y libre tránsito de las personas adultas mayores, se propuso un índice flexible para expresar de forma objetiva el grado de desarrollo urbanístico existente. De esta manera, se puede estimar la presencia de los elementos de infraestructura urbana, ubicarlos en un SIG y crear un análisis para identificar aquellas zonas prioritarias y sus áreas de oportunidad (Narváez, 2012; Discoli *et al.*, 2005).

En este trabajo se estudiaron los elementos urbanísticos básicos: banquetas, rampa, recubrimiento de calles, alumbrado público y drenaje registrados en el CPV 2010. Esta propuesta metodológica podría ser adoptada para los análisis local, estatal y nacional con lo que se contribuiría con otro elemento de evaluación conjunta en indicadores de desarrollo a mediano plazo.

## Área de estudio

Se analizaron las AGEB 057A, 0423 y 0300 de la Jurisdicción Sanitaria Magdalena Contreras de la Ciudad de México, las cuales están catalogadas como de alta, mediana y baja marginalidad, respectivamente. Estas se eligieron por su contigüidad entre el área de reserva ecológica y el Centro de Salud T-III. Dr. Ángel de la Garza Brito, así como por la posibilidad de acceso de la población al mismo dada su cercanía. Se usaron las estimaciones poblacionales del CONAPO del 2017 y se estudiaron las distribuciones poblacionales de personas mayores de 60 años. Se realizó un diagnóstico con la infraestructura urbanística básica que facilite su traslado, como: banquetas, rampas, alumbrado público, recubrimiento de calles y drenaje. Se diseñó el IIU y, posteriormente, se analizó con el SIG MDM V6.3 por AGEB y manzanas con la información del CPV 2010.

## Metodología IIU

Se agruparon los resultados de la búsqueda de cada variable hasta el nivel de desagregación de manzana por presencia de elementos urbanísticos en las categorías cualitativas: *todas, algunas o ninguna*.

Para construir el IIU, se realizaron los siguientes pasos:

- Primero. Se partió de la construcción del Índice por Categoría de Elemento Urbanístico (ICEU), donde se asignaron valores a las categorías *todas, algunas y ninguna* para convertirlas de variables ordinales cualitativas a cuantitativas: 0.2 puntos para *todas las manzanas*; 0.1

para *algunas manzanas*; y 0 para *ninguna*; posteriormente, se multiplicaron el número de manzanas que aparecen en cada categoría por el valor asignado y se dividió entre el total:

$$ic = \frac{m * v}{M}$$

donde:

- $m$  = manzanas que contienen el elemento.
- $v$  = valor asignado por categoría: *todas* = 0.2, *algunas* = 0.1, *ninguna* = 0.
- $M$  = manzanas totales en la AGEB.
- $ic$  = Índice por Categoría del Elemento Urbanístico.

- Segundo. Se construyó el Índice por Elemento Urbanístico (IEU): banquetas, rampas, recubrimiento de calles, alumbrado público y drenaje, donde se realizó la suma de las categorías para cada elemento urbanístico y se multiplicó por 100:

$$(ic1 + ic2 + ic3) (100) = Ieu$$

donde:

- $ic1$  = ICEU: *todas*.
- $ic2$  = ICEU: *algunas*.
- $ic3$  = ICEU: *ninguna*.
- $Ieu$  = Índice por Elemento Urbanístico analizado en la AGEB (banquetas, rampas, entre otras).

- Tercero, el IIU. Finalmente, se hizo la suma de cada uno de los índices de elementos urbanísticos para formar uno de infraestructura urbana donde a un mayor valor del resultado del índice, mayor será la cantidad de infraestructura urbana que contenga cada AGEB:

$$IeuB + IeuR + IeuRc + IeuA + IeuD = IIU$$

donde:

$IeuB$  = IEU banquetas.

$IeuR$  = IEU rampas.

$IeuRc$  = IEU recubrimiento de calle.

$IeuA$  = IEU alumbrado público.

$IeuD$  = IEU drenaje.

$IIU$  = Índice de Infraestructura Urbana.

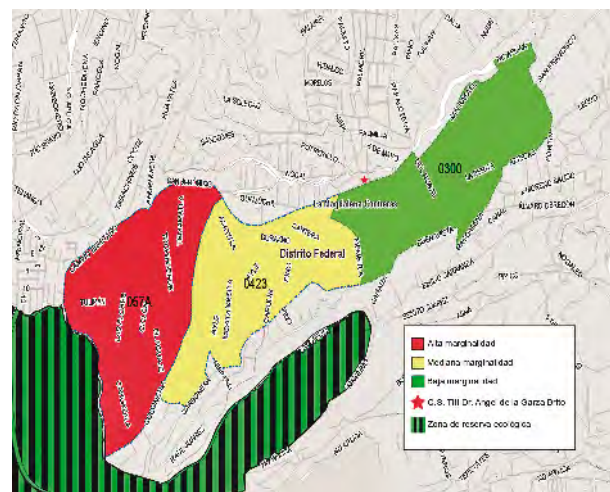
La verificación de la interpretabilidad se hizo por triangulación de métodos con la información reportada por el INEGI y la observación directa de las áreas estudiadas con el fin de que el IIU reflejara las diferencias de la infraestructura urbana a ese nivel de desagregación.

## Resultados

De acuerdo con el análisis por nivel de marginalidad de las AGEB, la Jurisdicción Sanitaria Magdalena Contreras está catalogada con un índice de marginación delegacional muy alto. En el subanálisis, 12 de 52 AGEB están calificadas con muy bajo grado de marginación.

Entre las AGEB estudiadas, en cuanto a su ubicación respecto al Centro de Salud T-III. Dr. Ángel de la Garza Brito, de la más lejana a la más cercana a este (057A, 0423 y 0300, en ese orden, ver mapa 1), la primera es de alta marginalidad; la segunda, de mediana; y la tercera, de baja.

**Mapa 1**  
**Áreas geoestadísticas básicas de estudio**



Al analizar el Censo de Población y Vivienda 2010, se encontró que el total de habitantes de la demarcación territorial Magdalena Contreras era de 238 431; de estos, las personas mayores de 60 años de edad representaron 10.1% (24 243: 13 850 mujeres y 10 393 hombres). Para la estimación del CONAPO del 2017, la población de ese grupo etario sería de 31 312, es decir, 12.9% de la total (17 823 mujeres y 13 489 hombres).

En la gráfica (pirámide) se aprecia el fenómeno del envejecimiento poblacional, caracterizado por una disminución de la base compuesta por grupos etarios menores de 10 años de edad y el

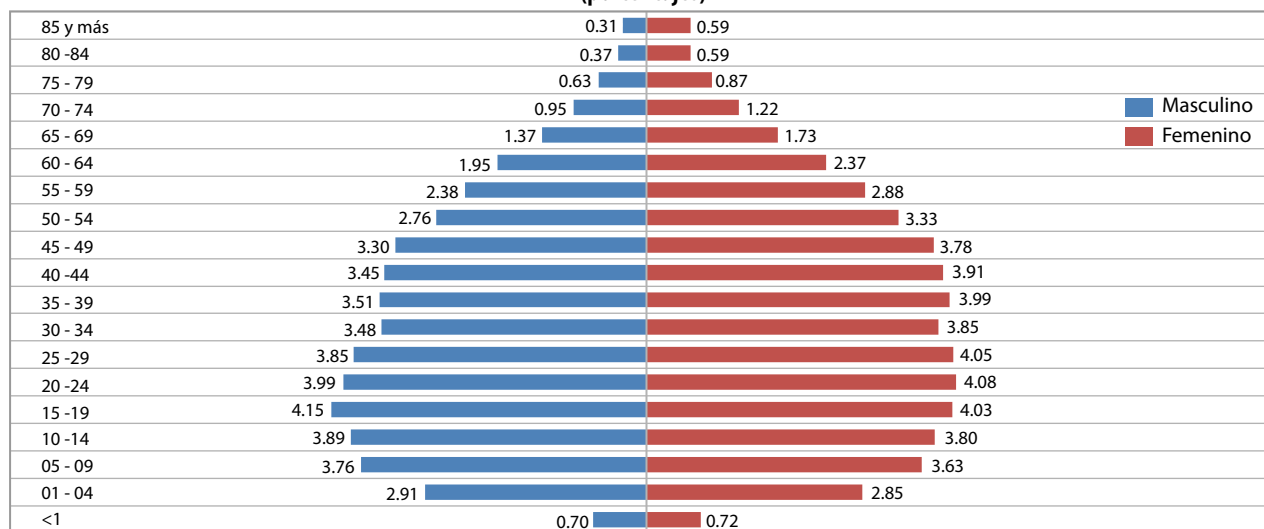
aumento en el número de habitantes en los de mayores de 60 años de edad.

En el cuadro 1 se observa la distribución de la población mayor de 60 años registrada por el CPV 2010 según sexo en las tres AGEB estudiadas: en la 0300, calificada de baja marginalidad, era de 6 435 habitantes; la 0423, de mediana marginalidad, tenía 8 229; y la 057A contó con 8 040. Se puede ver que esta última poseía una menor cantidad de personas dentro de su área.

Para describir la composición poblacional a nivel de AGEB y manzana, se elaboraron mapas te-

### Gráfica

**Pirámide poblacional Jurisdicción Sanitaria Magdalena Contreras, 2017**  
(porcentajes)



Fuente: CONAPO.

### Cuadro 1

**Proyección poblacional por AGEB de interés, CPV 2010**

CVEGEO	Población total por AGEB (%)		Pob. mayor de 60 años (%)		Mujeres mayores de 60 años (%)		Hombres mayores de 60 años (%)	
	Total	%	Total	%	Total	%	Total	%
0300	6 435	28.34	622	2.74	363	1.60	259	1.14
0423	8 229	36.24	590	2.60	325	1.43	265	1.17
057A	8 040	35.41	376	1.66	205	0.90	171	0.75
<b>Total</b>	<b>22 704</b>	<b>100.00</b>	<b>1 588</b>	<b>6.99</b>	<b>893</b>	<b>3.93</b>	<b>695</b>	<b>3.06</b>

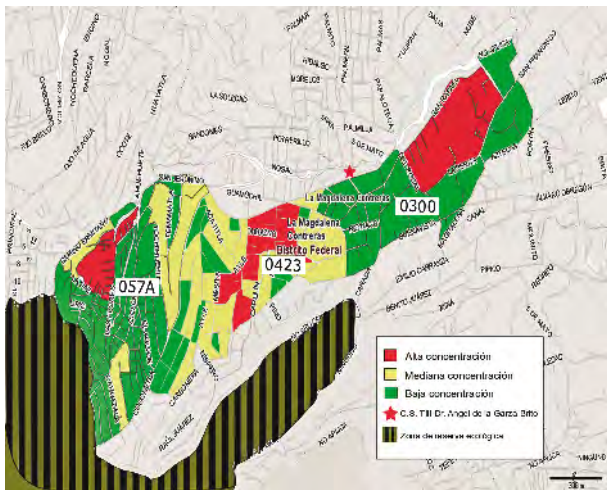
Nota: se expresa el porcentaje representativo comparado con el total de la población.

Fuente: elaboración propia con datos del CPV 2010.

máticos con la herramienta MDM V6.3 junto con los datos del Censo de Población y Vivienda 2010 (ver mapa 2). Se observó que las manzanas con alta concentración de adultos mayores están distribuidas de forma heterogénea: en el caso de la AGEB 057A, solo una concentra la mayor cantidad y se ubica en una zona geográfica alta cercana a la de la reserva ecológica; en cuanto a la 0423, existen cuatro manzanas donde se aglutina el número más elevado de personas de este grupo etario cruzando de manera transversal toda su área geográfica; y en la 0300, una concentra la mayor cantidad de personas mayores y se aprecia que esa manzana representa, aproximadamente, 30% de la extensión territorial de la AGEB.

Mapa 2

### Distribución de la población mayor de 60 años de edad



### Índice de Infraestructura Urbana

En el cuadro 2 se observa la cantidad de elementos encontrados por categoría en cada AGEB estudiada, donde se puede ver que la 057A, de alta marginalidad, cuenta con el mayor número de manzanas y presenta menor desarrollo de infraestructura del tipo banquetas y rampas (solo 14 tienen algunas de las primeras y en ninguna hay de las segundas); los elementos de alumbrado público y recubrimiento de calles (asfalto) son los más desarrollados. La 0300, de baja marginalidad, muestra una

mejor infraestructura urbana que pudiere facilitar el traslado por sus manzanas, pues en la mayor parte de su área cuenta con banquetas, alumbrado público, recubrimiento de calles (asfalto) y drenaje, aunque el elemento de rampas no se encuentra en 19 manzanas. Por último, en la 0423, de mediana marginalidad, hay banquetas en 39 de 47 manzanas, pero no cuenta con rampa alguna entre sus manzanas y no hay manzanas sin recubrimiento de calles y alumbrado público, pero sí tiene una que adolece de drenaje.

Cuadro 2

### Elementos urbanísticos presentes en las tres AGEB de estudio

AGEB	Elemento urbanístico			Total de manzanas
	Todas	Algunas	Ninguna	
<b>Banquetas</b>				
	Todas	Algunas	Ninguna	
057A	0	14	47	61
0423	0	39	8	47
0300	4	17	0	21
<b>Rampas</b>				
	Todas	Algunas	Ninguna	
057A	0	0	61	61
0423	0	0	47	47
0300	0	2	19	21
<b>Alumbrado público</b>				
	Todas	Algunas	Ninguna	
057A	21	37	3	61
0423	24	23	0	47
0300	16	15	0	21
<b>Recubrimiento de calles</b>				
	Todas	Algunas	Ninguna	
057A	7	47	7	61
0423	29	19	0	47
0300	19	2	0	21
<b>Drenaje</b>				
	Todas	Algunas	Ninguna	
057A	1	29	31	61
0423	15	31	1	47
0300	10	11	0	21

Fuente: elaboración propia a partir de datos del CPV 2010-MDM, INEGI.

Al desarrollar el segundo paso (IEU) y al convertirlo a una variable cuantitativa expresada en porcentaje, se observa la presencia del porcentaje de elementos construidos (ver cuadro 3). El alumbrado público es el más frecuente en el área de las AGEB estudiadas, seguido por el recubrimiento de calles y el drenaje; los menos construidos son las banquetas y rampas.

Al desarrollar el paso 3 (IIU) realizando la sumatoria del IEU, se estimó el grado de infraestructura conjunta presente en sus respectivas áreas de la siguiente manera: 69.1% en la 0300, 52.8% en la 0423

y 30.4% en la 057A, resultado que indica que esta última es la que muestra la mayor dificultad para facilitar el traslado de las personas a través de sus manzanas (ver cuadro 4).

**Cuadro 4**  
**Índice de Infraestructura Urbana**

AGEB	IIU
057A	30.40%
0423	52.80%
0300	69.10%

IIU: Índice de Infraestructura Urbana.  
Fuente: elaboración propia.

**Cuadro 3**

Continúa

**Índice por Categoría de Elemento e Índice por Elemento Urbanístico**

AGEB	Elemento urbanístico			Total de manzanas	IEU
<b>Banquetas</b>					
	Todas	Algunas	Ninguna		
057A	0	0.02295082	0	61	2.30%
0423	0	0.08297872	0	47	8.30%
0300	0.03809524	0.08095238	0	21	11.90%
<b>Rampas</b>					
	Todas	Algunas	Ninguna		
057A	0	0	0	61	0.00%
0423	0	0	0	47	0.00%
0300	0	0.00952381	0	21	1.00%
<b>Alumbrado público</b>					
	Todas	Algunas	Ninguna		
057A	0.06885246	0.06065574	0	61	13.00%
0423	0.10212766	0.04893617	0	47	15.10%
0300	0.15238095	0.07142857	0	21	22.40%
<b>Recubrimiento de calles</b>					
	Todas	Algunas	Ninguna		
057A	0.02295082	0.07704918	0	61	10.00%
0423	0.12340426	0.04042553	0	47	16.40%
0300	0.18095238	0.00952381	0	21	19.00%

**Índice por Categoría de Elemento e Índice por Elemento Urbanístico**

AGEB	Elemento urbanístico			Total de manzanas	IEU
Drenaje					
	Todas	Algunas	Ninguna		
057A	0.00327869	0.04754098	0	61	5.10%
0423	0.06382979	0.06595745	0	47	13.00%
0300	0.0952381	0.05238095	0	21	14.80%

IEU: Índice por Elemento Urbanístico.

Fuente: elaboración propia.

**Discusión**

El aumento de la población mayor de 60 años para el 2017 con respecto al 2010 y su distribución poblacional en las AGEB estudiadas es heterogénea. Se observa una menor cantidad de habitantes de este grupo etario en la 057A; estos hallazgos se explican, probablemente, porque las colonias que integran esas AGEB se fueron formando, de manera geográfica, desde las zonas bajas hacia las altas; en este caso, la 057A es la de más reciente creación, pues inició su asentamiento irregular hace 30 años, aproximadamente, en tanto que la 0300 es la más antigua de las tres, la cual contiene habitantes originarios de los pueblos de la demarcación territorial Magdalena Contreras, quienes han visto cómo personas de otras partes de la ciudad o del país se han asentado en los lugares altos, lo anterior según testimonios de gente entrevistada cuando se hicieron los recorridos para conocer las zonas; esto concuerda con lo descrito en otros trabajos acerca de los problemas surgidos en los asentamientos irregulares establecidos en las periferias de las ciudades, como los descritos por Diego Sánchez González (2012).

En apariencia, y acorde con otros estudios realizados sobre urbanismo y presencia de parque vehicular, la existencia de mayor construcción de los elementos recubrimiento de calles y alumbrado público obedece a que se ha privilegiado el uso de los espacios en favor del tránsito de automotores por los siguientes dos factores:

1. La dificultad para movilizarse a pie en las zonas altas y de difícil acceso se ha paliado con el uso de vehículos de transporte público, camiones y taxis, principalmente.
2. Como lo menciona Carmen Lizárraga Mollinedo (2016) en su trabajo sobre movilidad urbana sostenible, cada vez es más frecuente el uso de automóviles particulares como medio de transporte en zonas semiurbanas y urbanas.

Los datos encontrados en esta investigación con respecto a la distribución poblacional en las AGEB estudiadas concuerdan con los obtenidos por Óscar Narvée Montoya (2012) en su trabajo sobre demografía y requerimiento urbano, en el cual reporta pequeñas áreas con alta concentración poblacional y poca disponibilidad de vías de comunicación en zonas periféricas.

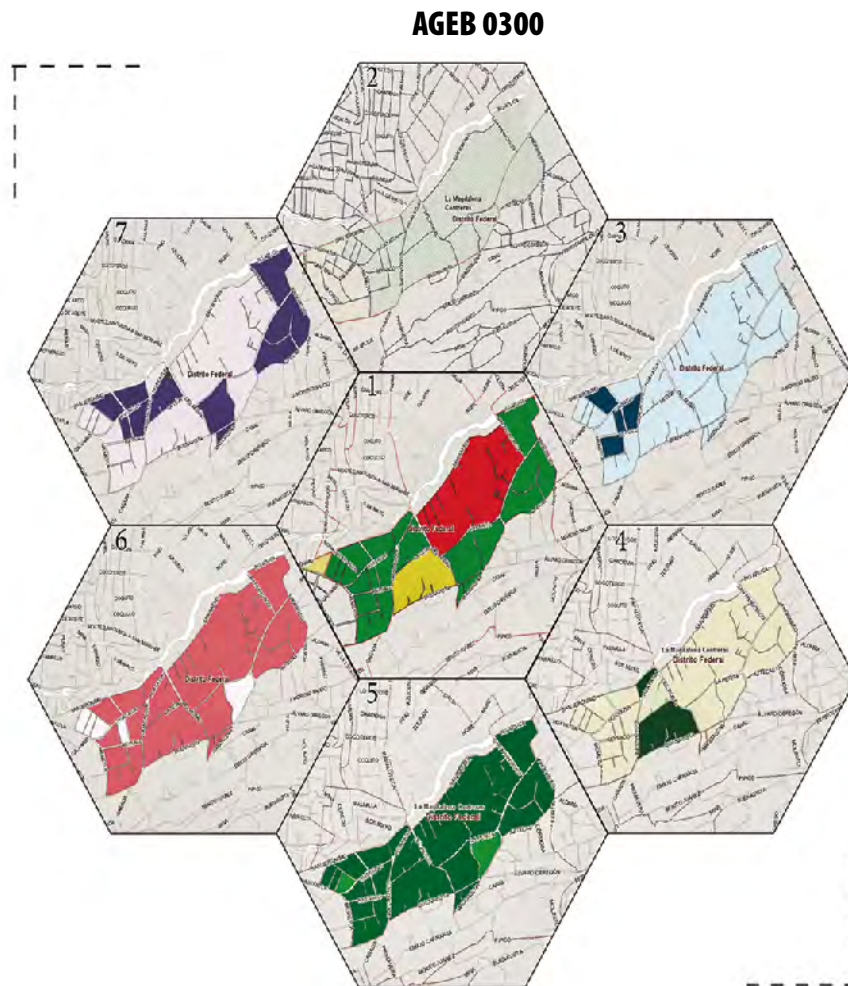
En el presente estudio no fue posible determinar cuáles eran los factores que llevaron a concentrar más cantidad de adultos mayores en ciertas manzanas.

El IIU vincula los datos del Censo de Población y Vivienda con la visualización geoespacial de las áreas estudiadas; con ello se logró estimar porcentualmente el grado de construcción de los elementos banquetas, rampas, recubrimiento de calles, alumbrado público y drenaje de forma individual, donde pudimos observar que los tres últimos son los más construidos en las tres AGEB,

seguidos por las banquetas y rampas. De manera global, el IIU nos da un buen parámetro sobre la deficiencia de la presencia de elementos urbanos básicos, infraestructura que podría facilitar el traslado de las personas adultas mayores (ver mapas 3 a 5).

La herramienta MDM V6.3 nos permite ubicar y observar de forma georreferenciada, a través de mapas temáticos fáciles de comprender, dónde se encuentran las áreas de oportunidad: las zonas donde existe mayor concentración de personas adultas mayores y la infraestructura urbana que es deficiente.

Mapa 3



### Pueblo Nuevo Bajo

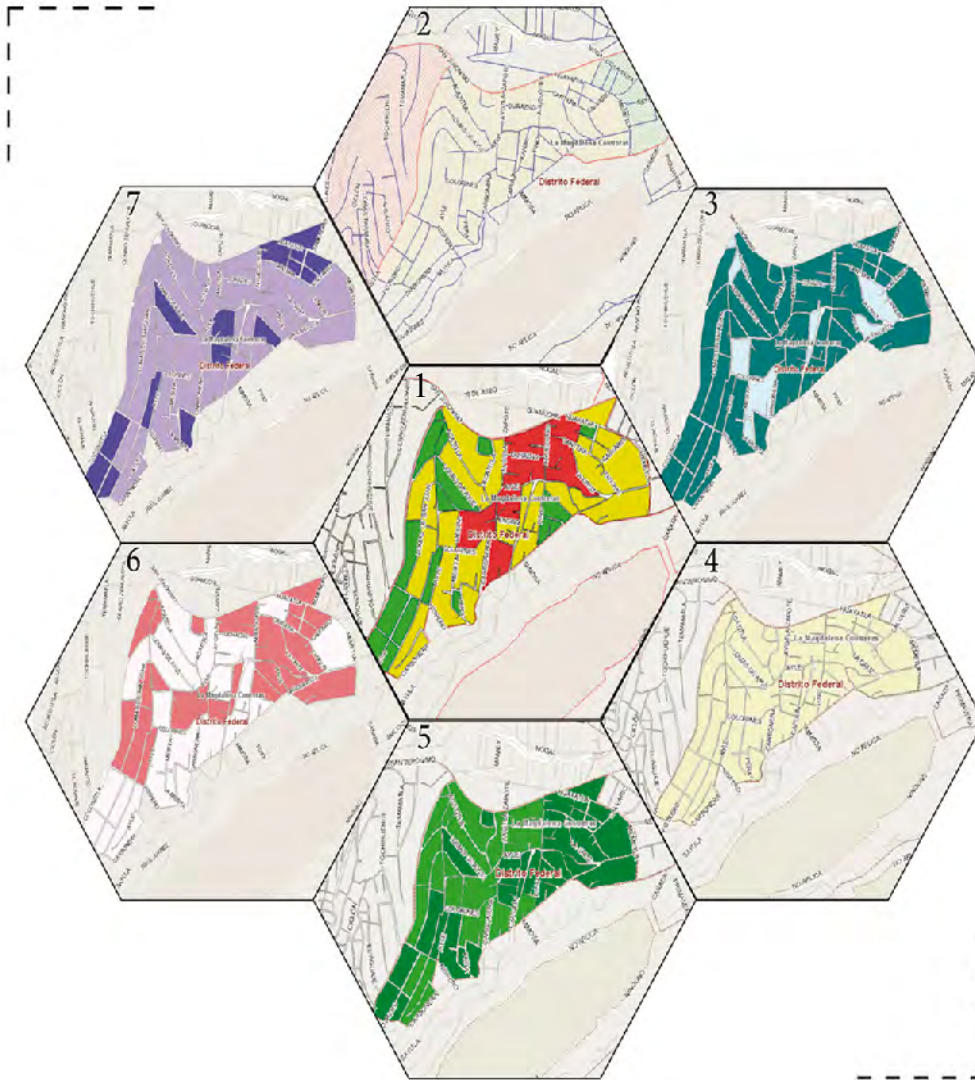
<p><b>1. Población mayor de 60 años</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ No especificado</li> <li>■ De 4 a 56 (20)</li> <li>■ De 56 a 108 (0)</li> <li>■ De 108 a 161 (1)</li> </ul>	<p><b>3. Banquetas</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ No especificado (0)</li> <li>■ Todas las vialidades (4)</li> <li>■ Algunas vialidades (17)</li> </ul> <p><b>4. Rampas</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ No especificado (0)</li> <li>■ alguna vialidad (2)</li> <li>■ Ninguna vialidad (19)</li> </ul>	<p><b>5. Recubrimiento de calles</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ No especificado (0)</li> <li>■ Todas las vialidades (19)</li> <li>■ alguna vialidad (2)</li> <li>■ Ninguna vialidad (0)</li> </ul> <p><b>6. Alumbrado público</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ No especificado (0)</li> <li>■ Todas las vialidades (16)</li> <li>■ alguna vialidad (5)</li> <li>■ Ninguna vialidad (0)</li> </ul>	<p><b>7. Drenaje</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ No especificado (0)</li> <li>■ Todas las vialidades (10)</li> <li>■ alguna vialidad (11)</li> <li>■ Ninguna vialidad (0)</li> </ul>
--	---	---	---

**Nota:** entre paréntesis se expresa el número de manzanas con el equipamiento indicado.  
**Fuente:** elaboración propia a partir del *Mapa Digital 6.0* del INEGI.



Mapa 4

**AGEB 0423**

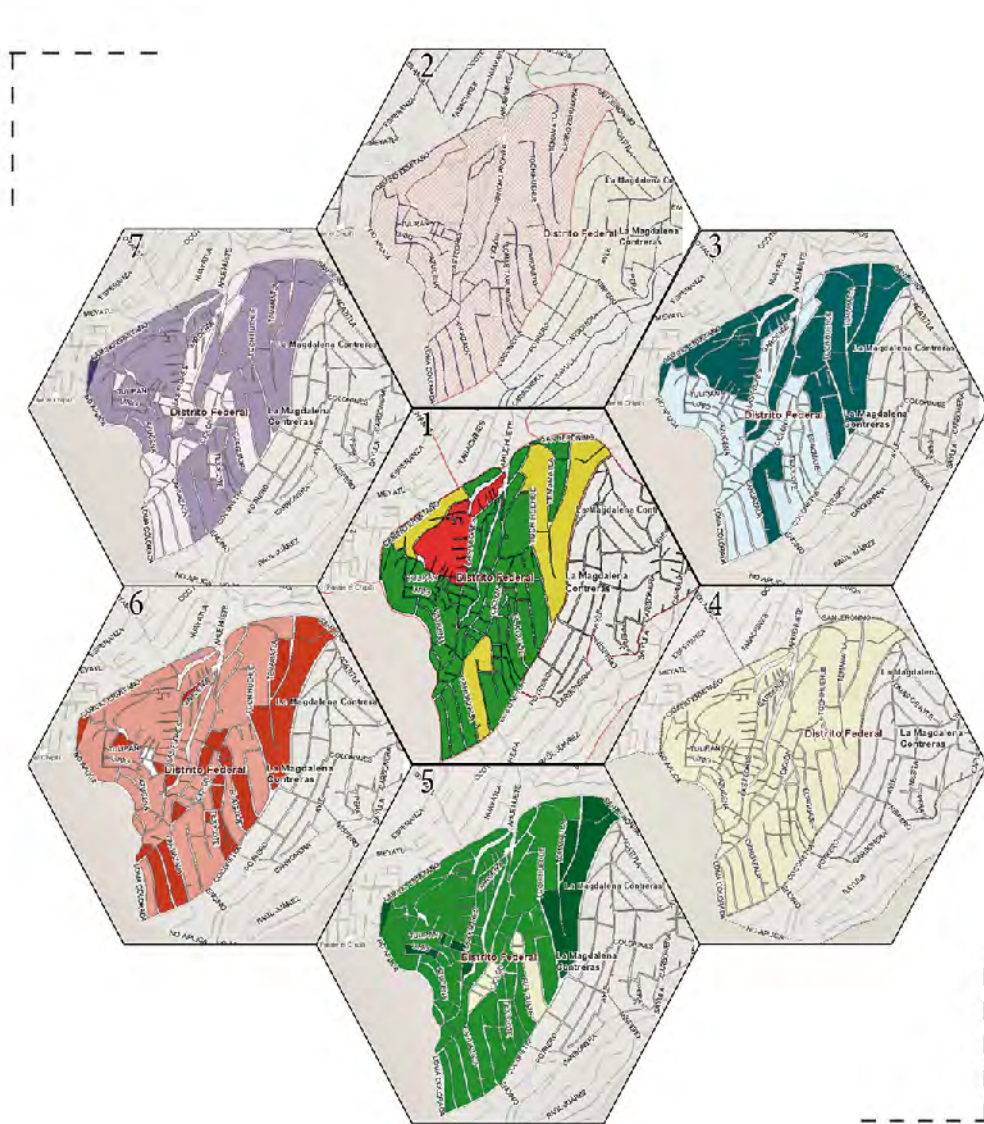


**El Ocotl**

<p><b>1. Población mayor de 60 años</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ No especificado</li> <li>■ De 0 a 7 (16)</li> <li>■ De 7 a 21 (24)</li> <li>■ De 21 a 35 (7)</li> </ul>	<p><b>3. Banquetas</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ No especificado (0)</li> <li>■ Alguna vialidad (39)</li> <li>■ Ninguna vialidad (8)</li> </ul> <p><b>4. Rampas</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ No especificado (0)</li> <li>■ Alguna vialidad (0)</li> <li>■ Ninguna vialidad (47)</li> </ul>	<p><b>5. Recubrimiento de calles</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ No especificado (0)</li> <li>■ Todas las vialidades (28)</li> <li>■ Alguna vialidad (19)</li> <li>■ Ninguna vialidad (0)</li> </ul> <p><b>6. Alumbrado público</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ No especificado (0)</li> <li>■ Todas las vialidades (24)</li> <li>■ Alguna vialidad (23)</li> <li>■ Ninguna vialidad (0)</li> </ul>	<p><b>7. Drenaje</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ No especificado (0)</li> <li>■ Todas las vialidades (15)</li> <li>■ Alguna vialidad (31)</li> <li>■ Ninguna vialidad (1)</li> </ul>
<p><b>2. Red de vialidades</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>□ No disponible</li> <li>■ Avenida</li> <li>■ Calle</li> </ul>			

**Nota:** entre paréntesis se expresa el número de manzanas con el equipamiento indicado.  
**Fuente:** elaboración propia a partir del *Mapa Digital 6.0* del INEGI.

**AGEB 057A**



**El Ermitaño**

- |   |   |  |   |
|---|---|--|---|
| <p><b>1. Población mayor de 60 años</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ No especificado</li> <li>■ De 6 a 13 (56)</li> <li>■ De 13 a 32 (4)</li> <li>■ De 32 a 51 (1)</li> </ul> | <p><b>3. Banquetas</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ No especificado (0)</li> <li>■ Alguna vialidad (14)</li> <li>■ Ninguna vialidad (47)</li> </ul> | <p><b>5. Recubrimiento de calles</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ No especificado (0)</li> <li>■ Todas las vialidades (7)</li> <li>■ Alguna vialidad (47)</li> <li>■ Ninguna vialidad (7)</li> </ul> | <p><b>7. Drenaje</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ No especificado (0)</li> <li>■ Todas las vialidades (1)</li> <li>■ Alguna vialidad (29)</li> <li>■ Ninguna vialidad (31)</li> </ul> |
| <p><b>2. Red de vialidades</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>□ No disponible</li> <li>■ Avenida</li> <li>■ Calle</li> </ul>  | <p><b>4. Rampas</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ No especificado (0)</li> <li>■ Alguna vialidad (0)</li> <li>■ Ninguna vialidad (67)</li> </ul>     | <p><b>6. Alumbrado público</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ No especificado (0)</li> <li>■ Todas las vialidades (21)</li> <li>■ Alguna vialidad (37)</li> <li>■ Ninguna vialidad (3)</li> </ul>      |   |

**Nota:** entre paréntesis se expresa el número de manzanas con el equipamiento indicado.  
**Fuente:** elaboración propia a partir del *Mapa Digital 6.0* del INEGI.

## Conclusiones

El crecimiento de la población adulta mayor es un problema de salud pública, el cual debe ser abordado de manera interdisciplinaria para analizar, planear y evaluar intervenciones que impacten en la salud. Desde edades tempranas, las medidas preventivas y la promoción de un envejecimiento activo son un pilar del adecuado abordaje del envejecimiento individual y colectivo; también, desde el ambiente institucional, se debe fortalecer la creación de políticas públicas para la adecuación de espacios, así como facilitar la inclusión y participación social de las personas mayores de 60 años en todos los ámbitos de la vida política y económica del país.

El IIU, propuesto y desarrollado, es una medida porcentual de la cantidad de infraestructura urbana presente en las AGEB, fácil de estimar, entendido en el contexto del Censo de Población y Vivienda del INEGI, sencillo de interpretar, y un *proxi* de la posible movilidad del traslado de las personas adultas mayores por las AGEB.

El Índice se puede usar como unidad de medida para analizar el medio urbano en estudios que vinculen la salud, el entorno y el fenómeno del envejecimiento.

Esta investigación tiene como limitante que el desarrollo del Índice de Infraestructura Urbana solo se aplicó a tres AGEB, y puede ser evaluado mediante el análisis de otra extensión de territorio que compare el IIU entre las AGEB con índices de baja marginalidad contra aquellas de alta marginalidad para estimar y comparar la presencia de los elementos de infraestructura urbana que puedan facilitar el traslado de las personas a través de sus entornos.

## Fuentes

Banco Mundial (BM). *Grupos de países y préstamos del Banco Mundial* (DE) <https://datahelpdesk.worldbank.org/knowledgebase/articles/906519-world-bank-country-and-lending-groups>, consultado el 30 de abril de 2016.

- Beard, John R. y Charles Petitot. "Ageing and Urbanization: Can Cities be Designed to Foster Active Ageing?", en: *Public Health Reviews*. Vol. 32, núm. 2, 2010, pp. 427-450.
- Capron Guénola, Françoise Madeleine, Martha de Alba González, Salomón González Arellano y Claudia Zamorano Villareal. "Segregación urbana y vejez: una perspectiva desde la vida cotidiana de los adultos mayores de la Zona Metropolitana del Valle de México", en: *Vejez Memoria y Ciudad*. México, Miguel Ángel Porrúa-Universidad Autónoma Metropolitana, 2013, pp. 47-74.
- Consejo Nacional de Población (CONAPO). *Proyecciones poblacionales 2010-2050* (DE) [http://www.conapo.gob.mx/work/models/CONAPO/Proyecciones/Datos/Estimaciones\\_y\\_Proyecciones/2010\\_2030/DistritoFederal\\_pry.xlsx](http://www.conapo.gob.mx/work/models/CONAPO/Proyecciones/Datos/Estimaciones_y_Proyecciones/2010_2030/DistritoFederal_pry.xlsx), consultado el 20 de mayo de 2016.
- Discoli, Carlos, Gustavo San Juan, Irene Martini, Carlos Ferreyro, Luciano Diocre, Dante Barbero y Jessica Esparza. "Metodología para la evaluación de la calidad de vida urbana", en: *Bitácora Urbano-Territorial*. 17(2), Bogotá, Colombia, 2010, pp. 95-112.
- Discoli, Carlos, Gustavo San Juan, Elías Rosefend, Irene Martini, Dante Barbero, Carlos Ferreyro, Jimena Ramírez Casas, Luciano Diocre y Cristina Domínguez. "Niveles de calidad de vida urbana y el estado de necesidades básicas en servicios e infraestructura", en: *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*. Vol. 9. Argentina, 2005, pp. 7-12.
- Fondo de Población de las Naciones Unidas (FPUN). *Liberar el potencial del crecimiento urbano*. Estado de la población mundial 2007 (DE) [https://www.unfpa.org/sites/default/files/pub-pdf/swp2007\\_spa.pdf](https://www.unfpa.org/sites/default/files/pub-pdf/swp2007_spa.pdf), consultado el 30 de abril de 2017.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). *Censo de Población y Vivienda*. Aguascalientes, México, INEGI (DE) <http://www.beta.inegi.org.mx/proyectos/ccpv/2010/>, consultado el 27 de mayo de 2016.
- \_\_\_\_\_. *Mapa Digital de México*. Aguascalientes, México, INEGI (DE) <http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/mapadigital/>, consultado el 27 de mayo de 2016.
- Lizárraga Moliendo, Carmen. "Movilidad urbana sostenible: un reto para las ciudades del siglo XXI", en: *Economía, Sociedad y Territorio*. Vol. VI, núm. 22, 2006, pp. 283-321.
- Narváez Montoya, Oscar L. "Envejecimiento demográfico y requerimientos de equipamiento urbano: hacia un urbanismo gerontológico", en: *Papeles de Población*. Núm. 74. México, 2012, pp. 1-33.
- Oppen, Jim y James W. Vaupel. "Broken Limits to Life Expectative", en: *Science*. Vol. 296, 2002, pp. 1029-1031.
- Organización Mundial de la Salud (OMS). *Informe mundial sobre el envejecimiento y la salud*. 2015 (DE) <http://www.who.int/ageing/publications/world-report-2015/es/>, consultado el 20 de abril de 2016.
- \_\_\_\_\_. *Ciudades globales amigables con los mayores: una guía*. 2007 [25 de abril de 2016]. Disponible en: <http://www.who.int/ageing/AFCSpanishfinal.pdf>

- \_\_\_\_\_. *Active ageing: a policy framework. A contribution of the World Health Organization to the Second United Nations World Assembly on Ageing*. Madrid, Spain, April 2002 (DE) [http://apps.who.int/iris/bitstream/10665/67215/1/WHO\\_NMH\\_NPH\\_02.8.pdf](http://apps.who.int/iris/bitstream/10665/67215/1/WHO_NMH_NPH_02.8.pdf), consultado el 5 de agosto de 2016.
- Plouffe, Louise y Alexandre Kalache. "Towards Global Age-Friendly Cities: Determining Urban Features that Promote Active Aging", en: *Journal of Urban Health: Bulletin of the New York Academy of Medicine*. Vol. 87, No. 5, 2010, pp. 733-739.
- Ribeiro Ferreira, Fabian, Cibele Comini César y Vitor Passos Camargos, Maria F. Lima Costa y Fernando Augusto Proietti. "The Neighborhood perception and functional performance of Elderly persons in Belo Horizonte Metropolitan Area-Brazil", en: *Journal of Urban Health: Bulletin of the New York Academy of Medicine*. Vol. 87, No 1, 2009, pp. 54-66.
- Salas Cárdenas, Sarai M. y Diego Sánchez González. "Envejecimiento de la población, salud y ambiente urbano en América Latina. Retos del urbanismo gerontológico", en: *Contexto. Revista de la Facultad de Arquitectura de la Universidad Autónoma de Nuevo León*. Vol. VIII, núm. 9, septiembre 2014, pp. 31-49.
- Sánchez González, Diego. "Aproximaciones a los conflictos sociales y propuestas sostenibles de urbanismo y ordenación del territorio en México", en: *Revista de Estudios Sociales*. No. 42, Bogotá, Colombia, 2012, pp. 40-56.
- Santosa Aaliana, Wall SStig, Edward Fottrell, Ulf Högberg y Peter Byass. "The development and experience of epidemiological transition theory over four decades: a systematic review", en: *Global Health Action*. 7:1, 2014, pp. 1-16 (DE) <http://dx.doi.org/10.3402/gha.v7.23574>, consultado el 18 de abril de 2016.
- SEDATU/SEMARNAT/GIZ. *Guía Metodológica. Elaboración y Actualización de Programas Municipales de Desarrollo Urbano PMDU*. CDMX, pp. 252. 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 30 de agosto de 2019.
- Secretaría de Desarrollo Social (SEDESOL). *Sistema Normativo de Equipamiento Urbano: manual* (DE) <http://www.inapam.gob.mx/work/models/SEDESOL/Resource/1592/1/images/Estructura.pdf>, consultado el 30 de mayo de 2016.
- Suárez, Rubén y Claudia Pescetto. "Sistemas de protección social para el adulto mayor en América Latina y el Caribe", en: *Pan American Journal of Public Health*. 17(5/6), 2005, pp. 419-128.
- Vences Rivera, José. "Construcción de un índice compuesto y aproximación para medir los cambios en el tiempo", en: *Realidad, Datos y Espacio Revista Internacional de Estadística y Geografía*. Vol. 5, Núm. 2, mayo-agosto, 2014, pp. 104-115.
- Yen, Irene H., Yvonne L. Michael y Leslie Perdue. "Neighborhood Environment in Studies of Health of Older Adults: a Systematic Review", en: *American Journal of Preventive Medicine*. 37 (5), 2009, pp. 455-463.

# Un modelo espacial de desigualdad de género sobre trabajo no remunerado en México

## A Spatial Model for Gender Inequality in Unpaid Work in Mexico

Mauricio Rodríguez Abreu\* y Brígida García Guzmán\*\*

Con base en la *Encuesta Intercensal 2015*, realizada por el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), en este artículo inicialmente verificamos las brechas de género referidas al trabajo doméstico y de cuidado a nivel municipal, las cuales han sido subrayadas por estudios previos en el ámbito nacional. En la parte central del texto buscamos establecer los factores asociados a las diferencias de género. Partimos del supuesto de la dependencia espacial usando modelos que permiten incorporar no solo la información de cada municipio, sino la posibilidad de asociaciones espaciales con los más cercanos. Entre nuestros resultados destacamos que, a medida que aumenta la participación femenina en el mercado de trabajo, disminuyen las asimetrías entre géneros en el ejercicio del trabajo doméstico y de cuidado, teniendo en cuenta una serie de aspectos intervinientes. Si esto se debe al mayor involucramiento de los varones en la vida doméstica, a la reducción del tiempo que invierten las mujeres en el trabajo no remunerado o a ambos aspectos, consideramos que es un punto de partida muy importante para seguir profundizando con análisis futuros.

**Palabras clave:** trabajo no remunerado; desigualdades de género; modelos estadísticos espaciales.

\* Universidad de las Américas Puebla, México, mauricio.rodriguez@udlap.mx

\*\* El Colegio de México, México, bgarcia@colmex.mx

Based on the Intercensal Survey of 2015, in this article we initially verified the gender gaps related to domestic work and care at the municipal level, which have been underscored by previous studies at the national level. In the central part of the text we seek to establish the factors associated with gender differences. We start from the assumption of spatial dependence, using models that allow us to incorporate not only the information of each municipality, but the possibility of spatial associations between nearby municipalities. Among our results, we highlight that as the participation of women in the labor market increases, the asymmetries between genders in the exercise of domestic and care work diminish, taking into account a series of intervening aspects. Whether this is due to the greater involvement of males in domestic life, to the reduction of the time that women invest in unpaid work, or both, we consider this an important point of departure to be studied in depth in future analyses.

**Key words:** unpaid work; gender inequalities; spatial statistical models.

Recibido: 9 de abril de 2019.

Aceptado: 6 de septiembre de 2019.



A. Niederman pinx.

Publ. in Druck. & Verw. Anst. d. Ober. Bayer. in Insee. G. Albohl sc.

Orphaned birds, old man and child feeding sparrow/DEA /ICAS94/Getty Images

## Introducción

México ha sido reconocido por su avance en la agenda de igualdad de género en términos de esfuerzos institucionales y normativos (ONU Mujeres, 2015). Sin embargo, a pesar de este progreso, la desigualdad sigue siendo una realidad palpable en el país y las asimetrías a niveles estatal y municipal son muy pronunciadas. Por esta razón, y con el propósito de contribuir a monitorear los compromisos suscritos en los *Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS)* y la *Agenda 2030*, es importante actualizar el conocimiento existente sobre diversas dimensiones de esta desigualdad de género, así como sus factores asociados.

La distribución desigual del trabajo doméstico y de cuidado no remunerado entre mujeres y hombres ha sido ampliamente señalada como un obstáculo importante para el avance de la igualdad de género; en los últimos años se han realizado muchos esfuerzos para obtener información y analizar la participación de ambos en este tipo de actividades. En México, es posible estudiar aspectos particulares de la división sexual del trabajo con datos que se recopilan de forma regular en encuestas de hogares y de uso del tiempo. Además, en la Encuesta Intercensal (EI) 2015 se formularon por primera vez varias preguntas que nos permiten enriquecer nuestro conocimiento acerca de las actividades domésticas y de cuidado en el hogar en el ámbito municipal.

En un trabajo previo que llevamos a cabo con la EI pudimos identificar las desigualdades entre hombres y mujeres en lo que respecta a actividades particulares en el caso de más de 2 400 municipios mexicanos, como las tareas domésticas de cocinar, lavar y planchar, además del cuidado de niños(as) y personas discapacitadas, enfermas y mayores de 60 años de edad (Rodríguez y García, 2018).

Ahora, nuestro objetivo en este artículo es avanzar en el conocimiento de los procesos socioeconómicos asociados con la distribución desigual de actividades domésticas y de cuidado que ya

hemos detectado en el ámbito municipal. Nos interesa, de manera primordial, explorar tanto el efecto del avance en la urbanización y metropolización del país como los logros alcanzados por las mujeres en términos educacionales y laborales, los cuales, por lo general, se supone que impactan en su autonomía para actuar de manera independiente y según intereses propios.

En la primera sección de este documento presentamos información de antecedentes sobre el trabajo no remunerado (y remunerado) en México, así como las características principales de la EI 2015 y el tipo de preguntas incluidas en ella; enseguida, analizamos las distribuciones entre hombres y mujeres en lo que respecta a la participación y el tiempo dedicado a las tareas domésticas no remuneradas y las actividades de cuidado en las distintas regiones del país; en esta parte, nuestro objetivo particular es hacer hincapié en aquellas que presentan desigualdad alta y baja.

En la segunda, procedemos a analizar la asociación entre la desigualdad de género en el trabajo no remunerado y una serie de características que hemos podido estimar o localizar para los municipios mexicanos, siguiendo los propósitos mencionados arriba. Los aspectos específicos cuya influencia analizaremos son: la condición metropolitana del municipio, su marginación, la razón de dependencia demográfica, la presencia de población indígena, los logros educativos y la participación laboral femenina, así como la importancia de los hogares encabezados por mujeres. Es importante indicar que la selección de estos rasgos o factores condicionantes se basa tanto en la revisión bibliográfica que sistematizamos más adelante como en la disponibilidad de datos para el ámbito municipal mexicano. Los métodos estadísticos utilizados en el análisis son modelos de rezago espacial, cuyas principales características se detallan en esta parte del artículo. En la discusión de los resultados, enmarcamos los hallazgos en el conocimiento previo y enfatizamos la contribución que este tipo de enfoque espacial puede aportar. También, tenemos un interés especial en señalar indicaciones útiles para la eventual modificación de las disparidades de

género a nivel local. Como tercera y última sección, se presentan las conclusiones.

## Antecedentes

La investigación sociodemográfica en la temática del trabajo no remunerado en México se ha expandido de forma significativa en las dos primeras décadas de este siglo debido, en cierta medida, a la ampliación de la información existente al respecto. Algunos estudios se han centrado en la evaluación de la calidad de los datos recopilados y otros han contribuido a la estimación del valor económico de las actividades domésticas y de cuidado. Además de lo anterior, la investigación actual ha precisado las cargas totales de trabajo (remuneradas y no remuneradas) de mujeres y hombres que pertenecen a diferentes grupos poblacionales, los cuales enfrentan distintas circunstancias familiares e individuales. También, han recibido especial atención las limitaciones que se le presentan a la mayoría de las mujeres que son responsables del trabajo no remunerado con respecto a sus opciones en el mercado laboral (ver García, 2019).

Según la Encuesta Nacional sobre el Uso del Tiempo (ENUT) 2014, la carga laboral total (remunerada y no remunerada) de las mujeres en México supera a la de los hombres en aproximadamente 13 horas por semana, en promedio; esta cifra es similar a la obtenida con la Encuesta del 2009. Nuestro país suele ocupar los primeros lugares en América Latina en términos de horas dedicadas al trabajo doméstico y de cuidado, pero debe recordarse que estas estadísticas internacionales en la región no se basan en instrumentos de recopilación de información homogéneos (García, 2019; Arriagada, 2017).

¿Qué se ha encontrado o se plantea en términos conceptuales para explicar las diferencias entre mujeres y hombres en relación con el ejercicio del trabajo no remunerado? Un primer aspecto que por lo general se indica es que en las áreas rurales y más empobrecidas prevalecen ideas y comportamientos más tradicionales en lo que toca a la división sexual del trabajo y que, en el contexto urbano

y en los estratos de la población más favorecidos, estas conductas han empezado a modificarse. De conformidad con estos planteamientos, existe alguna evidencia en el caso de México hacia comienzos de este siglo de que las mujeres de los hogares más pobres tienen una mayor carga de trabajo en comparación con otros estratos de ingresos, en especial en las áreas rurales (INMUJERES, 2005).

Respecto a características personales, la escolaridad —tanto de mujeres como de hombres— ha sido señalada como un rasgo de particular importancia en la eventual modificación de los patrones prevalecientes en la división sexual del trabajo. Varios estudios encuentran que los hombres más jóvenes (menores de 40 años de edad) y los más escolarizados (que tienen secundaria y niveles más altos de estudios) reportan mayor cantidad de horas dedicadas al trabajo doméstico y de cuidado. Asimismo, es frecuente que la escolaridad femenina se considere estratégica para alcanzar mayor autonomía (actuación de manera independiente y según intereses propios), así como el eventual empoderamiento femenino (cuestionamiento del poder y control de los diferentes tipos de recursos) (ver Granados, 2013; Rivera y Hernández Jabalera, 2014; Rodríguez y García, 2014; Rojas y Martínez, 2014; Galindo, García y Rivera, 2015).

Ahora bien, una gran cantidad de investigaciones en las últimas dos décadas, tanto en México como en el ámbito internacional, han abordado las posibles formas en que la participación de las mujeres en el mercado de trabajo puede influenciar la división sexual del trabajo en sus hogares. En nuestro caso, este es un tema en particular controvertido porque las mujeres no siempre trabajan por un salario y en lugares espacialmente separados de sus unidades domésticas. Además, se debería tomar en cuenta que la asimetría entre los géneros podría reducirse con la participación laboral femenina, tanto porque los varones compartiesen un mayor número de estas actividades como por la posibilidad de que las mujeres económicamente activas hiciesen menos tareas domésticas y de cuidado. Veamos algunos de los argumentos y evidencias existentes desde ambas perspectivas.



En una investigación anterior realizada por García y Oliveira (2006) para las áreas metropolitanas de México y Monterrey hacia finales de la década de los 90, se recolectó una gran cantidad de información sobre la división sexual del trabajo y los factores posiblemente asociados en los hogares de estas dos ciudades por medio de encuestas probabilísticas. Mediante la aplicación de herramientas estadísticas que tuvieron en cuenta una serie importante de variables intervinientes, se llegó a la conclusión de que la *experiencia laboral* de las mujeres casadas o unidas era un aspecto que se asociaba de manera significativa con la participación de los esposos en las tareas domésticas y de cuidado, así como con la presencia de las esposas en las decisiones importantes y en su libertad de movimiento. El hacer aportaciones al presupuesto familiar, así como el ejercer ocupaciones más calificadas y el significado que es posible atribuir al trabajo extradoméstico como un factor de independencia y superación personal, también se asociaron de manera importante con la participación del esposo en el trabajo no remunerado.

De esta manera, ese estudio permitió corroborar algunas hipótesis planteadas por investigaciones previas donde se apuntaba que no necesariamente es el trabajo extradoméstico *en sí* el que puede facilitar cambios en la vida de las mujeres, sino que hay que considerar otros aspectos, como el tipo y lugar del trabajo desempeñado, la experiencia laboral y no solo la participación en un momento en el tiempo, así como el control de los recursos económicos o las aportaciones al presupuesto familiar. Se trata de una serie de puntos para los que no contamos con la información necesaria en nuestro trabajo, pero los mencionamos para señalar la complejidad de las relaciones que buscamos establecer.

En investigaciones recientes para el ámbito nacional con datos de encuestas de uso del tiempo, también se han destacado las situaciones en las que la ocupación de las esposas se asocia con un mayor involucramiento de los varones en las tareas domésticas y de cuidado —además de aspectos como la juventud, la mayor escolaridad masculi-

na y la pertenencia a los estratos sociales más favorecidos, como vimos con anterioridad—; por ejemplo, Rojas y Martínez (2014) reportan que la ocupación asalariada de las esposas es la que se asocia con una mayor colaboración de los esposos en las tareas no remuneradas (ver Rodríguez y García, 2014).

En el contexto de países como Estados Unidos de América (EE. UU.) también se ha reportado que el estatus de la mujer empleada suele estar asociado con un aumento en la participación de su esposo en las tareas del hogar y que las mujeres que ganan más gozan de una división del trabajo más equitativa en sus hogares (ver Coltrane y Shih, 2010). Los hallazgos anteriores se refieren al comportamiento de los esposos o cónyuges en situaciones donde se modifica en alguna medida la división sexual del trabajo en sus unidades domésticas.

Y, ¿qué sabemos sobre el trabajo doméstico y de cuidado que llevan a cabo las mujeres que también desempeñan labores remuneradas? En el caso mexicano, se ha hecho hincapié en una gran cantidad de estudios en la sobrecarga de trabajo que esto implica y contamos con estimaciones precisas de la carga global que enfrentan estas mujeres, en especial cuando pertenecen a los estratos sociales más pobres y vulnerables (ver García y Pacheco, 2014).

Pero, más allá de este insoslayable fenómeno, también se han comenzado a desbrozar los aspectos que pueden llevar a modificar la cantidad de trabajo doméstico y de cuidado que desempeñan las mujeres que llevan a cabo, además, una labor remunerada. Sánchez (2014), con información de encuestas de ingresos y gastos, analizó esta problemática para las parejas de doble ingreso en el ámbito nacional. Con información del 2010, se llegó a la conclusión de que estas realizan menos horas de labores domésticas y de cuidado que en el resto de los hogares nacionales y precisó que los siguientes aspectos llevan a *disminuir* el trabajo no remunerado femenino: el número de horas de labor extradoméstica, el mayor aporte económico al hogar, el nivel educativo de las mujeres, así como

el trabajo de otros integrantes de los hogares y la contratación de empleadas domésticas.

En el caso de países desarrollados como EE. UU. (ver Coltrane, 2000; Coltrane y Shih, 2010), también se ha registrado que las mujeres empleadas hacen hasta un tercio menos de trabajo en el hogar que aquellas que no están laborando, lo cual respalda —según estas autoras— las hipótesis que plantean que la disponibilidad de tiempo y los recursos relativos que se poseen influyen la negociación que se establece en la repartición del trabajo no remunerado. No obstante, también se ha encontrado en el caso norteamericano que estas reducciones atañen, sobre todo, al trabajo doméstico y no al cuidado de los hijos propiamente dicho (ver Bianchi *et al.*, 2006).

A partir de estos antecedentes hemos diseñado nuestro estudio, basado ante todo en la información proporcionada por la EI 2015 y otras fuentes que se presentan en las siguientes páginas. Se debe tener en cuenta que los hallazgos mencionados para México se refieren al país como un todo o a localidades rurales y urbanas de diferentes tamaños que son el nivel de desagregación que establece la gran mayoría de las encuestas llevadas a cabo en el país. Desde esta perspectiva, la EI permite avanzar en nuestro conocimiento de las relaciones planteadas sobre la distribución sexual del trabajo a nivel municipal, lo cual representa una de las principales contribuciones que buscamos hacer.

## Estrategia metodológica

Durante marzo del 2015, el INEGI introdujo en la EI un módulo referente al trabajo no remunerado, aplicado a toda la población de 12 años de edad o más, que recopiló información sobre ocho tipos de actividades en el ámbito municipal: 1) Ayudar a personas con discapacidades; 2) Cuidar a las personas enfermas que necesitan cuidados especiales; 3) Asistir a una niña o niño sano menor de 6 años de edad; 4) Asistir a una niña o niño saludable de 6 a 14 años de edad; 5) Asistir a alguien de 60 años de edad o más que requiera atención continua;

6) Preparar o servir comida para la familia; 7) Limpiar la casa, lavar o planchar la ropa de la familia; 8) Hacer compras para comida o limpieza.

El diseño estadístico de la EI 2015 es conveniente para el presente análisis, ya que permite estimar la participación, así como el número de horas asignadas a cada una de las actividades mencionadas por parte de mujeres y hombres en los estados y municipios del país (INEGI, 2015). Para cada una de ellas, primero calculamos:

- Razón de participación: porcentaje de las mujeres reportando algún tiempo en la actividad, dividido entre el porcentaje de hombres reportando tiempo en la misma actividad.

$$RP = \frac{\% \text{ Mujeres en actividad } i}{\% \text{ Hombres en actividad } i} \quad (1)$$

- Razón de horas: promedio de horas semanales de mujeres en la actividad, dividido entre el promedio de horas semanales de hombres en esa actividad.

$$RH = \frac{\text{Media horas semanales en actividad } i \text{ de mujeres}}{\text{Media horas semanales en actividad } i \text{ de hombres}} \quad (2)$$

Estos cálculos nos permitieron, de inicio, identificar las tareas en las que se observan las mayores y menores desigualdades. Luego, para conocer las agrupaciones de municipios con alta y baja desigualdad, calculamos el Índice de Moran para identificar la correlación espacial. Cabe señalar que, mientras la correlación estadística tradicional indica la asociación entre dos o más variables, la autocorrelación espacial comprende la relación de una variable presente en varias unidades espaciales y una medida de proximidad geográfica definida para todos los pares de unidades (Getis, 2008). La medida de autocorrelación espacial está dada por:

$$I = \frac{n \sum_i \sum_{j \neq i} w_{ij} (y_i - \bar{y})(y_j - \bar{y})}{(\sum_i \sum_{j \neq i} w_{ij}) \sum_i (y_i - \bar{y})^2} \quad (3)$$

donde  $w_{ij}$  es una matriz de distancias espaciales;  $y_i$  y  $y_j$  corresponden a cada par de unidades espaciales.

En un momento subsecuente, procedimos a ajustar una serie de modelos espaciales para la relación M/H en las dos dimensiones de participación y horas. Cuando se modelan procesos espaciales (como lo indican los valores observados del Índice de Moran), no se cumplen los supuestos básicos de los modelos de mínimos cuadrados más usuales con respecto a los residuos y la independencia. Esto es una consecuencia de la estructura espacial de los datos donde las regiones con altos valores de desigualdad pueden estar rodeadas por otras con la misma situación, lo que resulta en autocorrelación positiva o, en algunos casos, zonas de alta desigualdad pueden tener áreas vecinas con baja desigualdad, por lo tanto, resulta en una autocorrelación negativa. Una alternativa a los modelos de mínimos cuadrados es dar cuenta de la asociación espacial en nuestra variable dependiente utilizando modelos de rezago espacial. Estos suponen que la estructura de los datos presenta un efecto en el que los valores observados en un área específica se asocian con los de las zonas vecinas. Asimismo, permiten observar las relaciones entre las distintas regiones en términos de desigualdad. La interpretación de estos modelos no es tan diferente de la idea de autocorrelaciones de series de tiempo en términos de variables independientes (Anselin y Bera, 1998). Formalmente:

$$y_i = \beta_0 + \beta_1 x_i + \rho w_i y_i + \varepsilon_i \quad (4)$$

donde  $\beta_0$ ,  $\beta_1$  y  $x_i$  representan un componente similar a una regresión lineal tradicional. El valor asociado a la matriz de distancias espaciales para cada unidad  $y_i$  (que se identifica en el modelo como  $\rho$ ) señalará la autocorrelación espacial que está presente en el modelo. Los valores positivos del parámetro  $\rho$  indicarían que una región tendrá valores altos en la variable de interés, si las unidades vecinas tienen, en promedio, valores altos en la misma variable; es decir,  $\rho$  puede ser interpretado como el parámetro espacial, el cual determina si el modelo espacial aporta mayor información

que uno de mínimos cuadrados ordinarios. Por último, el término  $\varepsilon_i$  representa el error.

De esta manera, ajustamos una serie de modelos de rezago espacial para explicar las relaciones M/H observadas en la participación y las horas invertidas en las distintas actividades, teniendo en cuenta algunas variables que se plantean como asociadas con una mayor o menor desigualdad de género y que nos fue posible localizar en el ámbito municipal.<sup>1</sup> Estas variables son: condición metropolitana, que define al municipio como no metropolitano o metropolitano según se hayan clasificado en la delimitación de zonas metropolitanas de México<sup>2</sup> (CONAPO, SEDATU e INEGI, 2018) y según el tamaño de su población; porcentaje de población indígena, basado en la prevalencia del idioma; relación mujeres/hombres en la población con escolaridad de secundaria completa; relación mujeres/hombres en la participación en la fuerza de trabajo; proporción de hogares encabezados por mujeres; índice de marginación municipal 2015 (CONAPO, 2016); y razón de dependencia demográfica. Por último, para cada uno de los modelos ajustados, incluimos la prueba de razón de verosimilitud para saber si estos modelos espaciales proporcionan un mejor ajuste que los ordinarios de mínimos cuadrados.

## Principales resultados

El cuadro 1 muestra los porcentajes de participación en las diferentes actividades no remuneradas, el tiempo promedio semanal dedicado a ellas en términos de horas y la razón entre mujeres y hombres para ambos temas. Los valores superiores a la unidad indican en qué porcentaje la participación o el número de horas que las mujeres dedican a ac-

1 Como es posible constatar en la sección de antecedentes, algunas de nuestras variables cuentan con mayor respaldo que otras para la inclusión en los modelos. No obstante, quisimos ampliar el conocimiento existente sobre la distribución sexual del trabajo explorando (o controlando) el efecto de otros aspectos, cuyo impacto era potencialmente significativo y para el cual pudimos localizar o estimar la información respectiva.

2 Los municipios se clasificaron como metropolitanos si fueron incluidos en alguna de las zonas metropolitanas de México del 2015; aquellos no incluidos se consideraron como no metropolitanos en dos categorías: con población mayor a 15 mil habitantes y los de menor a los 15 mil habitantes.

tividades no remuneradas son mayores que las de los hombres y los inferiores, la situación inversa.

De inicio encontramos que 57% de los hombres y 89% de las mujeres declararon participar en algún tipo de actividad no remunerada. Al mismo tiempo, los hombres que participaron en estas actividades invirtieron poco menos de 20 horas a la semana, mientras que las mujeres, casi 49 horas. Estas primeras cifras siguen algunas tendencias ya conocidas para la segunda década del siglo XXI. Si

bien la participación de las mujeres en el total de las actividades no remuneradas es 55% mayor que la de los hombres, se debe hacer hincapié en que el tiempo dedicado a estas actividades es mucho más elevado (150%) que el de sus contrapartes masculinos. El cuadro 1 nos permite, también, ratificar que las brechas de género se maximizan en las tareas domésticas de preparación de alimentos y de higiene del hogar; pero, ¿cómo se visualizan estas diferencias cuando analizamos la distribución de todas las actividades en el territorio nacional?

Cuadro 1

**Población que participa en actividades no remuneradas, horas dedicadas y razón M/H en ambos indicadores por tipo de actividad, 2015**

Actividad	Porcentajes			
	Total	Hombres	Mujeres	Razón M/H
<b>Participación</b>	<b>73.62</b>	<b>57.13</b>	<b>88.82</b>	<b>1.55</b>
Cuidados a personas con discapacidad	2.45	1.92	2.95	1.54
Cuidados a personas enfermas	2.49	1.89	3.04	1.61
Cuidados a menores de 6 años	18.79	12.81	24.30	1.90
Cuidados a menores de 6 a 14 años	16.15	10.65	21.21	1.99
Cuidados a personas de 60 años y más	4.47	3.39	5.46	1.61
Preparar y servir alimentos	55.57	30.27	78.88	2.61
Limpieza, lavado y planchado de ropa	61.43	37.26	83.70	2.25
Compras para la comida y limpieza	56.64	39.03	72.87	1.87
<b>Horas</b>	<b>37.68</b>	<b>19.55</b>	<b>48.52</b>	<b>2.48</b>
Cuidados a personas con discapacidad	26.30	19.06	30.64	1.61
Cuidados a personas enfermas	25.59	20.32	28.61	1.41
Cuidados a menores de 6 años	34.89	20.02	42.12	2.10
Cuidados a menores de 6 a 14 años	31.33	19.53	36.80	1.88
Cuidados a personas de 60 años y más	21.82	16.94	24.61	1.45
Preparar y servir alimentos	10.80	6.30	12.39	1.97
Limpieza, lavado y planchado de ropa	9.43	5.61	11.00	1.96
Compras para la comida y limpieza	3.77	3.11	4.09	1.32

Fuente: estimaciones propias con base en INEGI. Encuesta Intercensal 2015.

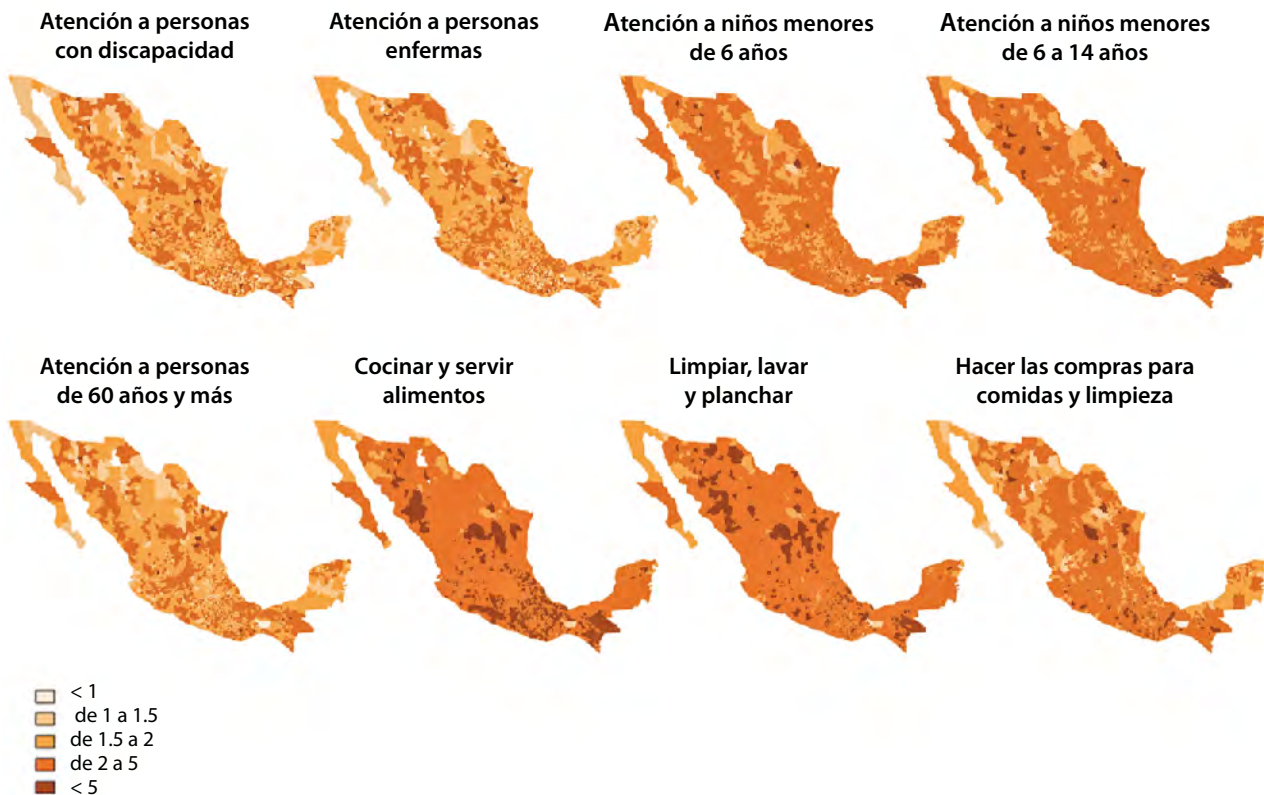
Los mapas 1 y 2 muestran las razones M/H en términos de participación en actividades no remuneradas, así como el tiempo destinado a ellas a nivel municipal. Con base en estos resultados, primero confirmamos que la desigualdad entre hombres y mujeres en la preparación de alimentos y en la limpieza de la casa, así como en el cuidado de niños menores de 14 años de edad, es muy clara a lo largo de gran parte del territorio nacional (color naranja oscuro en los mapas). Se observa un patrón similar (rojo más oscuro) para el tiempo dedicado a estas tareas. No cabe duda, entonces, de que estas actividades, por tradición reservadas a las mujeres, están muy arraigadas en México. Sin embargo, también es necesario apuntar que el análisis espacial nos permite identificar un número significativo de municipios contiguos en el norte del país y, parcialmente, en la península de Yucatán, en los

cuales existe una menor desigualdad en las tareas de preparación y servicio de alimentos.

Respecto a las actividades de cuidado, es muy importante indicar que encontramos una desigualdad relativamente menor entre hombres y mujeres en la atención a personas con alguna discapacidad, enfermos y adultos mayores (mapas con colores más claros), y que el análisis geográfico indica que algunas de estas tareas están distribuidas de manera más aleatoria en el territorio nacional (ver cuadro 2). Aunque se trata de actividades que involucran por ahora a un pequeño número de personas, es probable (y deseable) que se amplíen con el envejecimiento progresivo de la población. Este resultado podría constituir un punto de partida importante para el diseño de acciones que busquen promover más responsabilidades compartidas entre hombres y mujeres (ver Rodríguez y García, 2018).

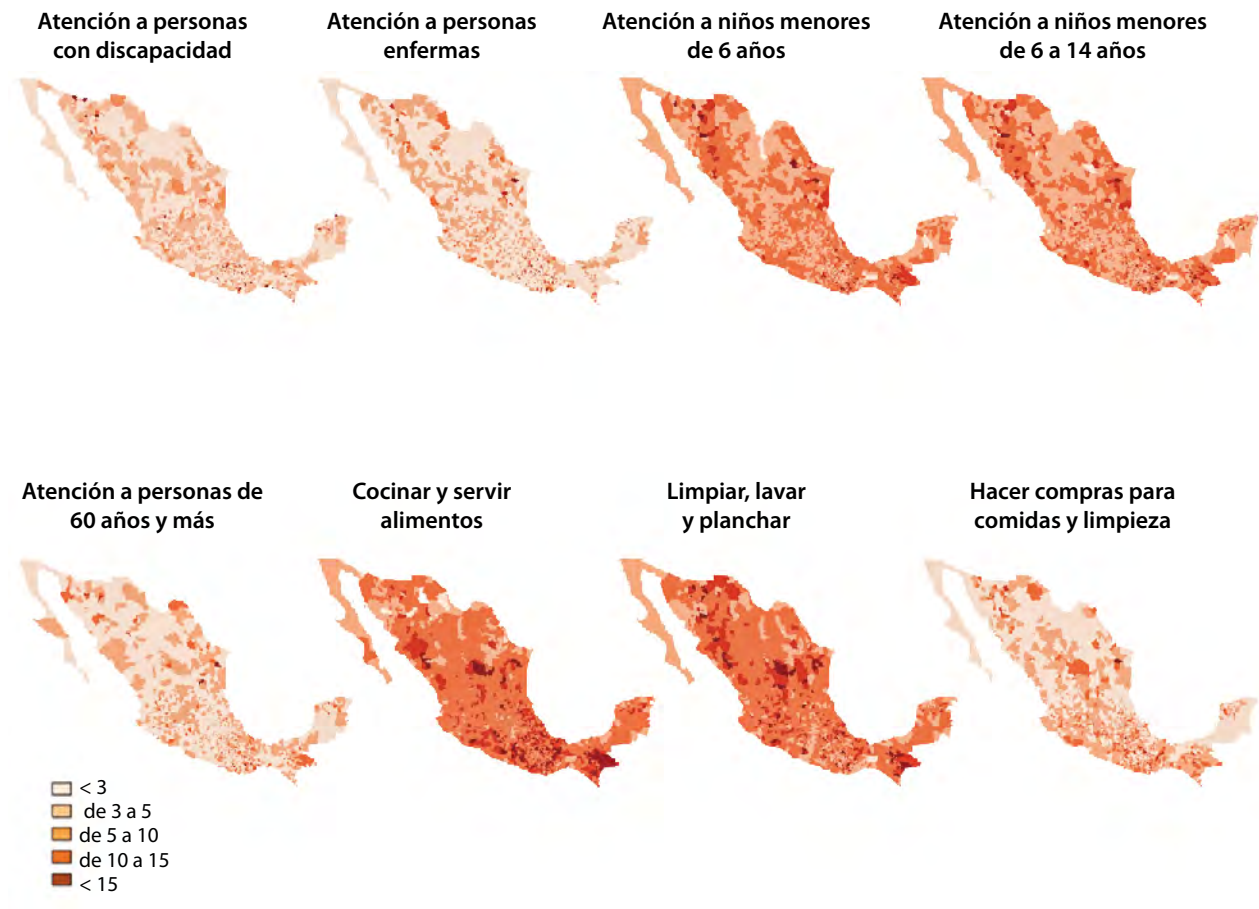
Mapa 1

### Razones de participación en actividades no remuneradas por tipo de actividad, México, 2015



Fuente: elaboración propia con base en INEGI. Encuesta Intercensal 2015.

## Razones de horas en actividades no remuneradas por tipo de actividad, México, 2015



Fuente: elaboración propia con base en INEGI. Encuesta Intercensal 2015.

### Definición de las características espaciales

Al modelar procesos espaciales, es importante determinar el tipo de matriz de contigüidad y distancias espaciales que serán utilizadas. En el presente análisis definimos los criterios de cercanía a utilizar, tal, que todos los municipios limítrofes y aquellos que comparten una arista fueren incluidos como municipios vecinos, esto es conocido como *de*

*reina*<sup>3</sup> y resulta adecuado ante la diversidad de trazos observados en los municipios del país. Este criterio resulta en 2 458 municipios con 14 368 enlaces y un promedio de 5.85 municipios vecinos. En el mapa 3 se muestran los enlaces de la proximidad definida.

<sup>3</sup> Se le llama así por la similitud que guarda con los movimientos que esta pieza puede realizar en un juego de ajedrez clásico. Entre las medidas de contigüidad, se recomienda su uso para el establecimiento de las vecindades a considerar cuando los polígonos tienen formas irregulares. Este criterio permite incluir como vecinos a municipios que comparten, al menos, una arista con el municipio central.

Mapa 3

## Municipios vecinos por criterio de contigüidad



Fuente: elaboración propia con base en INEGI. *Encuesta Intercensal, 2015*.

Usando la información relativa a las razones M/H en los dos indicadores analizados, se estimaron los valores para el Índice de Moran, el cual indica la existencia de asociaciones espaciales; los cercanos a la unidad significan que municipios con valores por arriba (o abajo) de la media nacional se encuentran rodeados por otros municipios con cifras similares respecto a la media nacional; como resultado, se tendrían regiones con conglomerados de alta (o baja) desigualdad. Un valor de -1 indi-

caría la presencia de un municipio atípico, donde uno con valores altos (o bajos) respecto a la media nacional se encuentra rodeado de otros con valores en el sentido opuesto. Los mayores valores del Índice de Moran para la participación en actividades se observan en la preparación de alimentos, compras, atención a menores de 6 años de edad y limpieza de las viviendas. Los valores para el tiempo dedicado a estas actividades presentan valores similares.

Cuadro 2

Continúa

**Valores del Índice de Moran para las razones de participación en actividades no remuneradas y tiempo dedicado a estas, 2015**

Actividad	Participación	Horas
Atención a personas con discapacidad	0.0790 ***	0.0465 ***
Atención a personas enfermas	0.0961 ***	0.0198 *
Atención a menores de 6 años	0.2454 ***	0.1031 ***

### Valores del Índice de Moran para las razones de participación en actividades no remuneradas y tiempo dedicado a estas, 2015

Actividad	Participación	Horas
Atención a menores de 6 a 14 años	0.1935 ***	0.1001 ***
Atención a personas de 60 años y más	0.0537 ***	0.0352 **
Preparación de alimentos	0.3291 ***	0.2806 ***
Limpiar, lavar o planchar	0.2700 ***	0.2666 ***
Compras para la comida o limpieza	0.2750 ***	0.2355 ***

Sig.: \*<0.05, \*\*<0.01, \*\*\*<0.001.

Fuente: elaboración propia con base en INEGI. *Encuesta Intercensal 2015*.

### Modelos espaciales

Como anticipamos, una vez que se ha establecido el panorama inicial de la distribución de las actividades no remuneradas entre mujeres y hombres a lo largo del país, ahora detallamos y analizamos los resultados de nuestros modelos de rezago espacial. Los valores descriptivos para las variables independientes incluidas en los modelos se muestran en el cuadro 3. La población indígena en los municipios de México osciló entre 0 y 100%, con un valor medio de 19.7 por ciento. La presencia de brechas de género en escolaridad —pero, sobre todo, de participación laboral en México— es evidente. En el ámbito escolar, por cada 100 hombres con secundaria terminada se tienen 98 mujeres con este nivel de escolaridad completo. Esta variable muestra importante variación en el país, con valores de 43 a 153 mujeres por cada 100 hombres con nueve años de escolaridad o más. La participación femenina en la fuerza de trabajo sigue siendo menor que la masculina y, a lo largo del país, la proporción varía de 1.1 a 77.7 mujeres por cada 100 hombres en actividades remuneradas.

Una variable de control que incluimos es el porcentaje de hogares encabezados por mujeres porque

en ellos es frecuente que no exista cónyuge y suelen ser más pequeños. Este aspecto también muestra muchas variaciones, con algunos municipios que tienen alrededor de 8% de los hogares con jefatura femenina, mientras que otros alcanzan casi 49 por ciento. Ahora bien, para poder controlar por las diferencias regionales en los niveles de desarrollo, incluimos también el Índice de Marginación a nivel municipal para el 2015 (ver CONAPO, 2016). De igual manera, para controlar por la estructura de la población en cada municipio, se incluyó la razón de dependencia demográfica,<sup>4</sup> esta variable oscila entre 35 y 119. La última incluida correspondió a la naturaleza metropolitana y urbana de los municipios: 17% de ellos pertenecía a alguna de las 74 zonas metropolitanas de México, 33% no eran metropolitanos pero contaban con población de 15 mil habitantes o más, mientras que casi 50% tenían una inferior a los 15 mil habitantes y no eran parte de ninguna zona metropolitana. Será interesante y valioso establecer la dirección y magnitud de la asociación entre estos aspectos y las brechas de género en el ejercicio del trabajo no remunerado.

4 Razón de dependencia = (población < 15 años + población de 65 años y más) / población de 15 a 64 años.



Cuadro 3

**Estadísticas descriptivas para las variables independientes, México, 2015**

Variable independiente	Media	Mín.	Máx.
% población indígena	19.71	0	100
Razón (M/H) con educación secundaria	98.1	42.6	152.9
Razón (M/H) en participación laboral	35.7	1.1	77.7
% hogares con jefatura femenina	26.1	7.6	48.5
Índice de Marginación 2015	55.4	8.3	94.1
Razón de dependencia	64.5	34.9	119.0

Condición metropolitana del municipio	Municipios	%
Metropolitano	417	17.0
Urbano	816	33.2
Rural	1 224	49.8

Fuente: INEGI. Encuesta Intercensal 2015.

Los resultados de los modelos de rezago espacial se muestran en el cuadro 4. El primer panel se refiere a las brechas entre mujeres y hombres en lo concerniente a la participación en la actividad y el segundo, a las que ocurren en horas empleadas en la actividad. El análisis de los resultados obtenidos en los distintos modelos debe tomar en consideración el grado de autocorrelación espacial en las distintas variables; es decir, el coeficiente reportado contempla la dimensión espacial entre las unidades analizadas.<sup>5</sup>

En lo que respecta al primer panel (*razón de participación* entre mujeres y hombres en actividades específicas) tenemos lo siguiente: comparados con los municipios metropolitanos, la condición no metropolitana del municipio se mostró asociada a incrementos en la brecha de género en lo que toca a participación en actividades de cuidados a personas con discapacidad y enfermas, así como la realización de compras, pero solo en municipios con población menor a los 15 mil habitantes. La presencia de población indígena se asoció con aumentos en la brecha de género en lo concerniente a la atención de niños y niñas y en la preparación

de alimentos, pero con reducciones en cuidados a personas con discapacidad.

Respecto a la relación M/H con secundaria completa, fue significativa en lo que toca a la reducción de la brecha de género en atención de personas de 60 años de edad y más, preparación de alimentos y participación en compras para el hogar. Sin embargo, es muy relevante hacer hincapié en los resultados que atañen a la relación entre mujeres y hombres en la fuerza de trabajo; un aumento en los valores de esta, es decir, el incremento en la presencia femenina en el trabajo extradoméstico, se asocia con una reducción en la brecha de participación entre mujeres y hombres en todos los tipos de actividades no remuneradas. Ahora bien, la proporción de hogares encabezados por mujeres se asoció de forma positiva con aumentos en las brechas en las distintas actividades, con excepción de las de limpieza, lo que podría ser consecuencia de la composición de estos hogares y la redistribución de este tipo de actividades.

El Índice de Marginación 2015 estuvo asociado de forma positiva con incrementos en la brecha de género en preparación de alimentos, pero con efectos negativos en cuidados a personas enfermas y menores. Por último, la razón de dependen-

<sup>5</sup> Como consecuencia, se debe tener en cuenta que las variables de una unidad geográfica están relacionadas con el valor observado en las unidades vecinas.

cia fue significativa al incrementar la asincronía entre mujeres y hombres en casi todas las actividades, con excepción de los cuidados a personas mayores y las enfermas.

El panel inferior del cuadro 4 muestra los coeficientes de los modelos para cambios en las brechas de tiempo dedicado al trabajo no remunerado entre mujeres y hombres en las distintas tareas, es decir a la *razón de horas*. También, se confirma que en los municipios no metropolitanos pero con menos de 15 mil habitantes, el trabajo de cuidados a personas enfermas o con alguna discapacidad, así como las compras de productos para el hogar, se distribuyen de manera más desigual entre mujeres y hombres que en los metropolitanos. La mayor presencia de población indígena en los municipios resultó en una menor desigualdad en limpieza de la vivienda, lavado y planchado de ropa.

La relación entre géneros en lo concerniente a la finalización de la secundaria fue significativa para el cuidado a menores de entre 6 y 14 años de edad y la preparación de alimentos, y estuvo asociada con reducciones en la brecha. Sin embargo, se asoció con incrementos en la de actividades de limpieza. Y, una vez más, cuanto mayor es la participación de las mujeres en el mercado de trabajo, en comparación con los hombres, menor es la distancia en el tiempo de-

dicado al trabajo no remunerado en las actividades no remuneradas. Al igual que ocurrió con los modelos para la participación, la proporción de hogares encabezados por mujeres se asoció con aumentos en la brecha de horas dedicadas a la atención de personas con discapacidad y mayores de 60 años, así como de menores de entre 6 y 14 años, y con reducciones en lo que toca tanto a limpieza como a lavar y planchar la ropa de los miembros del hogar. El Índice de Marginación municipal fue significativo y asociado de forma positiva con la brecha en el tiempo dedicado a la preparación de alimentos, pero de manera negativa con los cuidados a menores de 6 a 14 años. Por último, la razón de dependencia estuvo asociada con incrementos en la distancia en la preparación de alimentos, limpieza del hogar y la realización de compras.

En la mayoría de los modelos, el valor del coeficiente  $\rho$  fue positivo y significativo, lo cual sugiere que se observó la autocorrelación espacial en dicho sentido; esto es, municipios con valores altos en las variables están espacialmente asociados con otros con valores altos. Sin embargo, las pruebas de verosimilitud, al comparar el ajuste de los modelos de rezago espacial con los lineales tradicionales, vemos que, para algunas de las variables, la ganancia de los espaciales resulta en mejoras, pero para otras no es significativo.

Cuadro 4

Continúa

### Resultados de los modelos de rezago espacial para las razones de participación y horas en el trabajo no remunerado

Participación/horas en la actividad y variable independiente	Actividad															
	Atención a personas con discapacidad		Atención a personas enfermas		Atención a menores de 6 años		Atención a menores de 6 a 14 años		Atención a personas de 60 años y más		Preparación de alimentos		Limpieza, lavado y planchado		Compras para comida y limpieza	
	$\beta$	Sig.	$\beta$	Sig.	$\beta$	Sig.	$\beta$	Sig.	$\beta$	Sig.	$\beta$	Sig.	$\beta$	Sig.	$\beta$	Sig.
<b>Participación en la actividad</b>																
Intercepto	0.9321		1.56094052	***	1.9336	***	3.1515	***	2.4815	***	3.1769	***	3.0480	***	1.7932	***
<b>Metropolitano (Ref: Metropolitano)</b>																
No metropolitano $\geq 15\ 000$ h	-0.0024		0.03444846		0.0069		0.0159		-0.0528		-0.0949		0.1001		0.0036	
No metropolitano $< 15\ 000$ h	0.1967	*	0.169638	*	-0.0594		0.0660		0.1108		-0.1363		0.0550		0.2985	**

### Resultados de los modelos de rezago espacial para las razones de participación y horas en el trabajo no remunerado

Participación/horas en la actividad y variable independiente	Actividad															
	Atención a personas con discapacidad		Atención a personas enfermas		Atención a menores de 6 años		Atención a menores de 6 a 14 años		Atención a personas de 60 años y más		Preparación de alimentos		Limpieza, lavado y planchado		Compras para comida y limpieza	
	$\beta$	Sig.	$\beta$	Sig.	$\beta$	Sig.	$\beta$	Sig.	$\beta$	Sig.	$\beta$	Sig.	$\beta$	Sig.	$\beta$	Sig.
% población indígena	-0.0020	*	-0.00027654		0.0027	***	0.0042	***	0.0007		0.0055	**	-0.0030	*	-0.0012	
Razón (M/H) con educación secundaria	0.0018		0.00012907		-0.0001		-0.0036		-0.0067	*	-0.0096	*	0.0059	*	-0.0055	*
Razón (M/H) en participación laboral	-0.0130	***	-0.01502882	***	-0.0253	***	-0.0335	***	-0.0221	***	-0.0450	***	-0.0427	***	-0.0207	***
% hogares con jefatura femenina	0.0244	***	0.02551925	***	0.0192	***	0.0124	+	0.0236	***	0.0051		-0.0165	**	0.0154	*
Índice de marginación 2015	-0.0002		-0.0035963	*	-0.0051	***	-0.0056	*	-0.0024		0.0106	*	0.0028		0.0034	
Razón de dependencia	0.0081	**	0.001569		0.0073	**	0.0058		0.0084	*	0.0252	***	0.0098	*	0.0102	**
$\rho$	0.1116	***	0.1787	***	0.3259	***	0.2784	***	0.0408		0.3539	***	0.3285	***	0.3842	***
Prueba de verosimilitud	0.14		0.21		8.43	**	1.77		1.61		1.12		1.94		16.36	***
<b>Horas en la actividad</b>																
Intercepto	1.0043		2.7911808		7.7147	***	10.5932	***	3.0199	**	10.9357	***	7.4963	***	2.6173	***
Metropolitano (Ref: Metropolitano)																
No metropolitano $\geq$ 15,000 h	-0.3036		-0.0442448		-0.0308		0.1269		-0.2644		-0.0042		0.3516		-0.1267	
No metropolitano $<$ 15,000 h	0.9141	+	0.9309321	*	0.1027		0.5437		0.2143		-0.2526		0.0504		0.2618	
% población indígena	0.0001		-0.0033077		0.0061		0.0069		0.0014		0.0054		-0.0131	***	-0.0010	
Razón (M/H) con educación secundaria	0.0061		-0.0149478		-0.0083		-0.0207	*	-0.0097		-0.0492	***	0.0129	*	-0.0044	
Razón (M/H) en participación laboral	-0.0611	***	-0.0187279	+	-0.0906	***	-0.0984	***	-0.0370	***	-0.1008	***	-0.0912	***	-0.0274	***
% hogares con jefatura femenina	0.1301	***	0.046561		0.0483	**	0.0344		0.0612	***	-0.0313		-0.0741	***	0.0139	
Índice de marginación 2015	-0.0063		0.0013957		-0.0121		-0.0215	**	-0.0018		0.0255	**	0.0025		0.0034	
Razón de dependencia	0.0143		0.0150486		0.0128		-0.0019		0.0150		0.0572	***	0.0227	**	0.0102	+
$\rho$	0.0807	*	0.0352		0.1376	***	0.1490	***	0.0282		0.2890	***	0.3343	***	0.3720	***
Prueba de verosimilitud	3.31	+	1.74		3.10	+	1.23		4.78	*	0.61		3.87	*	20.84	***

Sig.: +0.07, \*0.01, \*\*\*0.001.

Fuente: INEGI. Encuesta Intercensal 2015.

### Discusión sobre los resultados y sus implicaciones

El objetivo principal de nuestro análisis ha sido precisar cómo la desigualdad de género en la partici-

pación y el tiempo en el trabajo no remunerado se asociaba con algunos indicadores demográficos y socioeconómicos a nivel municipal. En particular, queríamos saber si la composición de los municipios con respecto a la condición metropolitana,

la población indígena, la marginación, la estructura poblacional, los hogares encabezados por mujeres, la posición femenina relativa en el nivel educativo y su participación en la fuerza laboral podrían contribuir a explicar la presencia de esta desigualdad. Como se indicó, encontramos en un inicio que la asincronía entre los géneros en la participación en el trabajo no remunerado se agrupó espacialmente de manera significativa, en particular, en lo que toca a preparación de alimentos y cuidado infantil como tareas en esencia femeninas, por lo que confirmamos que este fenómeno está asociado con normas sociales y culturales arraigadas muy profundo en el país, pero que también podrían estar sujetas a modificaciones conforme ha ido cambiando la condición femenina en México (Rodríguez y García, 2018).

Los resultados de los modelos de rezago espacial demostraron que la brecha de género en la preparación de alimentos y otras actividades domésticas estaba asociada de forma positiva con la condición no metropolitana, lo cual indica que, en estos municipios, la participación de las mujeres es mucho mayor a la de los hombres; sin embargo, esta asociación no estuvo siempre presente en los municipios de menor población, lo que indica que la participación de los hombres en estas actividades en los contextos menos urbanizados es digna de considerarse (ver Rendón, 2008; Pacheco y Florez, 2014).

Los modelos espaciales también demostraron otro tipo de situación en los municipios con una condición no metropolitana y baja población con respecto a la atención y el apoyo a los ancianos, los enfermos y las personas con discapacidad. En este último caso, la brecha de género se asoció positivamente con esta condición rural y la presencia de hogares encabezados por mujeres.

A medida que el proceso de envejecimiento continúa en México, el diseño de políticas y un futuro sistema nacional de atención deben tener en cuenta que los municipios rurales pueden carecer de infraestructura e instituciones para reducir la brecha de género en la atención a la salud.

Respecto a la población indígena en los municipios, los modelos también han permitido ratificar la importancia de la brecha de género en contra de las mujeres, sobre todo en lo que toca al cuidado de niños y niñas y el trabajo doméstico.

De manera especial, el enfoque seguido brindó la posibilidad de verificar la importancia de la participación femenina en la fuerza laboral al buscar explicar las asimetrías entre mujeres y hombres en el ejercicio del trabajo no remunerado. Los modelos espaciales proporcionaron evidencia sobre esta asociación, no solo respecto a la participación en el trabajo no remunerado, sino también en lo que toca al tiempo dedicado a estas actividades. A medida que aumenta la participación femenina en el mercado de trabajo disminuyen las asimetrías entre géneros en el ejercicio del trabajo doméstico y de cuidado, teniendo en cuenta una serie de aspectos intervinientes como el carácter rural o metropolitano de los municipios, así como las diferencias en escolaridad entre mujeres y hombres. Se trata de resultados que, en alguna medida, confirman los hallazgos de estudios previos mencionados en los antecedentes (García y Oliveira, 2006; Rojas y Martínez, 2014, principalmente). Sin embargo —hasta donde sabemos—, no se habían establecido en el ámbito municipal mexicano y con las herramientas estadísticas espaciales que hemos utilizado.

Resta, sin duda, mucho por aclarar acerca del resultado encontrado en nuestro modelo espacial sobre la asociación entre participación laboral femenina y la reducción de la asimetría entre mujeres y hombres en el ejercicio del trabajo doméstico y de cuidado. Ya sea que se deba a un mayor involucramiento masculino en la vida doméstica, a una reducción de la sobrecarga de las mujeres o a ambas situaciones, se trata de un punto de partida que consideramos muy importante, en especial porque involucra a la casi totalidad de los municipios del país. Habrá que seguir profundizando en las implicaciones de estos hallazgos con una batería más amplia de información cuantitativa y/o cualitativa. En futuros análisis sería conveniente focalizar algunas regiones de especial interés, don-

de sea factible profundizar en la estructura económica y social particular, así como en aspectos más específicos sobre las ocupaciones y demás tareas que se desempeñan en los hogares tanto por parte de varones como de mujeres de distintos sectores sociales.

## Conclusiones

En este trabajo buscamos avanzar en el conocimiento existente en México sobre la repartición de tareas no remuneradas y remuneradas entre hombres y mujeres. Se ha señalado de forma repetida que la asimetría existente es importante, sobre todo porque, hasta ahora, los varones no se han involucrado en la vida doméstica y de cuidado con la extensión e intensidad necesaria para equilibrar la carga que hoy tienen las mujeres, quienes se han incorporado de manera creciente al mercado de trabajo.

En el país se ha recolectado información sobre la división sexual del trabajo imperante en los hogares desde mediados de la década de los 90; asimismo, las encuestas de uso del tiempo que existen a partir del 2000 han permitido precisar las brechas de género que nos caracterizan en lo que concierne al ejercicio del trabajo en sus múltiples facetas, así como sus variaciones entre sectores sociales y grupos vulnerables de interés.

La contribución que buscó hacer esta investigación se refiere a lo que ocurre a nivel municipal en México, y esta búsqueda la facilitó la *Encuesta Intercensal 2015*, la cual incluyó, por primera vez, varias preguntas sobre el ejercicio del trabajo no remunerado en gran parte de los municipios del país.

Para iniciar, verificamos en el ámbito municipal las brechas de género referidas al trabajo doméstico y de cuidado propiamente dicho, las cuales han sido subrayadas por estudios previos. Las tareas domésticas (cocinar, lavar, planchar) son las más desigualmente distribuidas entre mujeres y hombres, y nos sorprendió la claridad con la que es po-

sible apreciar esta distinción cuando recurrimos a las representaciones gráficas que nos permite trazar la EI 2015.

Asimismo, tal como se ha señalado con anterioridad, también comprobamos que existe mayor participación relativa de los varones en lo que toca al cuidado de dependientes. Sin embargo, consideramos que no ha sido suficientemente resaltada con anterioridad la diferencia que pudimos establecer entre distintos tipos de cuidados. Según la información que analizamos, las actividades con mayor participación de los varones entre las que estudiamos son el cuidado de personas adultas mayores sanas, enfermas o con alguna discapacidad. Las técnicas de análisis espacial nos permitieron, también, indicar que estas actividades están distribuidas de manera más aleatoria que las demás en el territorio nacional.

Consideramos que estos hallazgos tienen mucho potencial desde la perspectiva de la elaboración de las políticas públicas locales, pues se trata de una pista que nos permite comenzar a romper con la idea de que las brechas de género son igual de importantes en todos los ámbitos del trabajo no remunerado (y remunerado). Se trata de un resultado que permite afianzar la búsqueda de mayor igualdad de género, en especial en un país que no se encuentra entre los más envejecidos del planeta, pero que avanza muy rápido en esa dirección.

En la parte central de este artículo buscamos establecer los factores asociados a las diferencias de género tanto en la participación en las distintas actividades como en el tiempo dedicado a ellas. En este esfuerzo nos vimos limitados por la información disponible a nivel municipal en el país. Partimos del supuesto de la dependencia espacial usando modelos que permiten incorporar no solo la información de cada municipio, sino la posibilidad de asociaciones espaciales entre municipios cercanos. Hicimos especial hincapié en el resultado referido a la presencia femenina en el mercado laboral, porque es el que se mostró de forma más clara, tanto en lo que toca a la participación como a las horas dedicadas al trabajo no remunerado.

Para finalizar, habría que apuntar que consideramos necesario impulsar el enfoque espacial en la agenda de género en México. Creemos que son necesarios más estudios que incorporen esta perspectiva para avanzar en ella, como se estipula en los ODS. El cuestionario ampliado propuesto para el censo del 2020 por el INEGI incluirá las mismas ocho preguntas sobre el trabajo no remunerado que la EI 2015 (INEGI, n.d.), con lo cual se podrán rastrear cambios en el tiempo y el espacio. La combinación de estas dos perspectivas debería permitir incorporar aspectos sociales, económicos y culturales mejor medidos en las políticas destinadas a reducir la brecha de género en el tiempo asignado al trabajo no remunerado.

## Fuentes

- Anselin, L. y A. K. Bera. "Spatial dependence in linear regression models with an introduction to spatial econometrics", en: *Statistics Textbooks and Monographs*. 155. Estados Unidos de América, Scientific Research Publishing, 1998, pp. 237-290.
- Arriagada, I. "Familias y hogares en América Latina", en: Nájera, Jéssica; Brígida García y Edith Pacheco. *Hogares y trabajadores en México en el siglo XXI*. México, El Colegio de México, 2017.
- Bianchi, S. M.; J. P. Robinson y M. A. Milke. *The Changing Rhythms of American Life*. New York, Russel Sage Foundation, 2006.
- Coltrane, S. "Research on Household Labor: Modeling and Measuring the Social Embeddedness of Routine Family Work", en: *Journal of Marriage and the Family*. 62 (4). Estados Unidos de América, 2000, pp. 1208-1233.
- Coltrane, S. y K. Shih. "Gender and the division of labor", en: Chrisler, J. C. y D. McCreary (eds.). *Handbook of gender research in psychology*. New York, Springer, 2010, pp. 401-422.
- Consejo Nacional de Población (CONAPO). *Índice de marginación por entidad federativa y municipio 2015*. México, CONAPO, 2016.
- CONAPO, SEDATU e INEGI. *Delimitación de las zonas metropolitanas de México 2015*. México, Secretaría de Desarrollo Agrario, Territorial y Urbano-CONAPO-INEGI, 2018.
- INEGI. *Ficha técnica del cuestionario ampliado. Metodología en consulta pública*. INEGI, n.d., DE [http://www.beta.inegi.org.mx/contenidos/app/consultapublica/doc/descarga/cpv2020/proyecto/fichatec\\_ampliado.pdf](http://www.beta.inegi.org.mx/contenidos/app/consultapublica/doc/descarga/cpv2020/proyecto/fichatec_ampliado.pdf), consultada en abril de 2018.
- Galindo Vilchis, L. M., G. García Gutiérrez y P. Rivera Hernández. "El trabajo de cuidado en los hogares: ¿un trabajo solo de mujeres?", en: *Cuadernos de trabajo*. 59, México, Instituto Nacional de las Mujeres (INMUJERES), 2015.
- García, B. "El trabajo doméstico y de cuidado: su importancia y principales hallazgos en el caso mexicano", en: *Estudios Demográficos y Urbanos*. Vol. 34, núm. 2 (101), México, mayo-agosto de 2019.
- García, B. y O. de Oliveira. *Las familias en el México metropolitano: visiones femeninas y masculinas*. México, El Colegio de México, 2006.
- Granados, A. "Participación de los hombres en el cuidado no remunerado en las ciudades de México, Guadalajara y Monterrey y las zonas urbanas de México", en: Pacheco, E. (coord.). *Los cuidados no remunerados y el trabajo remunerado en México. Un análisis de la Encuesta Laboral y de Corresponsabilidad Social (ELCOS) 2012. Cuadernos de trabajo 40*. México, INMUJERES, 2013, pp. 279-301.
- INMUJERES. *Pobreza, género y uso del tiempo*. Trabajo elaborado por Silvia Luna. México, INMUJERES, 2005.
- ONU Mujeres. J., Bonnafé y E. Corral (eds.). *La ONU en acción para la igualdad de género en México*. México, ONU Mujeres, 2015.
- Pacheco, E. y N. Florez. "Entre lo rural y urbano: tiempo y desigualdades de género", en: García, B. y E. Pacheco (coords.). *Uso del tiempo y trabajo no remunerado en México*. México, El Colegio de México, ONU-Mujeres e INMUJERES, 2014, pp. 263-323.
- Rendón, T. *Trabajo de hombres y trabajo de mujeres en el México del siglo XX*. México, Universidad Nacional Autónoma de México, 2008.
- Rivero, E. y A. Hernández. "No todo el tiempo es igual: variaciones en los patrones de uso del tiempo en México", en: García, B. y E. Pacheco (coords.). *Uso del tiempo y trabajo no remunerado en México*. México, El Colegio de México, ONU-Mujeres e INMUJERES, 2014, pp. 221-262.
- Rodríguez, M. y B. García. "Trabajo no remunerado en México: un análisis de las diferencias de género en los estados y municipios del país", en: Echarri, C. *Proyecto ODS*. México, ONU-Mujeres, 2018.
- Rodríguez, M. y B. García. "Trabajo doméstico y de cuidado masculino", en: García, B. y E. Pacheco (coords.). *Uso del tiempo y trabajo no remunerado en México*. México, El Colegio de México, ONU-Mujeres e INMUJERES, 2014, pp. 381-431.
- Rojas, O. y M. Martínez. "Uso del tiempo en el ámbito doméstico entre los padres mexicanos", en: García, B. y E. Pacheco (coords.). *Uso del tiempo y trabajo no remunerado en México*. México, El Colegio de México, ONU-Mujeres e INMUJERES, 2014, pp. 433-469.

# Aportes metodológicos para **un modelo de ocupación y políticas territoriales** en el estado de Chihuahua

## Methodological Contributions **for territorial Occupation Model of the Mexican State of Chihuahua**

Luis Ernesto Cervera Gómez,\* Adrián Botello Mares\* y Guillermo Iván Hinojos Mendoza\*\*

Ante la evidente necesidad de alternativas para el desarrollo sustentable del territorio en México, se han implementado varios instrumentos de planificación integral a través de los cuales se proponen estrategias para el uso y ocupación del territorio, como los programas estatales de ordenamiento territorial. En el caso de Chihuahua, el mayor aporte metodológico del que corresponde al del 2015 es el Modelo de Ocupación Territorial, el cual busca potencializar el desarrollo regido por el criterio de sus-

Due to the need of alternatives for sustainable development of the Mexican territory, several instruments of integral planning had been implemented in the country. Among them, there are strategies for the use and occupation of the territory like the official State Programs of Territorial Ordering (known as PEOT by its acronym in Spanish). In the case of the state of Chihuahua, the Model of Territorial Occupation (MOT) was the best methodological achievement of the Planning Program

\* El Colegio de Chihuahua, lcervera@coledu.onmicrosoft.com y abotello@colech.edu.mx, respectivamente.

\*\* Asesores de Servicios en Ecología Sustentable, ghinojos@asescc.net

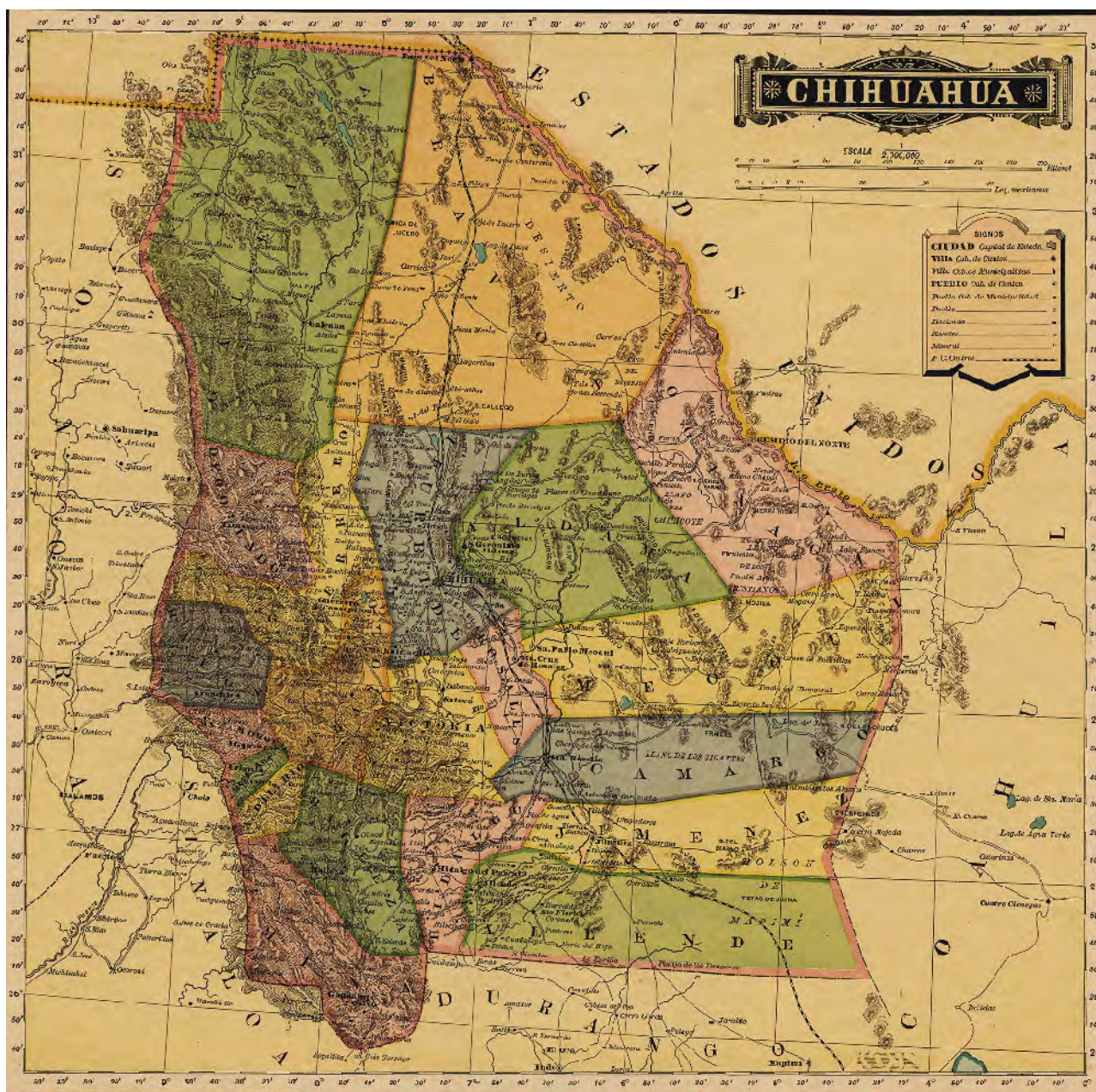
tentabilidad para garantizar una adecuada planificación y asignación de políticas territoriales y estrategias óptimas, facilitando la toma de decisiones técnico-políticas en términos de ordenamiento territorial.

**Palabras clave:** ordenamiento territorial; Modelo de Ocupación Territorial; Chihuahua; sustentabilidad.

Recibido: 3 de abril de 2019.  
Aceptado: 9 de septiembre de 2019.

in 2015. It aims to potentiate the development ruled by the sustainability criterion, to guarantee an adequate planning and allocation of optimal policies and strategies, by making technical-political decisions easier in terms of territorial ordering planning.

**Key words:** Territorial Planning; Model of Territorial Occupation; Chihuahua; Sustainability.



Map Of Chihuahua, Mexico/Buyenlarge/Getty Images



## Introducción

Sin duda, la parte medular del Modelo de Ocupación Territorial (MOT) desarrollado en esta propuesta se remite a los conceptos del ordenamiento del territorio (OT) y su planificación sustentable; citando a varios autores, Massiris (2002) lo sintetiza como: “El ordenamiento del Territorio es un proceso y un instrumento de planificación, de carácter técnico-político-administrativo, con el que se pretende configurar, en el largo plazo, una organización del uso y ocupación del territorio, acorde con las potencialidades y limitaciones del mismo, las expectativas y aspiraciones de la población y los objetivos de desarrollo. Se concreta en planes que expresan el modelo territorial de largo plazo que la sociedad percibe como deseable y las estrategias mediante las cuales se actuará sobre la realidad para evolucionar hacia dicho modelo”.

En esencia, el OT es, también, una política de Estado y no solo concierne a la sociedad, sino a sus instituciones formales, vía el diseño de un instrumento de planeación del territorio. En México, y de acuerdo con la Secretaría de Desarrollo Agrario, Territorial y Urbano (SEDATU, 2013), un Programa Estatal de Ordenamiento Territorial (PEOT) es un mecanismo de política de desarrollo regional que orienta los esfuerzos de las dependencias federales, estatales y municipales en el mejor uso y aprovechamiento del territorio. Además, impulsa los esfuerzos de la iniciativa privada y apoya al sector social en el óptimo uso del suelo mediante programas enfocados a elevar la productividad en la entidad, en el marco de un desarrollo sustentable que oriente los mejores esfuerzos en el cuidado del medio ambiente y afronte con firmeza las repercusiones del cambio climático en el hábitat de Chihuahua.

Este instrumento de OT prioriza programas de inversión en el conjunto de ciudades medias del estado y concentra inversiones puntualizadas en el medio rural, en aquellos centros capaces de aglutinar población. Lo anterior, para facilitar los servicios y equipamientos —difícil de satisfacer— ante una población tan dispersa en el territorio estatal más extenso del país.

Las enormes diferencias en el ámbito territorial de Chihuahua también se reflejan tanto en las condiciones geográficas como al interior del ámbito urbano de sus centros de población. Las desigualdades sociales y la marginación están afectando la calidad de vida de los chihuahuenses por falta de oportunidades, ahí donde los habitantes se ubican, muchas veces, en sitios inadecuados.

Chihuahua, en pleno siglo XXI, tiene una magnífica oportunidad de desarrollo si se aplica una adecuada localización geográfica de las actividades productivas. La industria manufacturera de dispositivos electrónicos y la de insumos automotrices y aeroespaciales, aunados al empuje de la cervecera, abren nuevas oportunidades de salarios bien remunerados. La industria minera repunta, así como el más extenso programa de gasoductos del país. El turismo tanto médico y de convenciones como el recreativo se encuentran en su mejor momento histórico. Nuestra rica biodiversidad, el aprovechamiento forestal, además de la agricultura y ganadería sustentables nos permiten avizorar un uso más ordenado de nuestro territorio. Las comunicaciones carreteras y ferroviarias con nuestros estados vecinos y con los Estados Unidos de América (EE. UU.) facilitan transportar en tiempo y forma la producción estatal a sus destinos de consumo. En el corto plazo veremos en la región fronteriza mejoras en sus cruces fronterizos con el vecino país del norte, así como el uso intensivo de energías renovables.

En ese contexto, una de las aportaciones más importantes del PEOT para Chihuahua es el MOT (SEDATU *et al.*, 2015). Las bases metodológicas para la elaboración de un instrumento de ordenamiento en México, así como el Modelo de cada entidad, se remiten directamente a los términos de referencia definidos en la guía elaborada por la SEDATU (2013) del gobierno federal. Por lo tanto, partiendo del esquema definido por esta Secretaría, se llevaron a cabo todos los procedimientos que, al final, habrían de resultar en el mencionado MOT.

La secuencia de pasos de la guía dirige a un resultado homologado para todas las entidades federa-

tivas, sin la opción de incurrir en particularidades para cada una de ellas. De esta manera, se constituye una uniformidad en todo el territorio nacional, donde los mismos criterios son aplicables en todas las escalas, sin considerar la pequeña o gran amplitud territorial, su complejidad y diversidad. De la misma manera, es posible desarrollar un MOT para los estados fronterizos con EE. UU. (Baja California, Sonora, Chihuahua, Coahuila de Zaragoza, Nuevo León y Tamaulipas), donde los resultados pueden cortarse técnicamente a una región de dominio, como los territorios definidos por la Comisión de Cooperación Ecológica Fronteriza (COCEF, ahora NadBank), que considera 300 kilómetros al sur de la línea divisoria, lo cual se adecua a las disposiciones del nuevo gobierno federal respecto a la elaboración de un ordenamiento territorial integral para la frontera norte. Por lo anterior, este trabajo puede servir de insumo en la planeación futura.

El procedimiento para la definición del MOT toma como referencia primaria las unidades territoriales estratégicas (UTE) obtenidas mediante las unidades de paisaje (UP), aptitud (UAS), uso de suelo (UUS) y conflicto (UC) que, en su combinación, representan subdivisiones homogéneas de características físicas, sociales y económicas.

En el caso del MOT de Chihuahua no solo se tomaron en cuenta los requerimientos de la guía me-

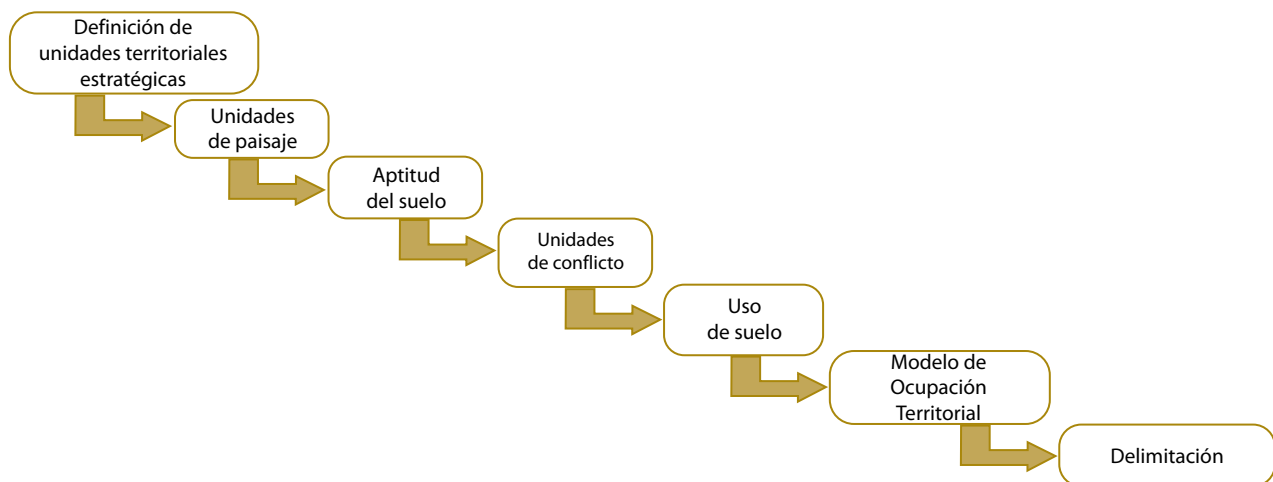
todológica de la SEDATU, sino que se extendieron los criterios como una aportación particular, dada su complejidad, a decir, de la entidad federativa más extensa del país y, por ende, la de mayor territorio a ordenar.

## Marco de referencia: integración territorial de la entidad

La definición del MOT busca integrar de manera espacial aquellas características del territorio en los ámbitos social, ambiental y económico, donde sus elementos representan una condición que debe ser atendida para poder cumplir con el objetivo del OT. En un primer paso, es necesario delimitar en el terreno las características del territorio que muestran su condición que, de acuerdo con la guía metodológica, se denominan UTE, para lo cual se determinan los cuatro elementos que se mencionan con anterioridad, procesados a través de un sistema de información geográfica. Al contar con ellas, en una segunda fase se delimitan con base en características socioeconómicas que permiten la redirección de las políticas por asignar. Por último, el MOT concentra la información de estas dos etapas para formar una regionalización que permita proponer de manera sencilla la ocupación del territorio (ver diagrama que describe el proceso metodológico dividido en tres etapas principales).

### Diagrama

#### Esquema de integración territorial



Fuente: elaboración propia, 2017.

## Componentes de las UTE

La elaboración de las UTE en el estado de Chihuahua, por su extensión y diversidad, permite un reto importante en la escala nacional, que propiciará un panorama de oportunidades respecto a las áreas de fortalecimiento y potencialización de su vasto territorio.

Respecto a las UP, las condiciones de homogeneidad/heterogeneidad se encuentran muy relacionadas con la escala corológica y geográfica a la cual se aborda la evaluación del paisaje, ya que a ciertas escalas se podrán o no percibir variaciones en este fenómeno; en otras palabras, no existen escalas geográficas predefinidas para la evaluación territorial desde el punto de vista ecológico, dado el fenómeno funcional o corológico que interviene en el proceso, y estas se deberán llevar a cabo desde una perspectiva *espacio-específico, proceso-específico, especie-específica*, ya que los paisajes no son constituidos y diferenciados solo por sus composiciones florísticas o por sus tipos de vegetación, sino también por su estructura, estabilidad, diversidad y productividad, intervenciones bióticas, topoclimas, modificaciones humanas y procesos fenotípicos. De la misma forma, los principios metodológicos para la evaluación del paisaje deben ser abordados de manera particular en función de los objetivos de análisis y evaluación, sin perder de vista que el objetivo de la definición de unidades de paisaje es el mapeo de ecotopos<sup>1</sup> (Hinojos, 2014).

Por convención, y definido por el Consejo de Europa (2000), el paisaje se entiende como las diferentes partes del territorio, tal como son percibidas por las poblaciones, cuyo carácter resulta de la acción de factores naturales y antropogénicos y sus interrelaciones. Dada la gran diversidad de posibilidades de planteamientos posibles a desarrollarse bajo este concepto es que Serrano (2012, p. 216) nos manifiesta que: "...parece acertado afirmar que uno de los conceptos de mayor importancia en los

estudios de paisaje es, sin duda, el de unidad de paisaje, ya que reúne en una sola idea todo aquello relacionado con 'factores e interrelaciones naturales y/o humanos' y, también, con aquellas perspectivas de trabajo de carácter territorial...".

La UP se define con el objetivo de mapear cada una de las unidades a partir de todos los atributos cartografiados del sistema territorial. Para dicho procedimiento, se consideran aspectos como la geomorfología, la geología, el suelo, el clima y la vegetación, como mínimo. Asimismo, se deben incluir las interacciones y las alteraciones humanas dentro del análisis y la construcción del modelo de unidades de paisaje. Otros aspectos más complejos y dinámicos (flujos hídricos y energéticos poblacionales) pueden ser incluidos en el análisis como atributos dinámicos del sistema socioecológico. En un sentido estricto, la UP constituye el ecotopo.

En cuanto a las UAS, Hofstee (s. f.) menciona que: "...una de las cosas más importantes de la planificación física es la designación propia de sitios aptos para un apropiado uso de suelo. La selección de sitios aptos para un uso de suelo específico debe estar basada en un conjunto de criterios locales. Las diversas características de un sitio (por ejemplo, uso actual del suelo, pendiente, disponibilidad de agua), influyen en la aptitud para un uso de suelo específico. Un sistema de valores y ponderación se puede aplicar a los diversos aspectos de la aptitud, para establecer la aptitud total de un uso de suelo específico...".

Para la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, por sus siglas en inglés, 1985), la vocación de la tierra puede definirse como "...la aptitud de un tipo dado de tierra para un tipo de uso específico de la tierra...". Así, añade: "...la aptitud, o vocación, de un terreno se refiere al nivel de adecuación de un pedazo de tierra para alguna actividad considerando las características naturales del terreno. El análisis de aptitud, o vocación de las tierras, es parte del proceso de planeación del desarrollo regional y local, porque el resultado de este análisis generará el destino del uso de tierras. Esto implica que, considerando

<sup>1</sup> Unidad holística más pequeña del paisaje, caracterizado por la homogeneidad de, por lo menos, uno de los atributos de la geósfera y por la variación sin exceso de los demás atributos que lo constituyen.

varias actividades económicas potenciales para un terreno, las características físicas naturales del terreno son apropiadas para solo un número más reducido de actividades económicas, lo cual es un indicador del nivel de inversión necesario para su adecuación. Por consiguiente, un cuidadoso análisis de la aptitud de las tierras generará las opciones más viables de aprovechamiento con el mínimo de inversión...”.

Para el modelo, se considera la totalidad de las actividades sectoriales sobre las cuales se define una serie de variables o características a evaluar en el proceso de ponderación de la aptitud del suelo; así, las principales son la pendiente topográfica, como factor de evaluación de la susceptibilidad del suelo a los agentes de erosión acelerada; el clima, que dictamina en gran medida las condiciones para el más eficiente comportamiento fisiológico de los organismos y su capacidad productiva, pero también de facilidades de bienestar y satisfactores intangibles en la actividad turística; la hidrología subterránea, que representa el vaso del cual se extrae una alta proporción de los recursos hídricos necesarios para el correcto funcionamiento de los esquemas productivos y de vida de las sociedades humanas (localidades o asentamientos humanos); áreas naturales protegidas que, por una parte, proveen de atractivos turísticos, pero que representan la política de protección de los recursos naturales y ecológicos de mayor importancia en el país y, por la otra, las facilidades de comunicación y flujo de insumos y productos; así como, por último, la tenencia de la tierra y los focos de crecimiento poblacional y de demandas por bienes y servicios.

En el caso de las UC, Crespo y Orellana (1999) definen a un conflicto ambiental como aquel donde la controversia de información, intereses o valores entre al menos dos grupos interdependientes se refiere a cuestiones relacionadas con el acceso, disponibilidad y calidad de los recursos naturales y de las condiciones ambientales del entorno, que afectan la calidad de vida de las personas y, además, son interdisciplinarias en su tratamiento por el impacto, no solo ambiental sino también social, económico, de salud, etcétera.

Según OLCA (1998), un conflicto ambiental surge con la presencia de varios elementos básicos, manifiestos, como: la presencia de un daño ambiental o posibilidad de daño demostrable; que existan personas en potencia afectadas (perciban o no el daño); que haya fundamentos legales o morales que permitan evitar, mitigar o reparar el daño; que se dé la posibilidad de reparar el daño ambiental; contar con la capacidad real o potencial de sostener el conflicto en el tiempo; tener conciencia de que un conflicto requiere de muchas acciones y de larga duración; además de que se tenga la posibilidad de sumar aliados y recursos a la causa propia.

Los conflictos que se tomaron en cuenta para el modelo son la fragilidad ambiental, la contaminación de suelo y riesgos.

En cuanto a las UUS, de acuerdo con Porta y Acevedo (2005), se definen como la utilidad o capacidad de un suelo de proporcionar bienestar, provecho, conveniencia, fruto, interés o satisfacción, haciendo referencia a bienes económicos (medibles en unidades monetarias) y no económicos (funciones ambientales, conservación de patrimonio cultural, etcétera).

El procedimiento en la elaboración de nuestro modelo consistió en la sobreposición de capas de los diversos usos de suelo presentes en el estado que se categorizaron de forma previa en seis unidades: ambientales, agropecuarias y forestales, industrial, corredores económicos, zonas urbanas y áreas históricas.

El resultado esperado del modelo muestra la combinación de usos de suelo presentes en el estado a través de un proceso de intersección espacial. La finalidad del MOT es proponer las formas de ocupación del territorio a largo plazo en la entidad, el cual se orienta, propiamente, como un modelo integrado de manera espacial, contemplando características del territorio en los ámbitos social, ambiental y económico, donde sus elementos representan una condición necesaria para poder ordenarlo.

## Metodología

Para la elaboración de las UTE, se correlacionaron fuentes, formatos, escalas y resoluciones necesariamente homologadas para su respectivo cálculo. La fuente en cada componente es la oficial, que proviene de datos de organismos como el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) y la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO); en este caso, en una conversión muy estricta a formato *raster*, de tal manera que se haya hecho posible la conjugación algebraica para la obtención de cada pre-UTE. La escala, a nivel estatal, fue la que definió el tamaño de pixel homologado a 30 m para los casi 248 mil kilómetros cuadrados de extensión territorial.

Con lo anterior, el objetivo es la construcción del MOT, buscando integrar en el espacio todas las características del territorio en los ámbitos social, ambiental y económico, por lo que los métodos se correlacionan en un sentido homologado de manera estricta. Para ello, se realizó una intersección espacial de la cartografía, respondiendo a criterios no precisamente administrativos, sino a una delimitación elaborada por una combinación única de cada una de esas características físicas, sociales y económicas (ver cuadro 1).

## Resultados de la integración territorial

En los siguientes apartados se muestran los que se obtuvieron para cada componente del esquema a partir de la generación de las UTE. Se presentan las formas de su hallazgo, así como un mapa que representa cada uno y su tabla respectiva de atributos con las distribuciones espaciales.

### Unidades de paisaje

Desde un punto de vista metodológico, estas se encuentran constituidas por dos grandes componentes: uno físico (estable) que normalmente define y describe la secuencia del conjunto roca-relieve-suelo y en la cual la tasa de cambio es muy baja, y otro dinámico, que describe el dominio bioclimático y de ocupación de suelo y que se caracteriza por una gran actividad que puede percibirse en varias escalas temporales distintas. Esto concuerda con las dimensiones física, holística y temporal consideradas en el concepto de paisaje (Mazzoni, 2014). Este tipo de análisis permite enriquecer los conocimientos sobre la distribución geográfica de los recursos naturales, de los ecosistemas y de su dinámica en el tiempo;

Cuadro 1

### Variables y criterios

Variable	Descripción	Criterio al que da cumplimiento
UTE	Unidades de paisaje	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Restricciones territoriales.</li> <li>• Conservación.</li> </ul>
	Unidades de aptitud del suelo	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Distribución geográfica de actividades económicas.</li> <li>• Flujos y redes de bienes, personas, servicios e información.</li> </ul>
	Unidades de conflicto	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Restricciones territoriales.</li> <li>• Conservación.</li> </ul>
	Unidades de uso de suelo	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Distribución geográfica de actividades económicas.</li> <li>• Restricciones territoriales.</li> <li>• Conservación.</li> </ul>
	Delimitación	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Crecimiento demográfico y modalidades del poblamiento.</li> <li>• Estructura territorial para la atención de las necesidades sociales.</li> </ul>

Fuente: elaboración propia, 2018.

comprender el nivel de tolerancia a los cambios que puede soportar un ecosistema gracias a sus niveles de plasticidad ecológica; así como identificar los potenciales productivos, riesgos y conflictos entre potencial y utilización del suelo (Bocco *et al.*, 2005). El objetivo de la construcción del modelo de UP es la comprensión del nivel de heterogenei-

dad a distintos niveles jerárquicos en función de la complejidad de la estructura del paisaje.

En Chihuahua se detectaron 829 UP, que revelan alta heterogeneidad espacial de paisajes, relacionados con alta diversidad ecosistémica y de recursos naturales. En el mapa 1 se resaltan algunos ejemplos.

Mapa 1

### Unidades de paisaje



Fuente: elaboración propia, 2018, con datos del INEGI, 2010.

## Unidades de aptitud del suelo

Existen varios sistemas de evaluación para determinar la aptitud; la elección del método depende mucho de los usos del suelo a ser considerados

en la planificación (Olivas-Gallegos *et al.*, 2007); en este apartado se muestra una formada por unidades de paisaje y los diferentes modelos de aptitud: forestal, pecuario, turismo, agrícola y temporal (ver mapa 2 y cuadro 2).

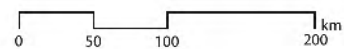
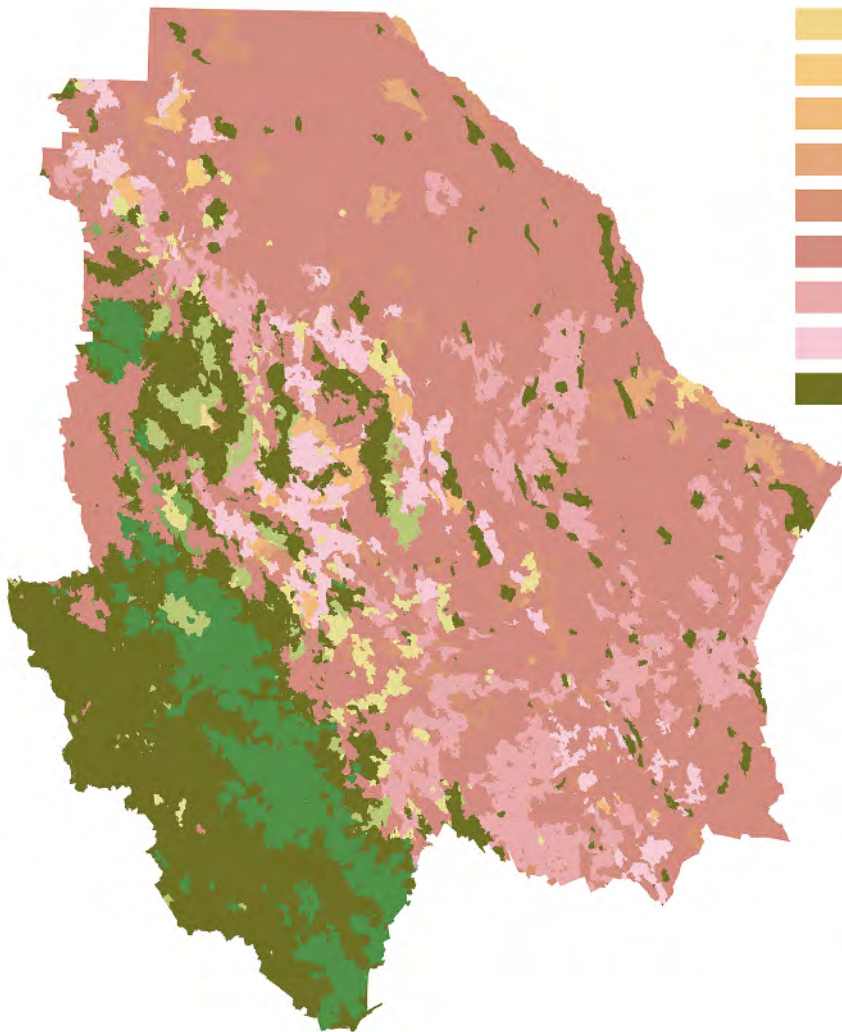
Mapa 2

### Aptitud del suelo

#### Simbología

#### Aptitud

- Alta para forestal
- Alta para turismo
- Moderada para forestal
- Moderada para turismo
- Alta para industria pesada
- Alta para industria ligera
- Alta para riego
- Alta para temporal
- Moderada para industria ligera
- Moderada para industria pesada
- Moderada para pecuario
- Moderada para riego
- Moderada para temporal
- Para forestal, turismo o agricultura



Fuente: elaboración propia, 2018, con datos del INEGI, 2010.

Cuadro 2

**Superficie por aptitud**

Aptitud	Superficie (ha)	Porcentaje
Moderada para pecuario	13 525 232.01	54.63
Alta para forestal	3 298 195.39	13.32
Moderada para riego	2 388 915.33	9.64
Moderada para forestal	2 137 133.41	8.63
Moderada para temporal	1 083 490.52	4.38
Moderada para industria pesada	765 293.95	3.09
Moderada para turismo	561 239.33	2.27
Alta para turismo	287 073.46	1.16
Moderada para industria ligera	254 955.15	1.03
Alta para temporal	225 891.41	0.91
Alta para industria pesada	188 667.64	0.76
Alta para industria ligera	22 205.33	0.09
Alta para riego	21 302.08	0.09
<b>Total</b>	<b>24 759 595.01</b>	<b>100.00</b>

Fuente: elaboración propia, 2018.

Como se puede ver, se encuentran áreas donde hay gran variedad de aptitudes de suelo. En la parte sur, en la Sierra Madre Occidental, se pueden observar las diferentes unidades, entre las que destacan lomeríos y colinas muy diseccionadas con una aptitud alta para lo forestal; también, en esa misma zona, existe aptitud alta para turismo y pecuario; en general, predomina la moderada del suelo pecuario con 54.63% del territorio y la alta forestal con 13.32 por ciento.

**Unidades de conflicto**

Para la elaboración del presente apartado, se utilizaron tres temáticas: fragilidad ambiental, contaminación de suelo y riesgos. Se comenzó con el desarrollo de un procedimiento con la información cartográfica sobre zonas con esa problemática para determinar el grado de los diversos riesgos

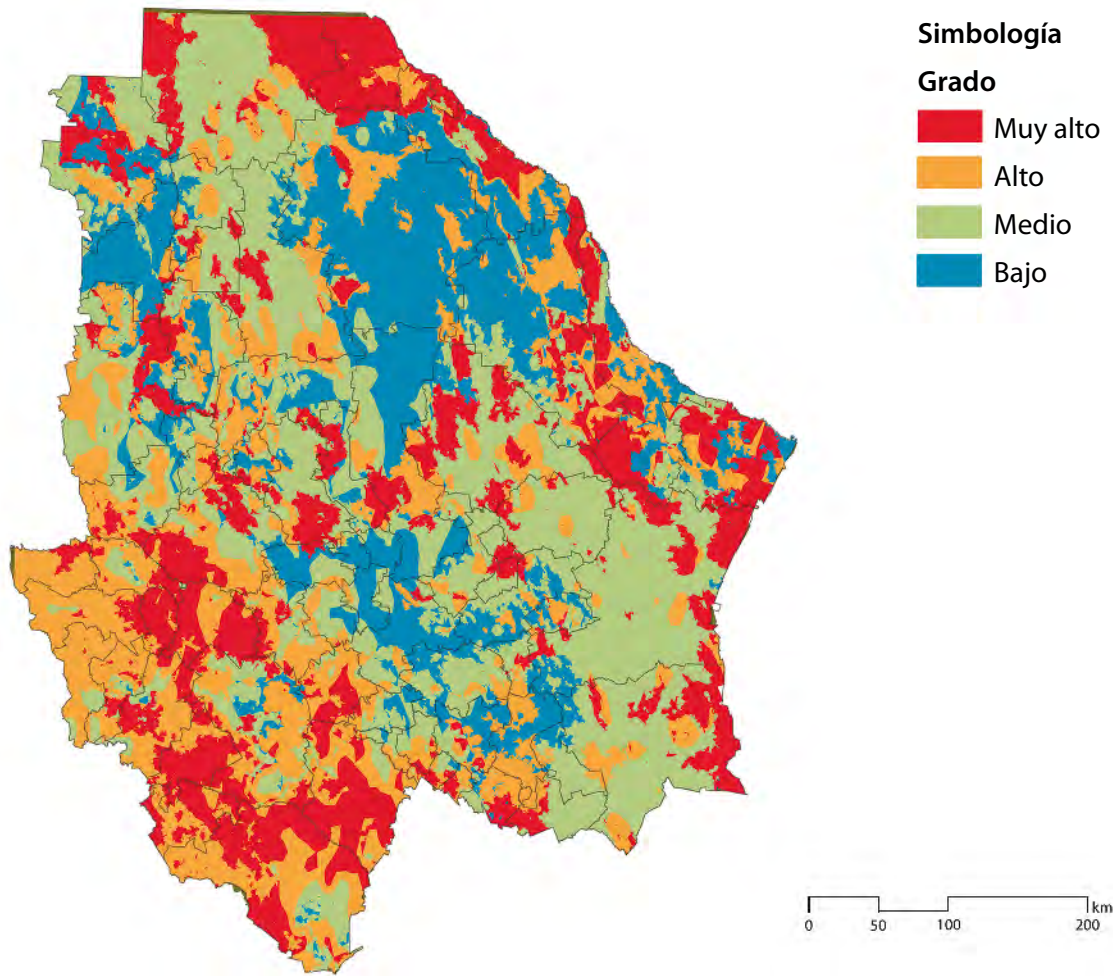
presentes en el estado; se realizó una intersección de derrumbes y caídas, flujos, inestabilidad de laderas, regionalización sísmica, zonas susceptibles a hundimientos, ciclones tropicales, granizo, heladas, inundaciones, lluvias, lluvias extremas, nevadas, ondas cálidas y sequías.

A partir de ello, se categorizaron en cuatro niveles: bajo (1), medio (2), alto (3) y muy alto (4). Después, se repitió el procedimiento con fragilidad ambiental y contaminación de suelo utilizando para este el cambio de uso de suelo por actividades agrícolas, ganaderas, industriales y sobreexplotación, asignándoles un nivel, según el grado que representaban. Al estar categorizadas de forma igualitaria, las tres temáticas se interseccionaron con las unidades de paisaje haciendo un cálculo que determinara el nivel de conflicto categorizado en uno de los cuatro niveles (ver mapa 3).



Mapa 3

## Unidades de conflicto



Fuente: elaboración propia, 2018, con datos del INEGI, 2010.

Las áreas que representaron los mayores niveles de conflicto en la entidad (color rojo) se concentraron sobre todo en las inmediaciones del río Bravo, así como en la zona de la Sierra Tarahumara, con un impacto notorio en las contigüidades a los dos municipios más importantes de la entidad, Juárez y Chihuahua.

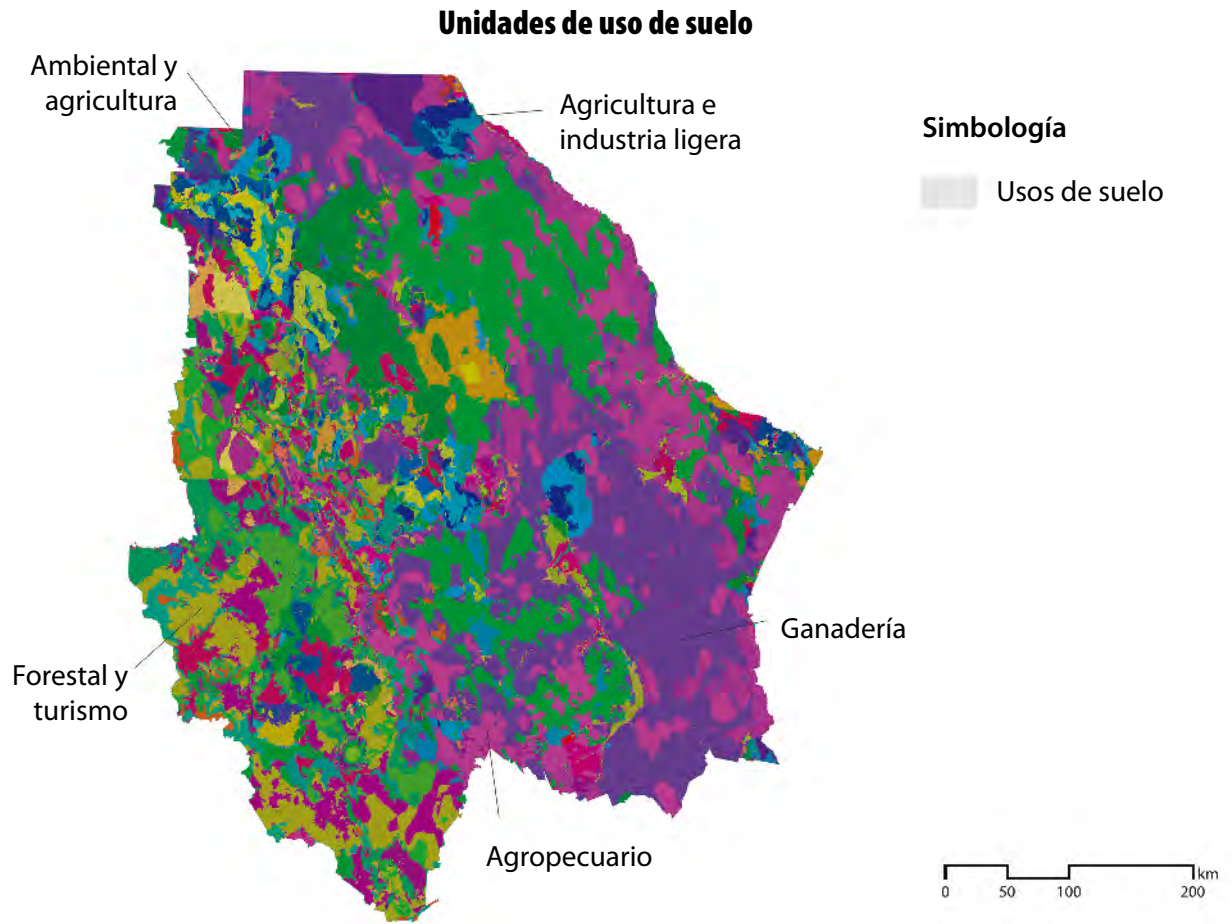
### Unidades de uso de suelo

A partir de la clasificación elaborada en la metodología, con las seis tipologías obtenidas se reali-

zó un procedimiento que arrojó como resultado el comportamiento de las UUS, en unión con las UP y UC, pudiendo determinar el uso y el grado de conflicto existente para cada una. El mapa 4 muestra el resultado de la combinación de usos de suelo presentes en el estado; de ahí se obtuvo una composición de 51 tipos, lo cual refleja la variedad del aprovechamiento del suelo en el estado.

Se obtuvieron en total 51 combinaciones de uso del suelo, predominando el ganadero, agrícola y forestal. El cuadro 3 muestra los usos del suelo por superficie y porcentaje del territorio estatal.

Mapa 4



Fuente: elaboración propia, 2018, con datos del INEGI, 2010.

Cuadro 3

Continúa

### Superficie por uso de suelo

Uso del suelo	Superficie (ha)	Porcentaje
Ganadería	4 966 595	20.06
Ambiental/forestal/agricultura/turismo	2 957 864	11.95
Ambiental/agricultura/ganadería	2 187 975	8.84
Agricultura	2 149 712	8.68
Ambiental/ganadería	1 583 078	6.38
Ambiental/forestal/agricultura/turismo/urbano	1 219 729	4.93
Agricultura/ganadería	1 189 139	4.80
Ambiental/forestal/turismo	703 444	2.84
Agricultura/urbano	674 356	2.72
Ambiental	670 235	2.71
Forestal/agricultura/turismo	639 153	2.58
Ambiental/agricultura	605 176	2.44
Forestal/turismo	591 768	2.39

### Superficie por uso de suelo

Uso del suelo	Superficie (ha)	Porcentaje
Ambiental/agricultura/ganadería/urbano	560 217	2.26
Agricultura/ganadería/urbano	534 992	2.16
Ambiental/agricultura/urbano	430 917	1.74
Forestal/agricultura	343 648	1.39
Otras combinaciones de usos del suelo	2 751 597	11.13
<b>Total</b>	<b>24 759 595</b>	<b>100.00</b>

Fuente: elaboración propia, 2017.

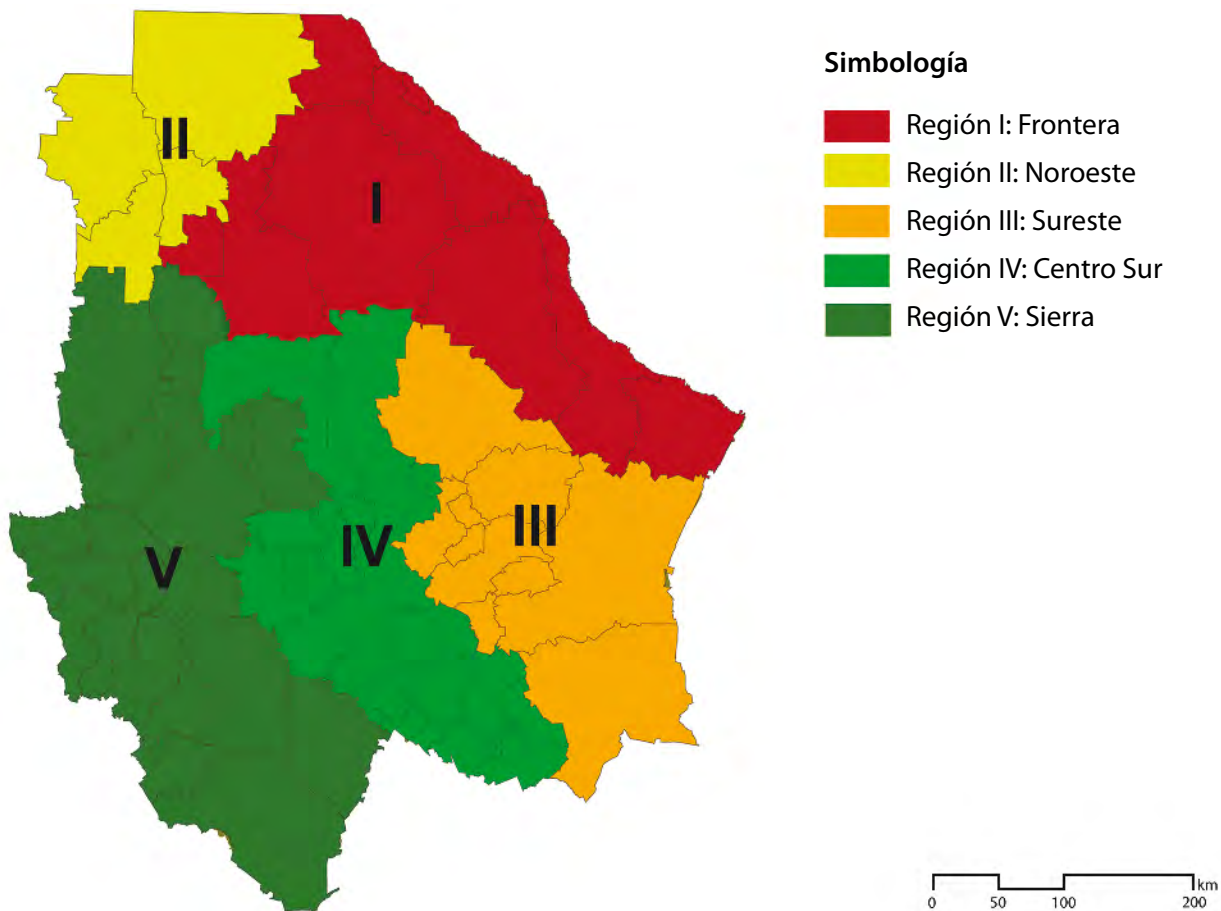
### Modelo de Ocupación Territorial

Se definió a partir de un aporte metodológico basado en zonas con similitud climática y aptitud pro-

ductiva debido a la complejidad de la formación particular del territorio chihuahuense, quedando subdividido el estado en cinco grandes regiones (ver mapa 5).

Mapa 5

### MOT por regiones



Fuente: elaboración propia, 2018, con datos del INEGI, 2010.

El cuadro 4 concentra, por región, la superficie y el porcentaje de ocupación en relación con el territorio estatal.

Considerando que la delimitación y su respectiva caracterización es por cada una de las UTE, en el cuadro 5 se muestra como resultado el resumen para cada región del MOT, incluyendo solo las características que se deben promediar.

Así, se constituyó un modelo de ocupación que, a la postre, formará el modelo práctico en torno a las políticas prioritarias particulares para cada porción del territorio; respecto a estas, para el caso de este en particular, el aporte estriba en la correlación de las variables de economía terciaria mu-

nicipal, como indicador de desarrollo económico (sobre todo en las ciudades), además de los grados de conflicto ambiental, los cuales ya fueron calculados para las UTE.

La organización de las políticas se realizó en cuatro subdivisiones estratégicas con una de atención prioritaria: impulso económico, consolidación estratégica, respaldo social y manejo ambiental.

En el caso de la primera, se consideró al territorio determinado por conflictos bajos y con actividades terciarias de alta magnitud, es decir, con las mejores condiciones para un desarrollo de acciones productivas en todos los niveles, respetando el entorno natural.

**Cuadro 4**

### Superficie por MOT

Regiones	Superficie (ha)	Porcentaje
I. Muy seca con interés pastoril	5 995 107.48	24.21
II. Seca con interés pastoril	2 667 785.57	10.77
III. Seca con interés pastoril y agrícola	4 571 101.96	18.46
IV. Semiseca con interés pastoril	4 402 853.55	17.79
V. Templada con interés forestal, minero y pastoril	7 122 746.44	28.77
<b>Total</b>	<b>24 759 595</b>	<b>100.00</b>

Fuente: elaboración propia, 2017.

**Cuadro 5**

### Delimitación por región del MOT

Nombre	Municipio principal	Municipios compartidos	Usos de suelo (predominante)	Aptitud	Conflictos	Población
Región I: Frontera	Juárez	9	Ganadero	Pastoril	Bajo	1 412 701
Región II: Noroeste	Nuevo Casas Grandes	4	Ganadero y ambiental	Pastoril	Medio y muy alto	104 852
Región III: Sureste	Delicias	10	Ganadero y agrícola	Pastoril y agrícola	Medio	355 111
Región IV: Centro Sur	Chihuahua	23	Ganadero y ambiental	Pastoril	Medio y alto	1 045 906
Región V: Sierra	Cauhtémoc	21	Forestal, turismo y ambiental	Forestal y minero	Alto y muy alto	487 895

Fuente: elaboración propia, 2017.

En cuanto a la segunda, se consideró al territorio con conflictos medios y con actividades terciarias medias, donde las labores productivas son propias y existen, pero se debe poner atención en mejorar las condiciones y evitar el deterioro.

El respaldo social se define por un conflicto territorial alto y una concentración de actividades terciarias baja, lo que implica una necesidad mayor de impulso para el desarrollo, enfocado a la comunidad, a los sectores más desprotegidos, buscando opciones de potencialidad mediante una gran inversión en política social.

Por último, la de manejo ambiental se ha constituido por los espacios con conflictos muy altos, aun teniendo actividades terciarias en cualquier nivel. Los grados de riesgos naturales o antropogénicos definen la prioridad en esta política.

En el cuadro 6 se resume la lógica de constitución del marco de políticas integrales para la elaboración del MOT de Chihuahua.

Las políticas por región se presentan en el mapa 6, como fin último del MOT.

Una de las ventajas de este MOT es que se puede utilizar con varias unidades espaciales (como cada uno de los 67 municipios de Chihuahua) o bien, con localidades rurales y urbanas o alguna región específica.

Por ejemplo, el municipio de Juárez, cuya economía es de bajas actividades terciarias y de buenas condiciones económicas para el desarrollo de sus actividades productivas, su política prioritaria debe dirigirse a un mejor manejo ambiental, aunque una parte requiere programas o políticas de respaldo social, como en el área de Samalayuca.

Es claro que gran parte de los municipios en el sur y suroeste del estado presentan conflicto territorial alto y concentración de actividades terciarias baja, implicando necesidades de impulso para el desarrollo, para las cuales se requiere la de respaldo social, como en el caso de Moris, Uruachi, Chinipas, Guazapares, Batopilas y Morelos, entre otros.

Municipios como Casas Grandes, Janos, Coyame del Sotol o el norte del de Chihuahua necesitan consolidación estratégica.

La de impulso económico es necesaria en áreas con buen potencial y aptitud de crecimiento, como en los municipios agrícolas o agroindustriales de Delicias, Camargo, Jiménez y Nuevo Casas Grandes.

Por último, es factible generar una tabla de políticas para el desarrollo requeridas por cada municipio, dadas sus particularidades, además de la capacidad de vinculación con las públicas y programas de inversión estatal, como resultado de estas políticas prioritarias del Modelo de Ocupación Territorial.

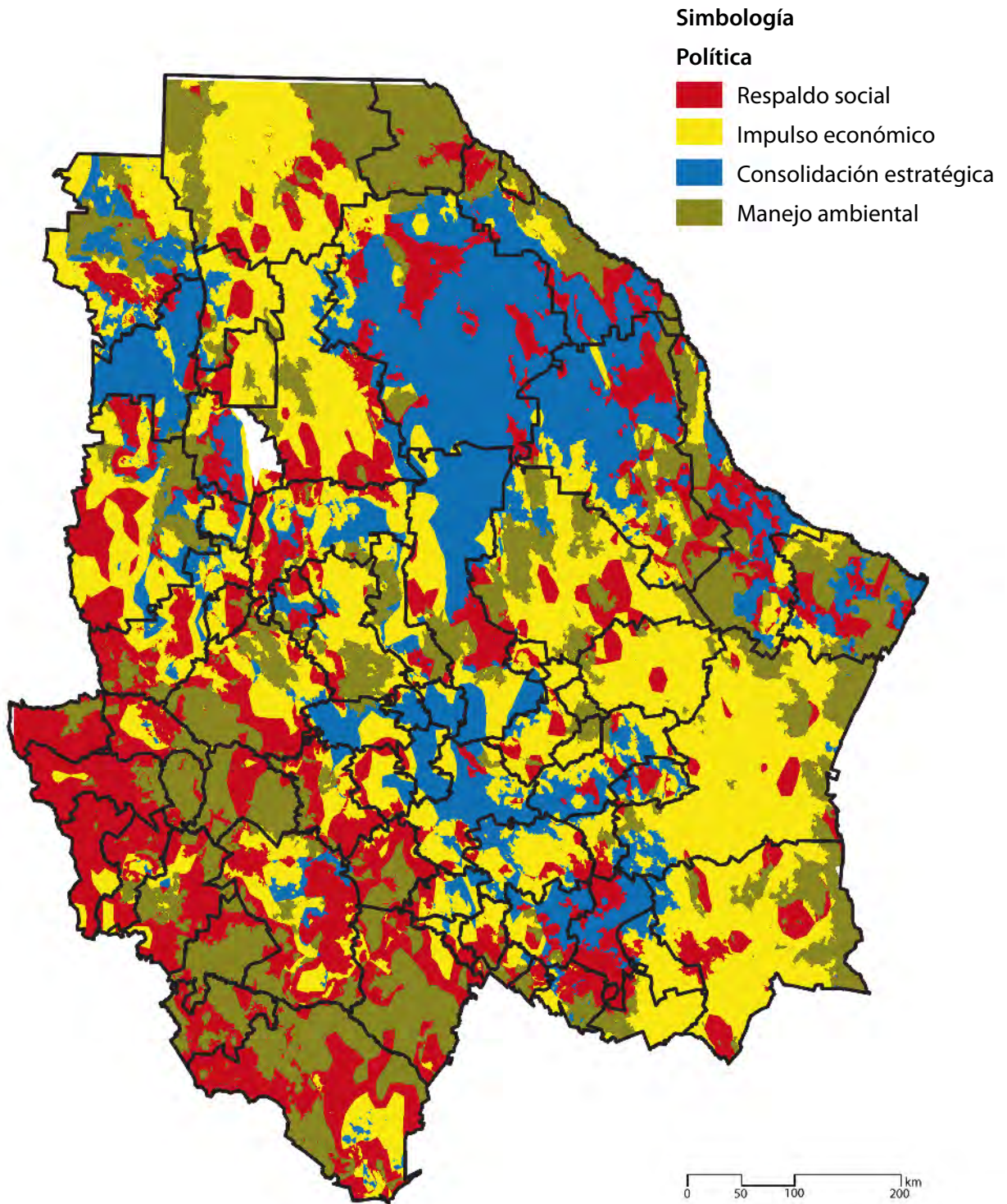
Cuadro 6

### Constitución de políticas integrales

Concentración de actividades terciarias				Política
Conflicto	Bajo	Medio	Alto	
Bajo			Impulso económico	
Medio		Consolidación estratégica		
Alto	Respaldo social			
Muy alto	Manejo ambiental			

Fuente: elaboración propia, 2017.

### MOT por políticas prioritarias



Fuente: elaboración propia, 2018, con datos del INEGI, 2010.

## Conclusiones

El proceso propuesto por la SEDATU para definir las UTE considera los criterios del territorio para la definición de políticas enfocadas en sus propias necesidades, que van más allá de un límite administrativo. En general, la guía técnica de la SEDATU resulta funcional para el ordenamiento territorial y es técnicamente factible considerarlo como un proceso y un instrumento de planificación, de carácter técnico-político-administrativo, con el que se puede configurar, en el mediano y largo plazo, una organización del uso y ocupación del territorio, acorde con las potencialidades y limitaciones de este, así como de las expectativas y aspiraciones de la población y los objetivos de desarrollo.

Los resultados nos muestran la gran heterogeneidad del componente natural del estado de Chihuahua que se refleja, por ejemplo, en las 829 diferentes unidades de paisaje y que engloba los componentes físicos, bioclimáticos, holísticos, temporales y de uso del suelo.

Los pasos siguientes que integran los usos de suelo y los conflictos nos sirven de base para la comprensión de la complejidad ecológica territorial y productiva del área de ordenamiento en Chihuahua con 67 divisiones municipales. Dada la extensa superficie estatal y los distintos niveles de heterogeneidad espacial y territorial, la definición de UTE resulta en un número muy significativo; sin embargo, se destaca que estas muestran congruencia espacial con las características o componentes del territorio, lo cual abre la posibilidad, en un esfuerzo futuro, de poder asociar mejor las UTE y simplificarlas en menos unidades en las que se puedan entender mejor las políticas aplicadas, y para que no resulte complejo el saber dónde ejercer las del MOT relativas a: impulso económico, consolidación estratégica, respaldo social y manejo ambiental.

El MOT que se definió por cinco grandes regiones parte sobre todo de las características ecológicas/productivas, de las cuales el clima y la aptitud productiva se consideraron como los principales

factores que representan la limitante fundamental para el desarrollo de las actividades productivas.

El objetivo del modelo que se plantea en las guías de referencia tiene como restricción las aportaciones que se deben hacer en el proceso participativo con diversos actores de la sociedad y sus instituciones, para no tomar solo como variables la información cartográfica existente que, de no llevarse a cabo de forma correcta y con el involucramiento debido, no mostrará la realidad del territorio. Aunado a este último punto, la capacidad institucional del Estado en términos de personal, departamentos y estructuras dentro del aparato de gobierno, con capacidad suficiente como para integrar este tipo de conceptos complejos para la toma de decisiones, ha sido una limitante natural del proyecto y que concuerda a nivel nacional con la falta de protocolización y seguimiento de los programas de ordenamiento del territorio.

Consideramos que la metodología propuesta en el MOT a nivel nacional y adaptado en esta investigación puede aplicarse de forma directa en la región fronteriza norte de México, donde existen seis estados, de tal manera que propicie la generación de una región de dominio alterna a otras estrategias institucionales, como las propuestas por la otrora COCEF que considera una extensión de 300 kilómetros al sur de la línea fronteriza con EE. UU., además de otras áreas delimitadas por cuencas hidrológicas en la frontera y manejadas por la Comisión Internacional de Límites y Aguas (CILA) y, por ende, territorios sujetos a acuerdos internacionales.

El MOT para la zona fronteriza nos aportará criterios para el ordenamiento del territorio con una filosofía de sustentabilidad, obedeciendo a políticas federales y políticas internacionales estipuladas por diversos organismos de carácter binacional.

## Fuentes

Bocco, G.; A. Priego y H. Cotler. "La geografía física y el ordenamiento ecológico del territorio", en: *Experiencias en México. Gaceta Ecológica*. México, 2005.

- Calderón, F. *Distrito turístico rural, un modelo teórico desde la perspectiva de la oferta*. México, 2015.
- Campos, L. *Entrada hecha con información del Reporte de UNICEF, Estado Mundial de la Infancia 2012*. León, Guanajuato, México, Fondo de las Naciones Unidas para la Infancia (UNICEF, por sus siglas en inglés), 2012.
- Consejo de Europa. *Convenio Europeo del Paisaje*. Florencia, 2000 (DE) [http://www.mma.es/secciones/desarrollo\\_territorial/paisaje\\_dt/convenio\\_paisaje/](http://www.mma.es/secciones/desarrollo_territorial/paisaje_dt/convenio_paisaje/)
- Crespo, C. y R. Orellana. *Conflictos ambientales: dos casos: agua y territorio*. The University of California, CERES, 1999.
- Hofstee, D. e I. Brussel. *Análisis de aptitud para la expansión urbana*. Colombia, 1999.
- FAO. *AQUASTAT*. FAO, 2015 (DE) [www.fao.org/aquastat](http://www.fao.org/aquastat)
- \_\_\_\_\_. *Evaluación de los recursos forestales mundiales*. Argentina, 2010.
- \_\_\_\_\_. "La evaluación de tierras para la agricultura de regadío", en: *Boletín de Suelos*. 55. México, FAO, 1999.
- Hinojos, G. *Identification des risques de perte de biodiversité face aux pressions anthropiques et au changement climatique a` l'horizon 2100. Risk Management*. French, Ecole Nationale Supérieure des Mines de Paris, 2014.
- INEGI. *Guía para la interpretación de cartografía uso de suelo y vegetación*. Serie III. Aguascalientes, INEGI, 2015.
- \_\_\_\_\_. *Guía para la interpretación de cartografía uso del suelo y vegetación escala 1:250 000. Serie III*. México, INEGI, 2009.
- \_\_\_\_\_. *Carta climática*. México, INEGI, 2010.
- Massiris, A. "Ordenación del territorio en América Latina", en: *Scripta Nova. Revista Electrónica de Geografía y Ciencias Sociales*. Vol. 6, núm. 125. Universidad de Barcelona, España, 2002.
- Mazzoni, E. "Unidades de paisaje como base para la organización y gestión territorial. Estudios Socio-territoriales", en: *Revista de Geografía*. Núm. 16, vol. 2. Jul.-dic. de 2014, pp. 51-81.
- Observatorio Latinoamericano de Conflictos Ambientales (OLCA). *Guía metodológica para la gestión comunitaria de conflictos ambientales*. Santiago de Chile, OLCA, 1998.
- Olivas-Gallegos, U. E.; J. R. Valdez-Lazalde; A. Aldrete y M. J. González-Guillén. "Áreas con aptitud para establecer plantaciones de maguey cenizo: definición mediante análisis multicriterio y SIG", en: *Revista Fitotecnia Mexicana*. 30(4), 2007, pp. 411-419.
- Porta, J. y M. Acevedo. *Agenda de campo de suelos*. Cataluña, España, 2005.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). *Ecosistemas terrestres*. México, 2009.
- Salinas, Evangelina (comp.). *El ordenamiento territorial: experiencias internacionales*. SEMARNAT, INE y UdG, Guadalajara, 2007.
- SEDATU, SEDUE Chihuahua, El Colegio de Chihuahua y Copladi. *Programa Estatal de Ordenamiento Territorial de Chihuahua 2014*. Chihuahua, 2015.
- SEDATU. *Guía metodológica para la elaboración de programas estatales de ordenamiento territorial*. Ciudad de México, 2013.
- Santé-Riveira, I.; M. Boullón-Magán; R. Crecente-Maseda and D. Miranda-Barrós. "Algorithm based on simulated annealing for land-use allocation", en: *Journal Computers & Geosciences*. 34. 2008, pp. 259-268.
- Serrano G., David. "Consideraciones en torno al concepto de unidad de paisaje y sistematización de propuestas", en: *Estudios Geográficos*. Vol. LXXIII, 272. Enero-junio de 2012, pp. 215-237.
- Troitiño, M. V. *Ordenación del territorio y desarrollo territorial: la construcción de las geografías del futuro*. México, DF, SEMARNAT, 2007.



# Deformaciones superficiales

por los sismos de gran magnitud recientes en México detectadas mediante técnicas satelitales

## Surface Deformations

Caused by the Latest Major Earthquakes in Mexico  
Detected by Means of Satellite Techniques

Rubén Esquivel Ramírez, Rosío Ramírez Contreras  
y Francisco Javier Huerta Juárez\*

\* Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), ruben.esquivel@inegi.org.mx, rosio.ramirez@inegi.org.mx y javier.huerta@inegi.org.mx, respectivamente.

Aftermath of Earthquake in Mexico/Anadolu Agency/Getty Images



Los sismos, sobre todo los de gran magnitud ocurridos en México (como los del 7 y 19 de septiembre de 2017 y el del 16 de febrero de 2018), afectan diversos aspectos de nuestro entorno. En este trabajo se describe la forma en que la tecnología de posicionamiento satelital contribuye para cuantificar cambios en el medio físico con información que permite medir, de manera precisa y con un enfoque geodésico, los desplazamientos que producen en la superficie estos movimientos y otros fenómenos naturales y/o antropogénicos. También, se aborda la aplicación de la interferometría con imágenes de radar de apertura sintética para complementar la cuantificación de los desplazamientos ocurridos por los eventos sísmicos mencionados. El seguimiento a las deformaciones del terreno por terremotos de gran magnitud y por otros sucesos se han realizado desde el 2010 en el Instituto Nacional de Estadística y Geografía con el objetivo de mantener la exactitud de las estaciones horizontales que integran el Marco de Referencia Geodésico.

**Palabras clave:** sismos; GNSS; geodesia; red geodésica; marco de referencia; interferometría SAR; Sentinel-1.

Recibido: 7 de enero de 2019.

Aceptado: 10 de septiembre de 2019.

## Introducción

Las pérdidas humanas y el gran costo económico por el daño o colapso de estructuras causados por los movimientos del terreno asociados a los sismos de gran magnitud han motivado que se realicen diversos estudios: algunos de ellos para entender la naturaleza de sus causas y sus efectos, y otros con el objetivo de prevenir o minimizar daños en infraestructura y vivienda que, junto con medidas de prevención y alerta, han contribuido a reducir tanto las pérdidas humanas como las económicas en los países en los que se tiene una alta actividad sísmica.

Los grandes desplazamientos (que no se perciben a simple vista, a menos que tras el evento afloran o se magnifiquen fallas geológicas) son, también, efectos inmediatos de un sismo que, junto con

Earthquakes, especially major ones as those occurred on September 7<sup>th</sup> and 19<sup>th</sup> in 2017, and in February 16<sup>th</sup> in 2018 in Mexico, affect diverse aspects of our environment. This paper describes how GNSS (Global Navigation Satellite Systems) technology contributes to quantify changes in the physical environment through information that allows to measure, in a precise way and with a geodetic point of view, the displacements on the surface produced by earthquakes and other natural or anthropogenic phenomena. It also addresses the application of SAR interferometry (synthetic aperture radar interferometry) to complement the quantification of displacements caused by the above mentioned earthquakes. Monitoring of land deformations caused by large earthquakes and other phenomena, has been carried out by INEGI since 2010 with the aim of maintaining the accuracy of the horizontal stations of the Geodetic Reference Frame in Mexico.

**Key words:** Earthquakes; GNSS; Geodesy; Geodetic network; Reference frame; SAR interferometry; Sentinel-1.

otros fenómenos y con el transcurso del tiempo, van dando forma al relieve que percibimos en la superficie de la corteza terrestre.

A mediados del siglo pasado, observaciones geológicas, geofísicas y sismológicas dieron origen a la teoría de tectónica de placas, que describe el mecanismo de los movimientos e interacciones entre placas de corteza continentales y oceánicas que dan origen a los sismos y otros efectos (como el vulcanismo) en la superficie de la Tierra.

En la actualidad, las técnicas satelitales, como los sistemas satelitales de navegación global (GNSS, por sus siglas en inglés)<sup>1</sup> permiten medir de manera precisa los movimientos que ocurren

<sup>1</sup> Se refiere a las diferentes constelaciones satelitales (como GPS, GLONASS y GALILEO) que proporcionan servicios de posicionamiento y navegación.

por estos fenómenos. En el 2010, con el establecimiento de un nuevo marco de referencia oficial para México y tras el sismo en Mexicali el 4 de abril de ese año con magnitud 7.2, se inició un seguimiento a las deformaciones que producen estos seísmos de gran magnitud con el objetivo de aplicar las correcciones necesarias para que la propagación de coordenadas en dicho marco, a partir de las estaciones de la Red Geodésica Horizontal —que es parte de la Red Geodésica Nacional Pasiva (RGNP) del INEGI—, se pueda efectuar con la exactitud adecuada, de acuerdo con la normatividad vigente.

En este trabajo se describen, de manera general, las deformaciones más significativas que afectan al territorio mexicano y se presentan los resultados del procesamiento y análisis de información GNSS, así como imágenes de radar de apertura sintética (SAR, por sus siglas en inglés), para detectar, cuantificar y modelar los desplazamientos del terreno provocados por los sismos que ocurrieron en México en el 2017 y 2018.

## Sismicidad en el territorio mexicano

La considerable actividad sísmica en México se debe a las interacciones entre las placas tectónicas en las que se encuentra situado el territorio del país o que inciden sobre este. Las zonas en las que se presentan estas interacciones y que, en consecuencia, es donde se originan la mayoría de los sismos, son parte del llamado *Cinturón de Fuego del Pacífico*.

Aunque la alta actividad sísmica se desarrolla a lo largo de la costa del Pacífico mexicano, las regiones que históricamente representan mayor riesgo para la ciudadanía y en las que se manifiestan desplazamientos significativos son la de los estados en las costas sur y occidente (desde Chiapas hasta Nayarit, y cuyos efectos se extienden hacia el centro del país, es decir, a Puebla, México, Morelos y la Ciudad de México, sobre todo) y la región noroeste, con mayores efectos al norte de Baja California y noroeste de Sonora.

La forma en que se da la interacción entre placas es diferente en ambas regiones: mientras que en la noroeste el movimiento lateral entre la del Pacífico y la Norteamericana (ver mapa 1) genera un sistema de fallas transformantes de desgarre, en la sur se presenta una subducción de la de Cocos en la Norteamericana y, de manera adicional, un efecto de la placa del Caribe. Estas interacciones condicionan la dirección de los desplazamientos que ocurren con los sismos de gran magnitud.

Si bien día a día ocurre gran cantidad de sismos en México, la mayoría de ellos son de una intensidad imperceptible o se perciben de forma ligera de manera local en las cercanías de su epicentro. Los de gran magnitud, que causan cuantiosas pérdidas económicas y, en ocasiones, también humanas, históricamente son menos frecuentes. De acuerdo con el Servicio Sismológico Nacional (SSN),<sup>2</sup> en el periodo 2000-2009 solo se registró uno, en el 2003, de 7.6 grados con epicentro cerca de la costa de Colima, mientras que del 2010 a la fecha han ocurrido siete (ver mapa 2); los primeros cuatro entre el 2010 y 2016, y los tres más recientes dentro de un lapso de menos de seis meses: dos en septiembre del 2017 y el último en febrero del 2018.

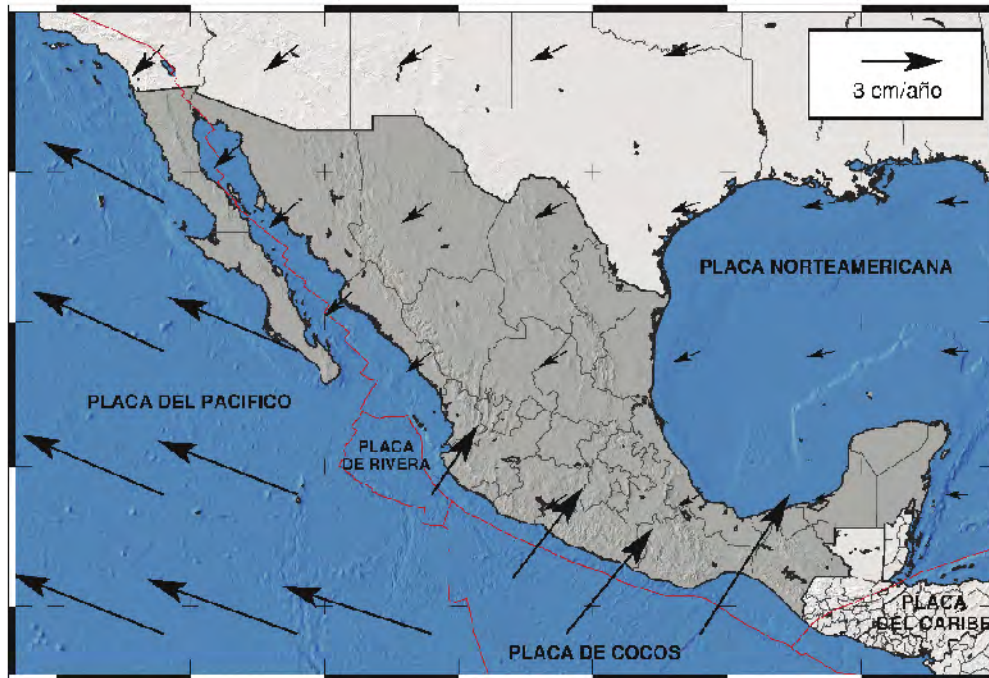
## Redes GNSS y coordenadas precisas

El desarrollo de las técnicas satelitales en las décadas más recientes propició grandes avances en la geodesia, de manera que, en la actualidad, el estudio de la Tierra no se limita a su forma y dimensiones, sino que se determinan también, con detalle, los cambios que experimenta con el tiempo. Por su diversidad de aplicaciones, la técnica GNSS (mediante sus constelaciones satelitales cada vez más amplias y su aprovechamiento a través de redes de estaciones permanentes en el mundo) es la que mayor desarrollo ha tenido y que ha beneficiado enormemente a esta ciencia. De entre sus aplicaciones está el desarrollo del marco de referencia

<sup>2</sup> <http://www.ssn.unam.mx/>

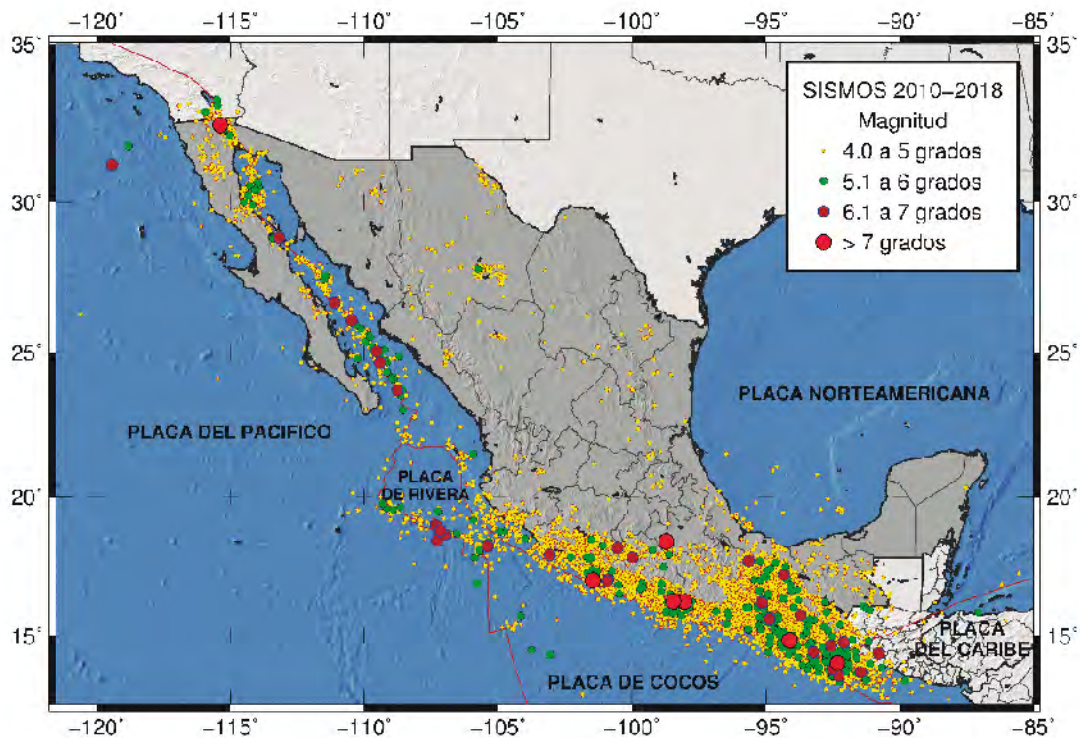
Mapa 1

### Situación de México en las placas tectónicas y su desplazamiento general



Mapa 2

### Sismos de magnitud mayor a 4 grados del 2010 al 2018



Fuente: Servicio Sismológico Nacional.

global (ITRF, por sus siglas en inglés),<sup>3</sup> en sus diferentes y cada vez más exactas realizaciones que, además de que es la base para la georreferencia de la cartografía y los proyectos de ingeniería de muchos países, es primordial para diversos estudios de fenómenos sobre el planeta.

En México se cuenta con redes de estaciones GNSS permanentes que proporcionan los datos para el acceso público, como la Red Geodésica Nacional Activa (RGNA),<sup>4</sup> PBO,<sup>5</sup> COCONet<sup>6</sup> y TLALOCNet,<sup>7</sup> que fueron establecidas para fines geodésicos, atmosféricos y/o geofísicos. En las

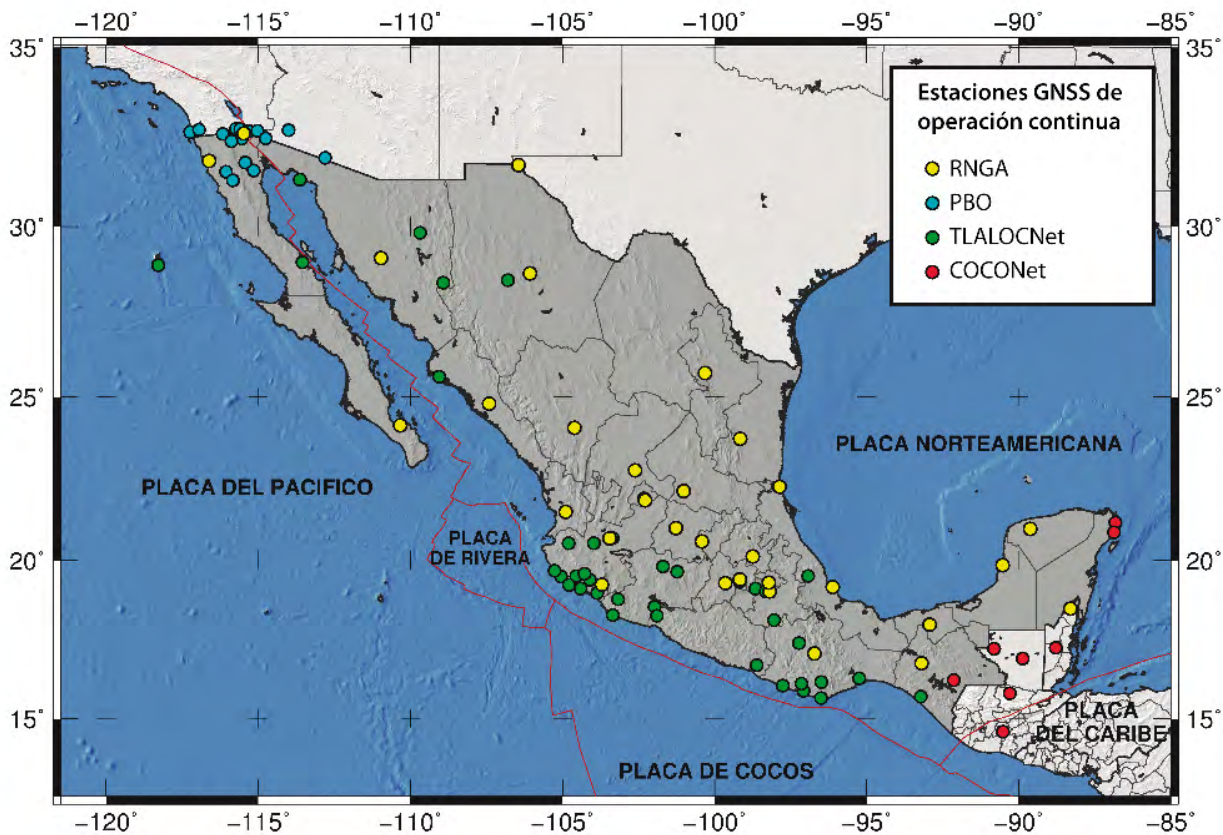
estaciones, cuya distribución actual se muestra en el mapa 3, se cuenta con equipos de tipo geodésico con capacidad de recepción de la señal que emiten en diferentes frecuencias o bandas los satélites GPS y de otras constelaciones satelitales, como GLONASS, Galileo o Beidou.

Mediante el procesamiento de las observaciones de la fase de las señales GNSS recabadas por receptores geodésicos en las estaciones permanentes, se eliminan o reducen errores propios de los GNSS (como los atmosféricos, de órbita, de reloj del satélite y del receptor) para tanto corregir las *pseudodistancias* estimadas entre el receptor y los satélites como determinar, así, las coordenadas de cada estación con exactitudes de algunos centímetros o hasta milímetros, dependiendo de la cantidad de observaciones y de la técnica de procesamiento utilizada.

3 International Terrestrial Reference Frame, <http://itrf.ensg.ign.fr/>  
 4 [https://www.inegi.org.mx/temas/geodesia\\_activa/default.html#Mapa](https://www.inegi.org.mx/temas/geodesia_activa/default.html#Mapa)  
 5 Plate Boundary Observatory, <http://www.unavco.org/projects/major-projects/pbo/pbo.html>  
 6 Continuously Operating Caribbean GPS Observational Network, <http://coconet.unavco.org/>  
 7 <http://cardi.geofisica.unam.mx/tlalocnet/>

Mapa 3

### Estaciones GNSS de operación continua



## Aseguramiento de la exactitud de la Red Geodésica Nacional

La Norma Técnica de Estándares de Exactitud Posicional<sup>8</sup> establece el orden de exactitud que deben cumplir las estaciones de la Red Geodésica Nacional, que es de 5 cm para las coordenadas de estaciones de la RGNA y de 10 para las de densificación básica de la RGNP, que se determinan con respecto al nuevo marco de referencia ITRF2008 época 2010.0, establecido como oficial para México en diciembre del 2010. Dadas las exactitudes que ofrecen en la actualidad las técnicas de posicionamiento GNSS, estas resultan muy fáciles de alcanzar en regiones donde no se presentan deformaciones diferenciales. Sin embargo, la subducción de la placa oceánica de Cocos por debajo de la Norteamericana provoca que parte del territorio en la región sur de México tenga deformaciones acumulativas distintas a los desplazamientos propios de esta última (ver mapa 1).

8 Diario Oficial de la Federación (DOF). México, DF, 23 de diciembre de 2010.

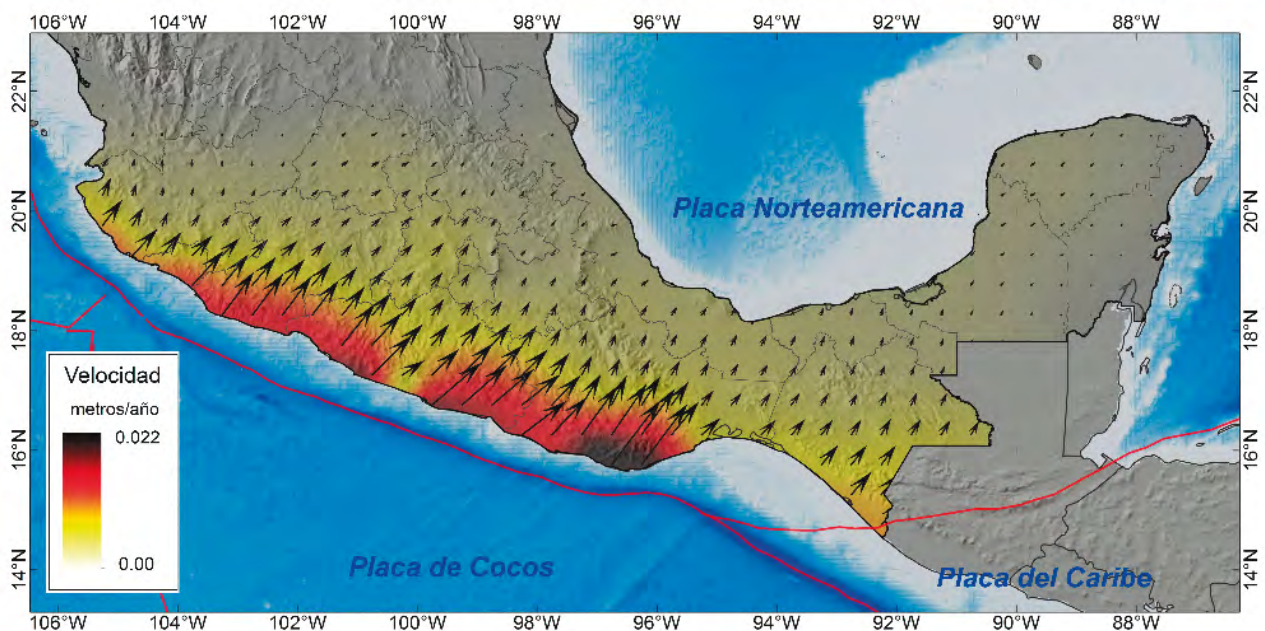
La velocidad de las deformaciones diferenciales con respecto a la placa Norteamericana en la región sur del territorio (ver mapa 4) fue determinada en el 2015 con base en el cálculo y análisis de las velocidades que se observaron en estaciones GNSS permanentes con más de 2.5 años de operación; las velocidades de cada una se calcularon a partir de coordenadas de soluciones diarias o semanales; en el caso de estaciones permanentes con variaciones en las coordenadas, provocadas por eventos de gran magnitud, se omitieron los periodos afectados por desplazamientos cosísmicos y postsísmicos.

Dada la escasez de estaciones en algunas zonas, en este cálculo inicial se consideraron velocidades de diferentes periodos de datos, las cuales se refinarán con datos más recientes de las estaciones ya contempladas y se complementarán con los de nuevas disponibles.

De manera similar, se elaboró un modelo regional de velocidades en la zona de deformación entre las placas Norteamericana y del Pacífico en la región noroeste de México, donde la interacción

Mapa 4

### Velocidades con respecto al desplazamiento general de la placa Norteamericana



entre ambas produce un sistema de fallas y deformaciones complejas. Además de ellas —que ocurren de manera continua—, las que suceden con los sismos de gran magnitud afectan también la consistencia de la Red Geodésica Horizontal; es por ello que, para minimizar errores en las coordenadas de nuevos levantamientos, es necesario estimar los desplazamientos superficiales que provocan los movimientos telúricos.<sup>9</sup>

## Desplazamientos por sismo a partir de soluciones GNSS

Contar con observaciones continuas en las estaciones geodésicas permite dar seguimiento a las variaciones de sus coordenadas y estimar velocidades que describen su desplazamiento en el tiempo con respecto a un marco de referencia determinado. De igual manera, cuando ocurre un sismo, las variaciones en sus coordenadas reflejan los desplazamientos cosísmicos (ocurridos durante el evento principal), así como de los que pudieran desarrollarse posteriormente al temblor (postsísmicos), asociados a réplicas o a reajustes de la corteza, pero que están relacionados con el evento principal.

En la figura 1 se observan los efectos que provocaron los tres sismos de magnitud mayor a 7 grados en el 2017 y 2018 para las componentes este y norte de cuatro de las estaciones GNSS permanentes (OXTH, TNNX, OXUM y TNCY); la localización de los epicentros se presenta en el mapa adjunto, al igual que la ubicación de las cuatro estaciones de las que se muestran sus series de tiempo. En cada gráfica están representadas con líneas verticales las fechas en las que ocurrieron los sismos: la color naranja corresponde al evento del 7 de septiembre de 2017; la gris, al del 19 de septiembre y la vertical verde, al de febrero del 2018.

Tras los eventos sísmicos principales, en ocasiones se observa que, de forma casi inmediata, el terreno continúa desplazándose en la misma di-

rección que lo hacía antes del sismo, como ocurrió después del acaecido el 7 de septiembre, de acuerdo con lo que indican las series de tiempo de las estaciones en la figura 1. Sin embargo, en otros casos, como en el de febrero del 2018, ocurren desplazamientos postsísmicos que pueden presentarse durante semanas o meses, hasta que el terreno vuelve a desplazarse de manera normal.

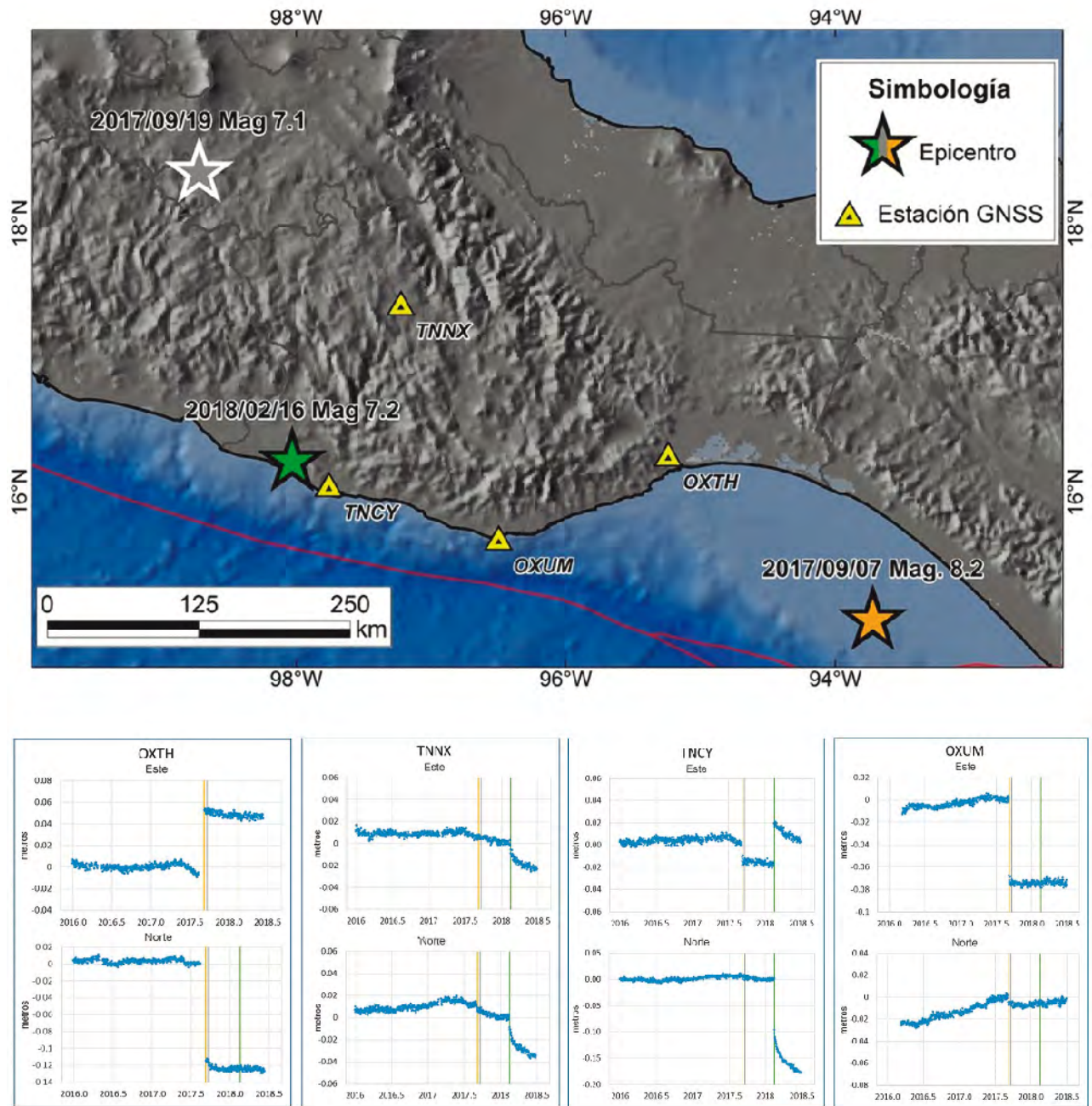
Las series de tiempo de coordenadas de las estaciones permanentes se construyen a partir de las soluciones diarias que se obtienen del procesamiento de los datos GPS o GNSS recabados en cada estación; las de las cuatro que están en la figura 1, en específico, se elaboraron con base en las soluciones disponibles en el sitio del Laboratorio Geodésico de Nevada (NGL, por sus siglas en inglés). A partir de las posiciones antes y después del sismo se calcula el desplazamiento total ocurrido en las estaciones, incluyendo, en su caso, los movimientos postsísmicos. Después de cada evento se identificaron, con base en los mapas de intensidad del temblor, las estaciones GNSS permanentes ubicadas en la región afectada, incluyendo las de regiones aledañas que pudieron registrar algún desplazamiento o en las que es necesario corroborar que permanecieron estables.

Otra fuente de información son las estaciones de la RGNP ubicadas en las zonas de mayor deformación que, de contar con mediciones GNSS recientes (previas al sismo) en modo estático, con posicionamiento mínimo de dos horas en cada estación usando receptores GNSS geodésicos, pueden ser reposicionadas para estimar su desplazamiento, aunque, en este caso, el error asociado a los movimientos obtenidos puede llegar a varios centímetros. En el mapa 5 se representan los desplazamientos (calculados en estaciones GNSS permanentes de las redes TLALOCNet, RGNA y Oaxaca GPS Network) y en algunas estaciones de la RGNP que se observaron por el sismo del 7 de septiembre de 2017, con epicentro al sur de las costas de Chiapas; la magnitud y dirección de los vectores en el mapa representan tanto los desplazamientos cosísmicos como los postsísmicos. Hay diferentes versiones sobre los límites entre placas tectónicas que,

<sup>9</sup> Para ahondar sobre cómo se reducen los efectos de los desplazamientos del terreno en las coordenadas en época 2010.0 de nuevas estaciones geodésicas, ver INEGI, 2016.

Figura 1

### Efecto de los tres sismos fuertes más recientes en las series de tiempo de cuatro de las estaciones GNSS permanentes



**Nota:** las líneas verticales en las series de tiempo indican la fecha en que ocurrieron los sismos, cuyos epicentros se muestran en el mapa.

**Fuentes:** soluciones diarias publicadas por Nevada Geodetic Laboratory (Blewitt *et al.*, 2018), con datos de estaciones de las redes TLALOCNet y Oaxaca GPS Network (DeMets, Ch. y E. Cabral-Cano, 2008).

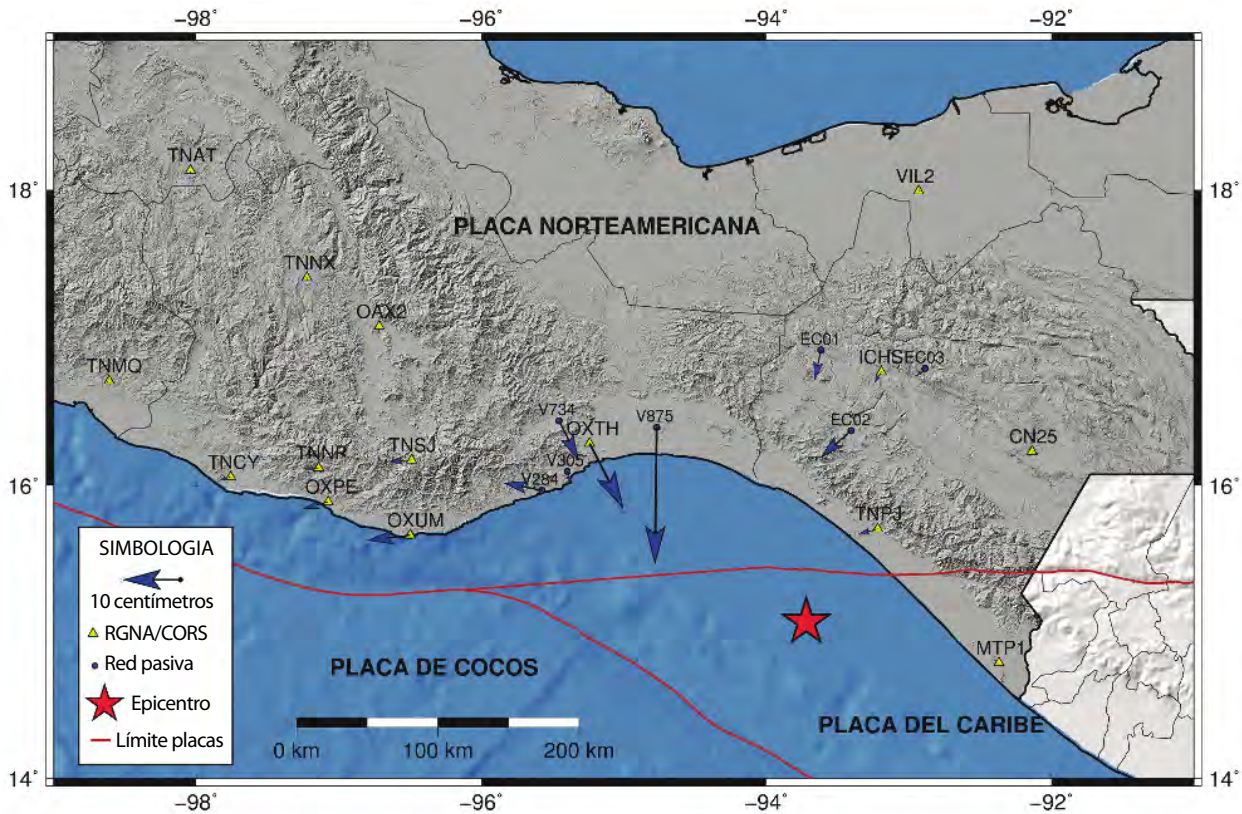
en lo que se refiere al territorio mexicano, difieren sobre todo en la descripción del límite de la placa del Caribe con la Norteamericana y la de Cocos. En los mapas subsiguientes, el representado es el

descrito por Bird (2003). Para la elaboración de los mapas en este documento, además de *software* GIS comercial, se utilizó el *Generic Mapping Toolbox (GMT)*, desarrollado por Wessel *et al.*, 2013.



Mapa 5

### Desplazamientos en las estaciones geodésicas por el sismo del 7 de septiembre de 2017



**Fuente:** los desplazamientos se calcularon a partir de soluciones diarias publicadas por Nevada Geodetic Laboratory (Blewitt et al., 2018) con datos de estaciones de las redes TIALOCNet, Oaxaca GPS Network, COCONet y Wide Area Augmentation System (WAAS) y a partir del procesamiento de datos GNSS de estaciones de la RGNA y de la RGNP del INEGI.

### Estimación de los desplazamientos mediante interferometría SAR

A diferencia de las imágenes ópticas, las de radar proporcionan información de la escena sin verse afectadas por condiciones de nubosidad e iluminación, ya que desde la misma plataforma se emite la señal que, luego de ser retrodispersada por los elementos en la escena (superficie cubierta por la imagen), se registra por medio de la antena del sensor. Esta forma de adquisición permite obtener la cobertura total de la escena, sin huecos, indistintamente del horario y bajo cualquier condición climática. En los sistemas SAR, la señal retrodispersada se procesa para obtener una mayor resolución que en los sistemas de radar comunes.

De manera similar al posicionamiento GNSS, en la técnica de interferometría SAR (InSAR) se explo-

ta la fase de la señal detectada, en este caso, para calcular las variaciones en la distancia suelo-satélite; para ello, se requiere el procesamiento de dos imágenes adquiridas desde diferentes posiciones del sensor. Una variante de la InSAR es la interferometría diferencial SAR (DInSAR), en la que el par de imágenes que se procesan, más que ser captadas desde diferente posición, deben obtenerse en fechas diferentes para que, una vez removida la componente topográfica en las diferencias de fase, se obtengan los desplazamientos que sucedieron en la escena durante el tiempo que transcurrió entre la fecha de adquisición de ambas.

Debido a la geometría de adquisición de las imágenes SAR satelitales (ver figura 2), que emiten y registran la señal radar mediante observación lateral de la escena —por lo general hacia la derecha con respecto a la dirección de su órbita *cuasi-po-*

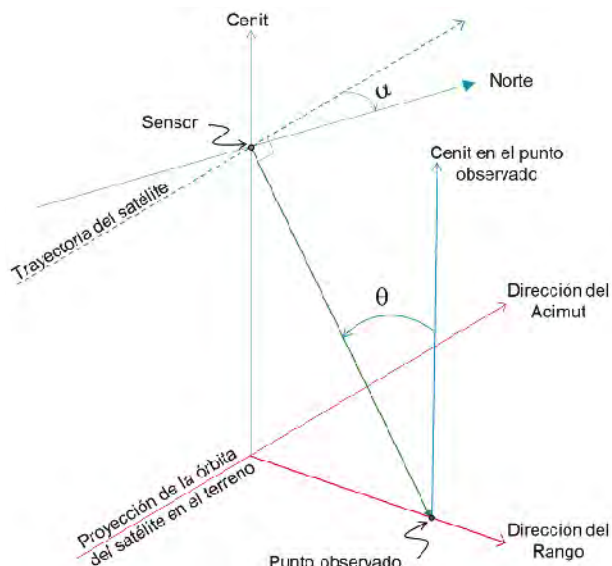
lar, que describe un ángulo ( $\alpha$ ) de alrededor de  $10^\circ$  con respecto al norte—, los desplazamientos que se detectan mediante DInSAR son los que ocurren en dirección perpendicular a la trayectoria del satélite (dirección LOS por *Line of Sight*) por lo que, para una misma escena, los desplazamientos se observan con diferente magnitud y sentido, lo cual depende de si el par de imágenes fue adquirido en órbita del sensor ascendente o descendente.

La proyección en dirección LOS ( $d_{LOS}$ ) del desplazamiento espacial en sus componentes norte ( $d_n$ ), este ( $d_e$ ) y vertical ( $d_v$ ) es determinado (Jo *et al.*, 2017) por los ángulos de la órbita ( $\alpha$ ) y el de incidencia ( $\theta$ ):

$$d_{LOS} = d_v \cos \theta - \text{seno } \theta (d_n \text{ seno } \alpha + d_e \cos \alpha)$$

Figura 2

### Geometría de adquisición de imágenes SAR satelitales en modo ascendente



Si bien desde hace tres décadas existen sensores SAR satelitales, a nivel mundial solo en algunas regiones se contaba con la adquisición sistemática de imágenes que permitían realizar estudios de deformaciones en casos de sismo. Con el lanzamiento del sensor *Sentinel-1* del programa *Copernicus*<sup>10</sup>

<sup>10</sup> <https://scihub.copernicus.eu/>

a finales del 2014, se ha facilitado la realización de estos estudios gracias a la amplia cobertura y disponibilidad de imágenes SAR de esta plataforma.

Con el objetivo de complementar la información de los desplazamientos ocurridos por los sismos en zonas no cubiertas por estaciones GNSS, sobre todo en áreas con mayor deformación, se efectuó el procesamiento DInSAR de pares de imágenes SAR *Sentinel-1*. Los pares interferométricos se formaron con tomas previas y posteriores a cada sismo, adquiridas en órbitas tanto ascendentes como descendentes de la plataforma y fueron procesados mediante el programa *Sentinel Application Platform (SNAP)*<sup>11</sup> de la Agencia Espacial Europea (ESA, por sus siglas en inglés). En el mapa 6 (a y b) se muestran desplazamientos en dirección a la ubicación del satélite (LOS) observados mediante pares de imágenes *Sentinel-1* modo IW en ambas órbitas para el sismo del 7 de septiembre de 2017.

La geometría de adquisición de las imágenes SAR satelitales hace a la técnica DInSAR muy sensible a los desplazamientos verticales, así como a los horizontales en dirección del rango (ver figura 2). Para la obtención de movimientos horizontales en dirección este y norte se requiere contar con imágenes en diferentes geometrías de adquisición; sin embargo, aun combinando resultados de imágenes en ambas órbitas, los desplazamientos en dirección norte resultan mucho menos exactos que los que ocurren en la este (Wright *et al.*, 2004; Liu *et al.*, 2007). En el mapa 7 están representados los desplazamientos horizontales estimados a partir de los resultados del procesamiento DInSAR en órbita ascendente y descendente (a), así como los correspondientes al evento del 16 de febrero de 2018 (b).

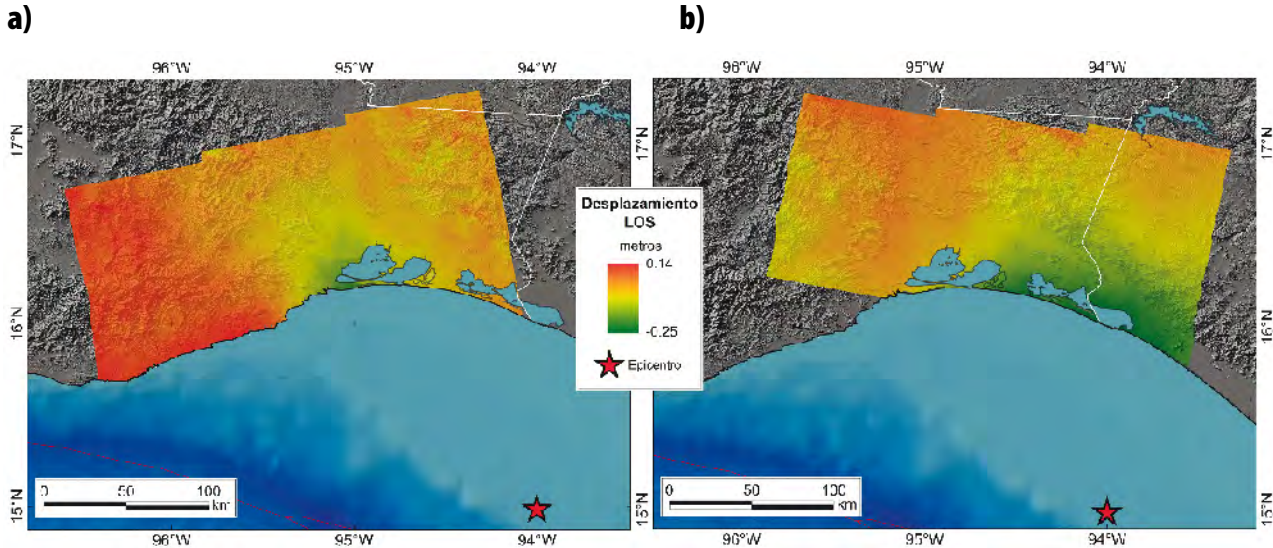
En la aplicación de la técnica DInSAR se pueden obtener inconsistencias por pérdida de correlación o coherencia en zonas que presentan variaciones en las propiedades reflectantes debido, entre otros posibles factores, a cambios en la vegetación y/o contenido de humedad del suelo, como los que se presentan en áreas de cultivo. Aunque una de las

<sup>11</sup> <http://step.esa.int/main/toolboxes/snap/>

ventajas de las imágenes SAR es que son poco afectadas por condiciones de nubosidad, las variaciones atmosféricas entre las fechas de adquisición de cada imagen que forma el par interferométrico pueden también afectar los valores de fase en los productos, lo que puede resultar en cálculos erróneos de desplazamientos en zonas con marcados cambios atmosféricos, por lo que los movimientos calculados mediante

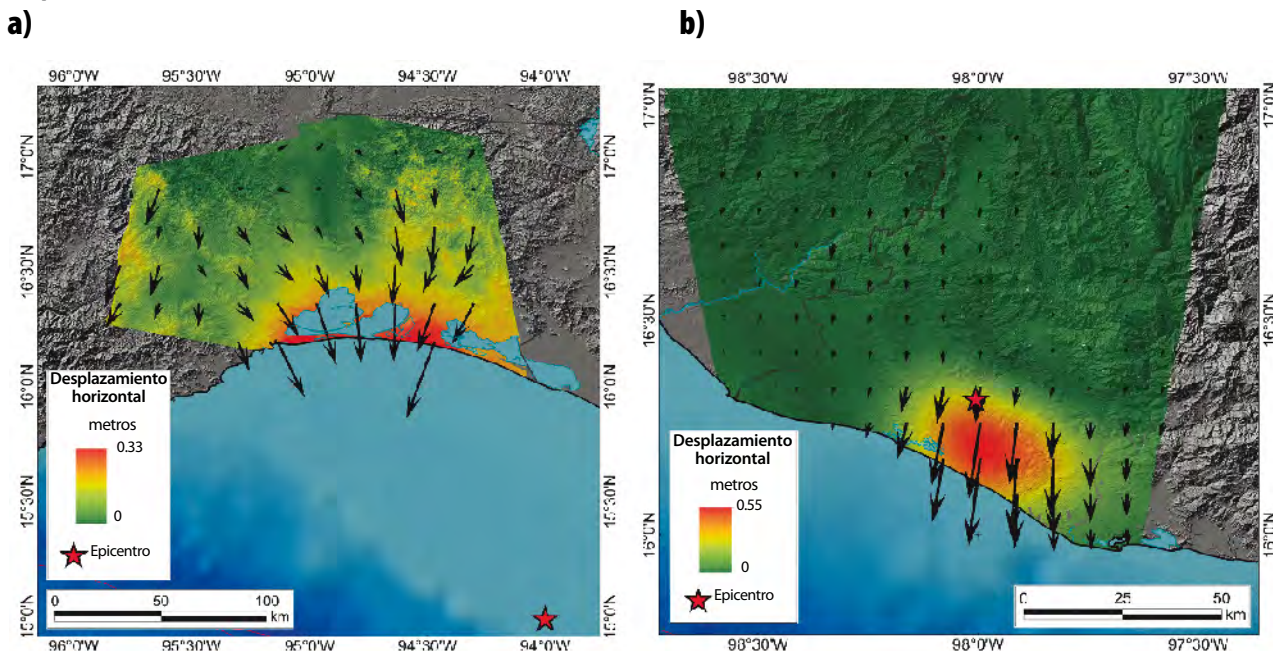
interferometría SAR deben ser validados por medio de las observaciones geodésicas con GNSS. En los resultados del procesamiento DInSAR de las imágenes con cobertura del sismo del 7 de septiembre (a del mapa 7), el ruido en la fase de los interferogramas se tradujo en errores en los desplazamientos al noroeste y al noreste de la cobertura obtenida de la intersección de las imágenes ascendentes y descendentes.

Mapa 6



Desplazamientos en la dirección de observación (LOS) del sensor Sentinel-1 obtenidos con la técnica DInSAR para el sismo del 7 de septiembre de 2017 usando imágenes en órbita ascendente con fechas 2017-09-03 y 2017-09-15 (a) y descendente con fechas 2017-09-07 y 2017-09-13 (b).

Mapa 7



Desplazamientos horizontales estimados a partir de resultados DInSAR usando imágenes Sentinel-1 para los sismos del 7 de septiembre de 2017 (a) y del 16 de febrero de 2018 (b). Para este último se utilizaron las imágenes ascendentes con fecha 2018-02-05 y 2018-03-07 y descendentes con fecha 2018-02-14 y 2018-03-10.

## Desplazamientos por los sismos recientes

7 de septiembre de 2017

Con magnitud de 8.2 grados, este sismo, con epicentro al sur de la costa de Chiapas, fue el más fuerte que se haya registrado en México en varias décadas; por ello, aunque el origen se ubicó a más de 100 kilómetros del litoral, sus efectos se sintieron en gran parte del territorio mexicano. La devastación que ocurrió en localidades de las regiones sureste de Oaxaca y suroeste de Chiapas se manifestó también en cambios de posición de varias estaciones GNSS permanentes, incluso en algunas ubicadas hasta cientos de kilómetros del epicentro.

De las estaciones GNSS que mostraron afectación por este sismo, en OXTH, a 211 kilómetros del origen, se observó un desplazamiento de 8 cm con dirección sur-sureste y en TNCY, a unos 450 kilómetros, de 2 cm hacia el oeste, lo cual se puede observar en el mapa 5 y en las series de tiempo de la figura 1. En la estación de la RGNP (identificada como V875 en ese mismo mapa),

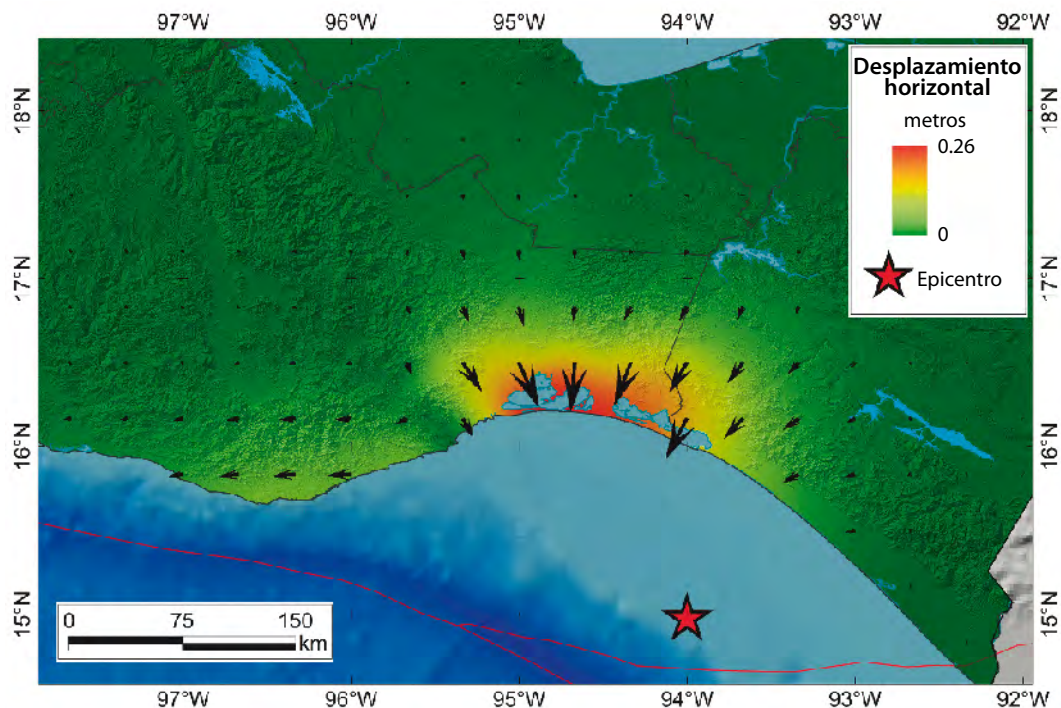
que fue reobservada después del sismo, se registró un desplazamiento de 25 cm hacia el sur.

Los resultados del procesamiento de imágenes SAR se utilizaron como referencia para identificar el alcance de los deslizamientos más significativos y para complementar observaciones de desplazamiento en zonas con poca cobertura de estaciones GNSS, con lo que se estimaron los movimientos horizontales en toda la región (ver mapa 8) mediante interpolación de las observaciones puntuales con el método *Spline* (Smith and Wessel, 1990). Después, se generaron mallas regulares que se incorporaron a los modelos de velocidades regionales y a los de desplazamientos por sismos de gran magnitud previos, para minimizar errores en las coordenadas ITRF2008 época 2010.0 que se obtienen de los levantamientos GNSS de estaciones de la Red Geodésica Nacional Pasiva.

Del análisis de información geodésica para cuantificar las deformaciones por los terremotos ocurridos en México del 2010 a la fecha, los desplazamientos verticales que se han detectado han

Mapa 8

### Desplazamientos horizontales por el sismo del 7 de septiembre de 2017



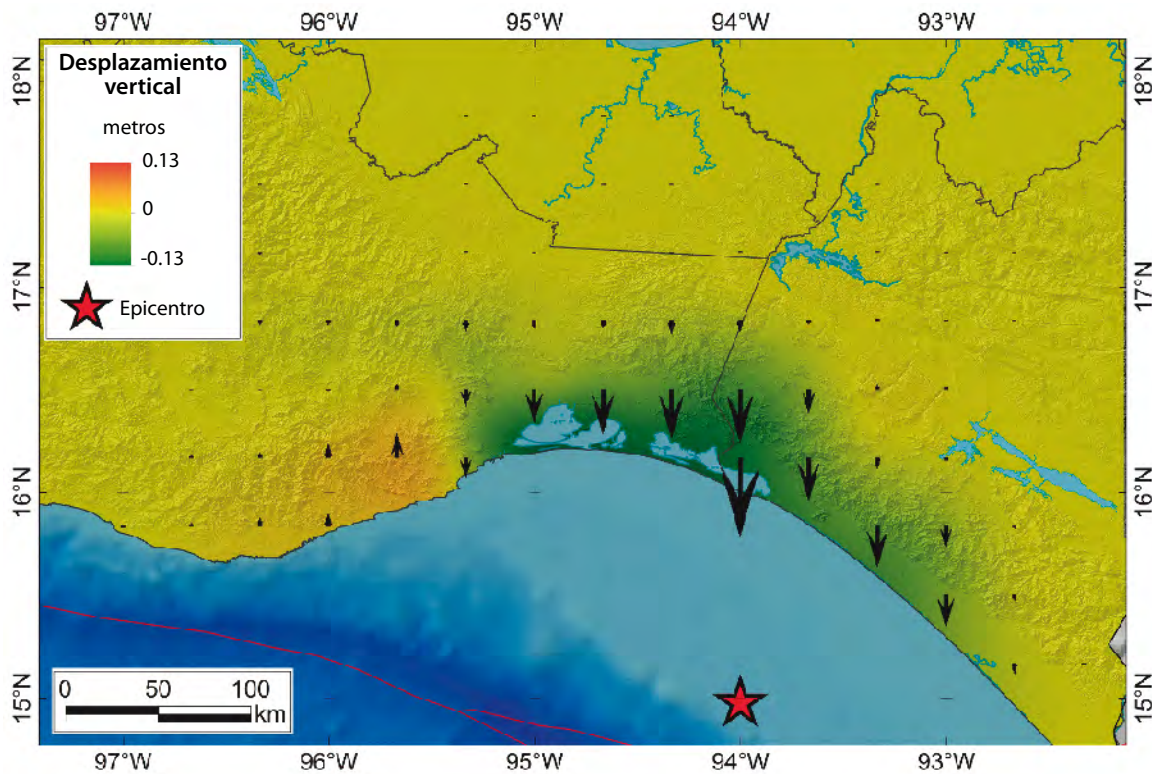
sido de menor magnitud que los horizontales. El hecho de que la técnica GNSS proporcione menor exactitud en el posicionamiento vertical que en el horizontal —y la escasez de estaciones geodésicas— hacían complicada la estimación de los movimientos en dirección vertical tras los eventos sísmicos previos. Ahora, con el aumento en la cantidad de estaciones GNSS y la disponibilidad de imágenes SAR, para los temblores recientes fue posible una estimación de los desplazamientos verticales; en el mapa 9 se muestran los asociados al sismo del 7 de septiembre de 2017.

observó un desplazamiento máximo de solo 4 centímetros. Las observaciones GNSS se complementaron con el cálculo de desplazamientos mediante la técnica DInSAR con imágenes *Sentinel-1* en la zona del epicentro, al suroeste de Puebla, para detectar y cuantificar los desplazamientos horizontales (ver mapa 10) y verticales (ver mapa 11) ocasionados por el sismo.

La magnitud de estas deformaciones superficiales y la extensión territorial que afectaron no se consideran significativas para comprometer

Mapa 9

### Desplazamientos verticales por el sismo del 7 de septiembre de 2017



*19 de septiembre de 2017*

A pesar de los cuantiosos daños que provocó este sismo en los estados de Puebla, Morelos, México y la Ciudad de México, los desplazamientos que se registraron en las estaciones GNSS permanentes ubicadas en esa región fueron menores a 1 cm, y de la remediación de estaciones de la RGNP con receptores GNSS geodésicos en modo estático se

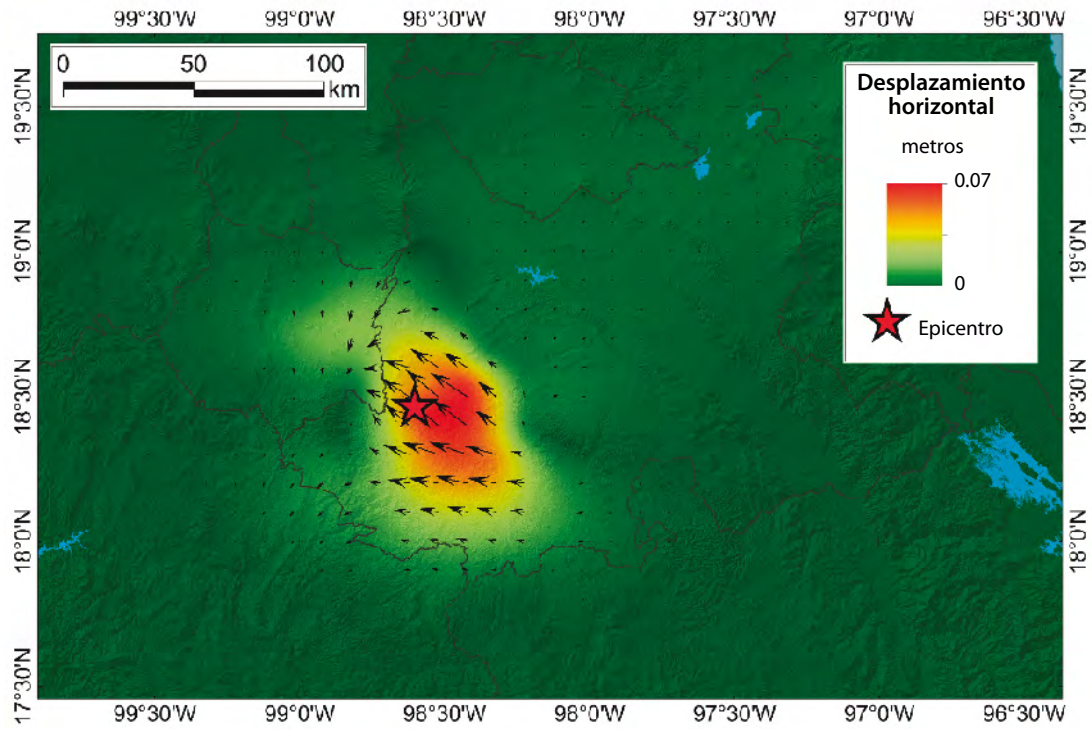
el cumplimiento de los estándares de exactitud de nuevas estaciones de la Red Geodésica Nacional.

*16 de febrero de 2018 al suroeste de Oaxaca*

La estación permanente más cercana a su epicentro (TNCY) registró un desplazamiento de 18 cm hacia el sur-sureste, (ver serie de tiempo en la

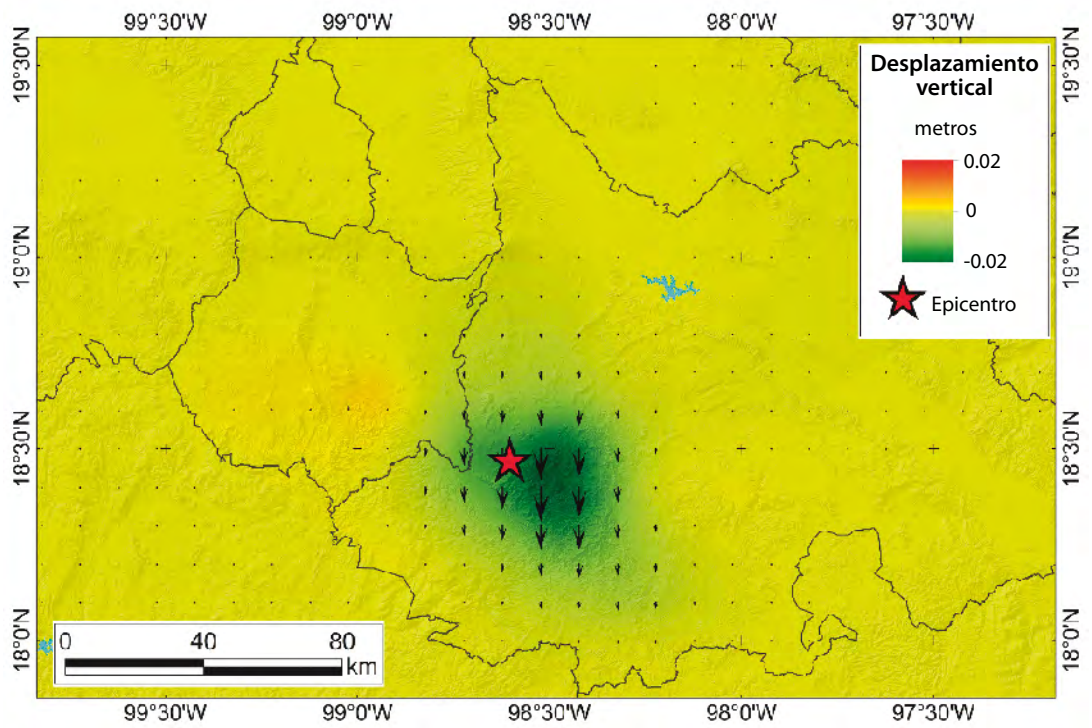
Mapa 10

### Desplazamientos horizontales por el sismo del 19 de septiembre de 2017



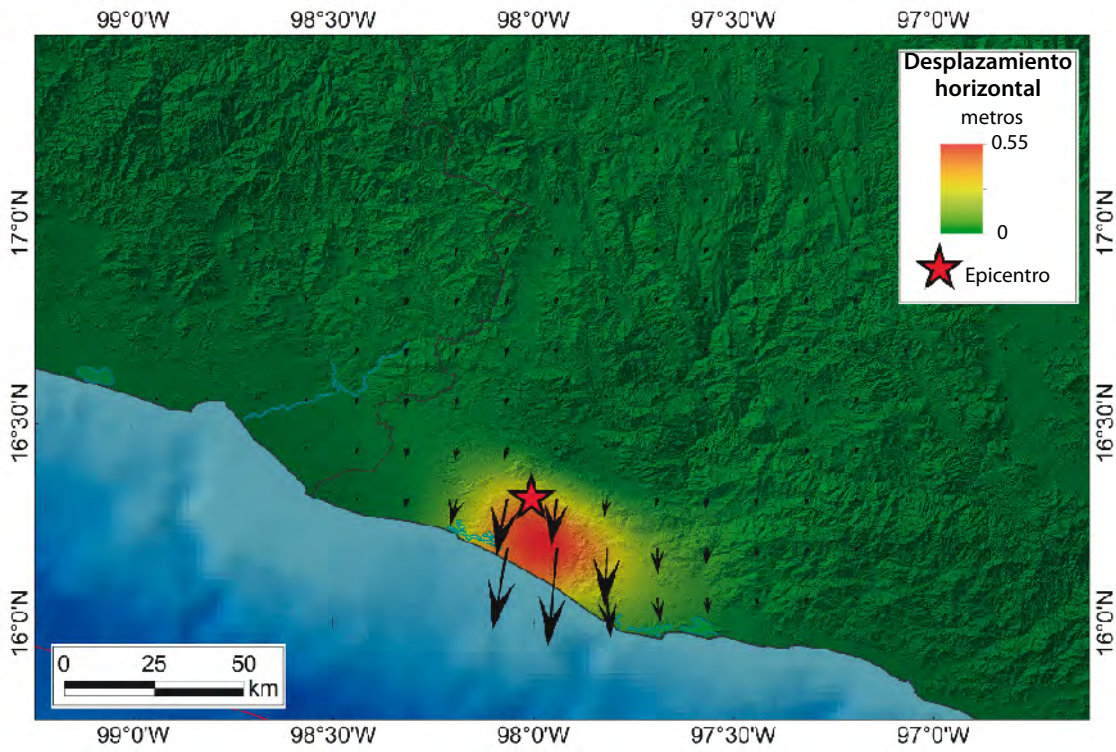
Mapa 11

### Desplazamientos verticales por el sismo del 19 de septiembre de 2017



Mapa 12

### Desplazamientos horizontales por el sismo del 16 de febrero de 2018



Mapa 13

### Desplazamientos verticales por el sismo del 16 de febrero de 2018

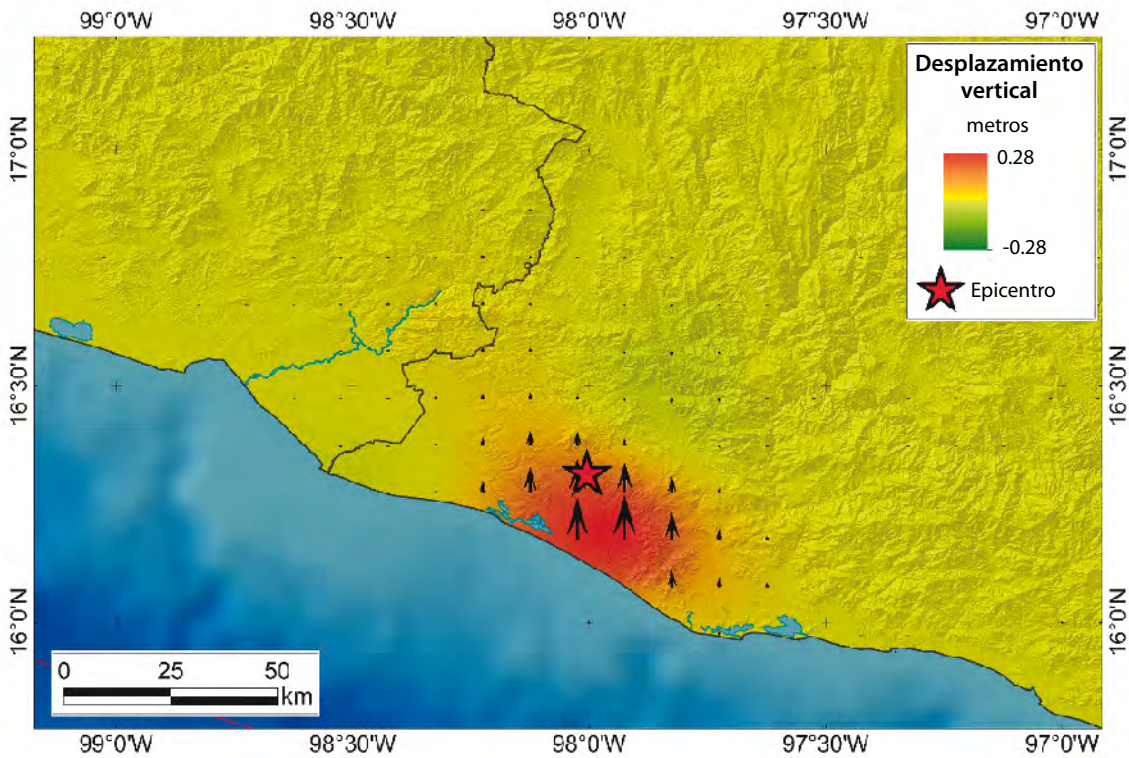


figura 1), incluyendo el deslizamiento postsísmico asociado a este mismo evento, que tuvo una magnitud de 7.2 grados; sin embargo, de los resultados del procesamiento DInSAR (b del mapa 7) se estimaron movimientos máximos de alrededor de 50 cm al sur del epicentro. Mediante la combinación de los resultados de ambas técnicas satelitales, se obtuvo un modelo de los desplazamientos en toda la región, de la cual, en el mapa 12 se muestra solo la zona más afectada, al suroeste de Oaxaca y sureste de Guerrero.

Por la escala de los desplazamientos máximos en el mapa 12, los de magnitud menor a 5 cm pierden notoriedad; sin embargo, en estaciones permanentes a más de 100 kilómetros al norte del epicentro, al sur del estado de Puebla, así como en la ciudad de Oaxaca, se registraron movimientos del orden de 2 cm ocasionados por este sismo. De las estaciones GNSS solo se registró un desplazamiento vertical significativo en la estación TNCY, de 7 cm hacia arriba, por lo que la estimación de los deslizamientos verticales plasmados en el mapa 13 se realizó sobre todo de las observaciones SAR.

## Conclusiones

La cuantificación (mediante técnicas satelitales GNSS y DInSAR) de los desplazamientos superficiales ocasionados por los sismos permite identificar los efectos en el marco de referencia geodésico e implementar modelos para mantener la calidad de la Red Geodésica Nacional, de acuerdo con las especificaciones de las normas técnicas.

El orden de exactitud de milímetros que proporcionan las estaciones GNSS permanentes en el cálculo de los desplazamientos horizontales se complementa con la cobertura que proporcionan las imágenes SAR, en especial en las zonas de mayor afectación y donde ocurren deslizamientos del orden de decímetros. Contar con información SAR en esas zonas, aunque no se tenga la exactitud que proporcionan las estaciones GNSS, representa un insumo relevante para complementar los modelos.

El hecho de que cada vez se cuente con más estaciones GNSS y nuevos sensores SAR satelitales con-

tribuye a que se disponga de mayor información para identificar los efectos de nuevos sismos en cuanto al alcance de la región afectada por desplazamientos superficiales, así como su magnitud y dirección. Sin embargo, aún se tienen algunas zonas, como en Guerrero y en el Istmo de Tehuantepec, donde no se cuenta con estaciones GNSS que se puedan utilizar para apoyar estas aplicaciones.

## Fuentes

- Bird, P. "An updated digital model of plate boundaries", en: *Geochemistry Geophysics Geosystems*. 4(3), 2003, p. 1027 (DE) [http://peterbird.name/publications/2003\\_PB2002/2003\\_PB2002.htm](http://peterbird.name/publications/2003_PB2002/2003_PB2002.htm)
- Blewitt, G.; W. C. Hammond y C. Kreemer. "Harnessing the GPS Data Explosion for Interdisciplinary Science", en: *EOS, Earth and Space Science News*. Vol. 99. Washington, DC, USA, American Geophysical Union, 2018 (DE) <https://eos.org/science-updates/harnessing-the-gps-data-explosion-for-interdisciplinary-science> y <https://doi.org/10.1029/2018EO104623>, consultados el 26 de octubre de 2018.
- DeMets, Ch. and E. Cabral-Cano. *Oaxaca GPS Network-OXTH-Tehuantepec*. P. S. UNAVCO, Inc., GPS/GNSS Observations Dataset, 2008 (DE) <https://doi.org/10.7283/TSQ81B5V>
- INEGI. *Procesamiento de datos GPS considerando deformaciones del marco geodésico en el tiempo. Procedimiento para la minimización de errores debido a la deformación del marco de referencia ITRF*. Aguascalientes, México, INEGI, 2016 (DE) <https://www.inegi.org.mx/temas/gnss/default.html#Publicaciones>
- Jo, M. J.; H. S. Jung and S. H. Yun. "Retrieving Precise Three-Dimensional Deformation on the 2014 m6.0 South Napa Earthquake by Joint Inversion of Multi-Sensor SAR", en: *Scientific Reports*. Vol. 7, 2017, p. 5485 (DE) <https://www.nature.com/articles/s41598-017-06018-0> y <https://doi.org/10.1038/s41598-017-06018-0>, consultados el 6 de julio de 2018.
- Liu, H.; Z. Zhao y K. Jezek. "Synergistic Fusion of Phase Unwrapping and Speckle Tracking Methods for Deriving Surface Velocity from Interferometric SAR Data", en: *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*. Vol. 4, No. 1, 2007, pp. 102-106.
- Smith, W. H. F. and P. Wessel. "Gridding with continuous curvature splines in tension", en: *Geophysics*. Vol. 55, No. 3. Tulsa, OK, USA, Society of Exploration Geophysicists, 1990, pp. 293-305.
- Wessel, P.; W. H. F. Smith; R. Scharroo; J. Luis and F. Wobbe. "Generic mapping tools: Improved version released", en: *Eos, Transactions, AGU*. Vol. 94, No. 45, 2013, pp. 409-410.
- Wright, T. J.; B. E. Parsons y Z. Lu. "Toward mapping surface deformation in three dimensions using InSAR", en: *Geophysical Research Letters*. Vol. 31. American Geophysical Union, Washington, DC, USA, 2004, pp. 1-5.



Children playing w. metal drum in front/William F. Campbell/Getty Images



## Sesgos en la medida de convergencia de los indicadores componentes del Índice de Rezago Social de las entidades federativas de México

*Biases in the Convergence Measure of the Component Indicators of the Social Backwardness Index of the Federal Entities of Mexico*

Óscar Peláez Herreros\*

Recibido: 3 de junio de 2019.

Aceptado: 17 de septiembre de 2019.

\* El Colegio de la Frontera Norte, sede Tijuana, opelaez@colef.mx

El artículo comprueba si los estados con mayores niveles de rezago social fueron los que disminuyeron más sus carencias durante el periodo 2000-2015. Se argumenta y explica que la variación absoluta es una medida sesgada hacia la detección de convergencia en la evolución de las variables que forman parte del Índice de Rezago Social. Para evitar este inconveniente, se propone el uso de tasas de variación. Posteriormente, se aplican las técnicas para detectar  $\beta$ -convergencia en datos de sección cruzada y en modelos de datos de panel. Los resultados obtenidos con las tasas difieren sustancialmente de los de las variaciones absolutas, mostrando convergencia solo en algunas variables y periodos temporales. Los casos de divergencia son predominantes.

**Palabras clave:** variación absoluta; variación relativa; divergencia.

## Introducción

El Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social (CONEVAL) se presenta en su sitio web como un organismo "...con autonomía y capacidad técnica para generar información objetiva sobre la situación de la política social y la medición de la pobreza en México..." (2019). De hecho, la *Ley General de Desarrollo Social (LGDS)* le confiere la facultad y responsabilidad de establecer los lineamientos y criterios para la definición, identificación y medición de la pobreza (DOF, 2004). Por ello, calcula las cifras de pobreza multidimensional para los estados y municipios del país, así como las líneas de pobreza por ingresos o el Índice de Rezago Social (IRS).

El CONEVAL publicó los resultados más recientes del IRS, los del 2015, y comparó los valores de las 11 variables que lo componen a nivel de entidades federativas para el 2000, 2005, 2010 y 2015. Estas variables informan sobre carencias relacionadas con la educación, el acceso a los servicios de salud, la calidad de la vivienda, los servicios básicos en la vivienda y los activos del hogar. Asimismo,

This paper verifies whether the states with the highest levels of social backwardness experienced greater reductions in their gaps during the period 2000-2015. We argue and explain that absolute variation is a biased measure towards the detection of convergence in the variables of the Social Backwardness Index. To avoid this trouble, we propose the use of variation rates. We apply techniques to detect  $\beta$ -convergence in cross-section data and in panel data models. The results obtained with the variation rates differ substantially from those of the absolute variations, showing convergence only in some variables and time periods. Divergence cases predominate.

**Key words:** absolute variation; relative variation; divergence.

analizó su evolución en el tiempo, concluyendo que las carencias no solo se redujeron en todos los estados durante el periodo 2000-2015, sino que, además, "...aquellas entidades que han mostrado las mayores disminuciones son también los estados con los mayores niveles de rezago social, que son las regiones en las que la política de desarrollo social ha centrado sus mayores esfuerzos..." (CONEVAL, 2016a: 10).

El objetivo de este artículo consiste en demostrar que la primera parte de esta última cita no es necesariamente cierta; en concreto, que los estados que presentaron mayores niveles de rezago social no son los que tuvieron más reducciones en sus carencias. La hipótesis de trabajo es que la medida que utilizó el CONEVAL para cuantificar la disminución de las variables estaba sesgada hacia la detección de superiores avances en las entidades con mayores valores iniciales. El uso de otras medidas de variación arroja resultados distintos.

Con el propósito de verificar esta cuestión, en primer lugar se explica el razonamiento que siguió el CONEVAL (2016a), el cual muestra que existe un

sesgo en la medida que usa para cuantificar la reducción de las carencias; posteriormente, se justifica el empleo de otras medidas de variación que no presentan ese sesgo; en la tercera sección se aplican estas a los datos obteniendo resultados que se comparan con los del CONEVAL (2016a); el último apartado contiene las conclusiones del artículo, que aplican a la interpretación de las dinámicas de las variables del IRS, pero que también se pueden extender a las de los índices de Marginación (IM) y de Desarrollo Humano (IDH), como se desprende, por ejemplo, de la lectura de Aparicio (2004: 28) y PNUD (2003: 61-2).<sup>1</sup>

## Cálculos e interpretaciones del CONEVAL

Esta institución comenzó a calcular el IRS en el 2007 con datos del *II Censo de Población y Vivienda 2005*. Se trató de una "...primera aproximación [...] para caracterizar el fenómeno de la pobreza en México desde una perspectiva multidimensional y territorial..." (CONEVAL, 2007: 15). La actualización más reciente del IRS es la publicada en el 2016, que acumula información quinquenal para el periodo 2000-2015 a nivel de entidades federativas y municipios.

Al medir los rezagos de manera homogénea en el espacio y tiempo, el IRS facilita la identificación de los municipios y estados del país con mayores carencias, lo cual es útil, por ejemplo, para una mejor toma de decisiones en materia de política social. En concreto, el IRS se calcula como la suma ponderada de los valores estandarizados de las siguientes 11 variables expresadas como porcentajes: 1) población de 15 años o más analfabeta, 2) población de 6 a 14 años que no asiste a la escuela, 3) población de 15 años y más con educación bási-

ca incompleta, 4) población sin derechohabencia a servicios de salud, 5) viviendas con piso de tierra, 6) viviendas que no disponen de excusado o sanitario, 7) viviendas que no disponen de agua entubada de la red pública, 8) viviendas que no disponen de drenaje, 9) viviendas que no disponen de energía eléctrica, 10) viviendas que no disponen de lavadora y 11) viviendas que no disponen de refrigerador (CONEVAL, 2016a: 3). Al calcular el IRS, estas variables se estandarizan para evitar que aquellas con mayores valores numéricos dominen el comportamiento del conjunto. Por su parte, las ponderaciones del Índice se obtienen aplicando análisis de componentes principales. Ello permite que estas sean óptimas en el sentido de que hacen máxima la variación de los datos originales que el Índice logra retener.

Debido a estas características del procedimiento de cálculo, el promedio de los valores del IRS es exactamente igual a 0 y su varianza, a 1 para cada año y nivel de desagregación territorial. Por construcción del Índice, su posición media y dispersión son constantes en el tiempo. Para que una entidad federativa reduzca su IRS, necesariamente otra u otras han de soportar aumentos, pues tienen que mantenerse las condiciones mencionadas:

$$\frac{1}{n} \sum_{j=1}^n IM_{j,t} = 0 \quad (1)$$

$$\frac{1}{n-1} \sum_{j=1}^n IM_{j,t}^2 = 1 \quad (2)$$

Como señalan Gutiérrez y Gama (2010: 233), las comparaciones de valores del IRS únicamente son válidas en términos *relativos*, pero no *absolutos*: "...no pueden ser comparados de manera directa los cambios observados en el valor de los índices [...] de una unidad geográfica particular en dos momentos en el tiempo...". Esto es así porque sus valores se obtienen *en relación* con todas las demás unidades geográficas en el mismo momento. La reducción del IRS en una entidad federativa, por ejemplo, es señal de que ha evolucionado

<sup>1</sup> Específicamente, Aparicio (2004: 28) explica que "...durante la última década del siglo XX las mayores reducciones absolutas en el índice absoluto de marginación tuvieron lugar en los estados más marginados, lo que ha tenido como consecuencia una importante disminución de la desigualdad entre las entidades federativas en el ámbito de la marginación...". En el PNUD (2003: 61-2) se menciona que "...Mientras que en 1950 el máximo logro en este índice era de 0.5356 –Distrito Federal– y el mínimo era de 0.3197 –Chiapas–, en 2000 el máximo fue de 0.8394 para Baja California y el mínimo de 0.7881 para Chiapas. Lo anterior significa que la diferencia se redujo entre los extremos de aproximadamente 67% a menos de 7%..."

mejor que el promedio, pero no indica cuánto ha avanzado en el combate a los rezagos que padece la población que reside en ella. Para conocer esta cuestión, ha de examinarse la dinámica específica de cada una de las variables originales que componen el Índice.

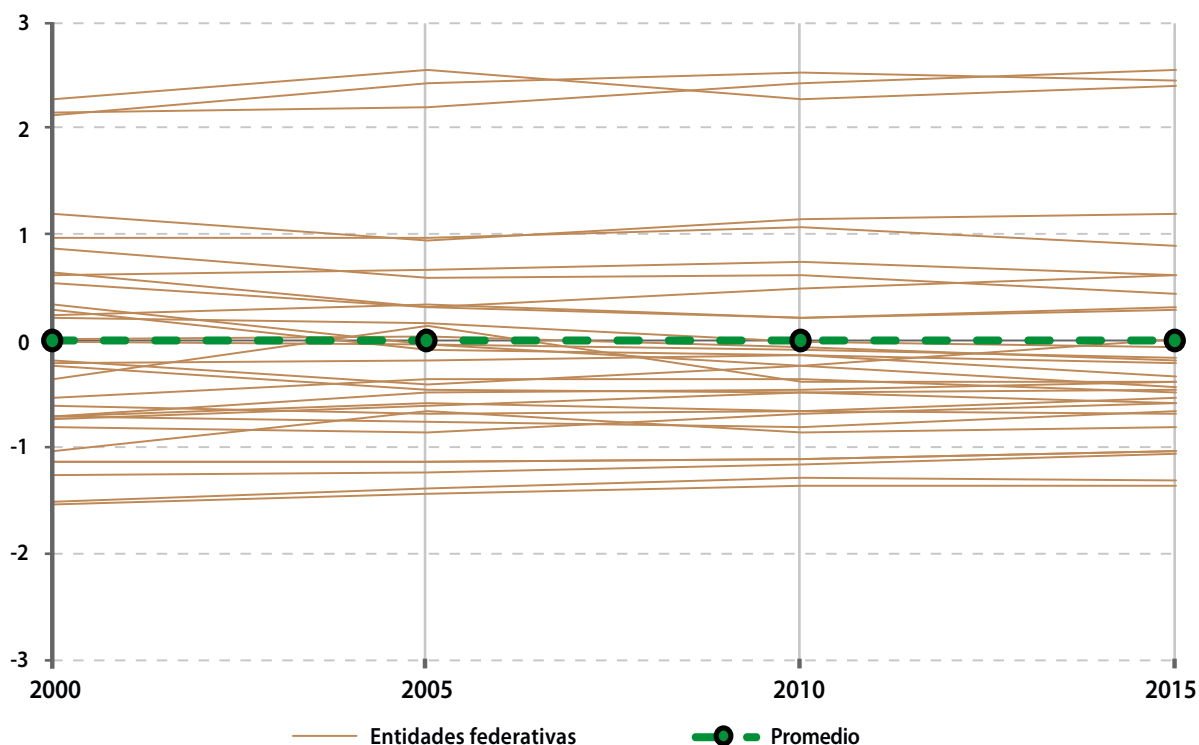
La gráfica que se muestra enseguida representa los valores del IRS para los estados del país. Como se observa, sus recorridos tienden a ser estables a lo largo del tiempo. No se advierten grandes variaciones en los 15 años que abarca el indicador. Distintos factores contribuyen a esa estabilidad. En primer lugar, que las variables que integran el Índice hagan referencia a aspectos estructurales, que dependen fuertemente de sus valores pasados; a ello se suma el hecho de que el IRS sea el resumen de 11 variables, por lo que la evolución de unas puede compensarse con otras; además, se expresa en relación con el conjunto de unidades territoriales, de manera que no es suficiente con

que una entidad federativa mejore (o empeore), sino que ha de hacerlo con una diferencia clara respecto al promedio.

Aparte de la estabilidad en el tiempo, en la gráfica también se destaca la brecha existente entre el grupo de tres estados con IRS más alto y el resto de las entidades federativas: estos son Guerrero, Oaxaca y Chiapas, que de manera sistemática han alcanzado valores por encima de 2 en el Índice, distanciándose en más de un punto de la siguiente entidad federativa, Veracruz de Ignacio de la Llave o Puebla, dependiendo del año. A la vista, no se aprecia ningún acercamiento de los estados con mayor rezago social hacia los mejor posicionados. De hecho, incluso, parece lo contrario. Al comparar las cifras del 2000 con las del 2015, se tiene que el IRS aumentó en esas tres entidades del Pacífico sur de 2.27 a 2.39 en Chiapas, 2.16 a 2.54 en Oaxaca y 2.12 a 2.45 en Guerrero, lo cual implica un alejamiento respecto al promedio nacional.

Gráfica

### IRS de las entidades federativas de México, 2000-2015



Fuente: elaboración propia con datos del CONEVAL (2016b).

El CONEVAL (2016a) no presta mayor atención a la evolución del IRS a lo largo del tiempo, se limita a señalar que en el 2015 había cuatro entidades con muy alto grado de rezago social (Chiapas, Guerrero, Oaxaca y Veracruz de Ignacio de la Llave) y otras cuatro en el extremo opuesto, con grado muy bajo (Aguascalientes, Coahuila de Zaragoza, Distrito Federal<sup>2</sup> y Nuevo León). No obstante, sí describe con algún detalle la dinámica de cada una de las 11 variables componentes del Índice entre el 2000 y 2015; por ejemplo, para los tres indicadores de rezagos en educación, encuentra avances generalizados durante el periodo de análisis, destacando que: "...En el caso de la población de 15 años o más analfabeta, las reducciones más importantes se dan en Chiapas, Guerrero y Oaxaca, los estados con las mayores carencias. La población de 6 a 14 años que no asiste a la escuela presentó las mayores reducciones en Chiapas, Guerrero y Michoacán de Ocampo. Finalmente, para la población de 15 años y más con educación básica incompleta, las reducciones más importantes tuvieron lugar en los estados de Zacatecas, Hidalgo y Tabasco..." (CONEVAL, 2016a: 4).

De manera similar, para la población sin derechohabencia a servicios de salud: "...Las reducciones más importantes se dieron en Guerrero, Chiapas y Oaxaca. Dichas reducciones representan más de 55 puntos porcentuales en cada caso..." (Ibíd.: 5).

El resto de las variables siguieron patrones semejantes, siendo esta evidencia acumulada la que lleva a concluir "...que aquellas entidades que han mostrado las mayores disminuciones son también los estados con los mayores niveles de rezago social, que son las regiones en las que la política de desarrollo social ha centrado sus mayores esfuerzos..." (Ibíd.: 10).

No hay error en los cálculos. Cuando se utiliza la variación absoluta (VA) como medida del cambio, los estados con superiores avances son los que inicialmente estaban más rezagados, son los que presentaban mayores valores en las distintas ca-

rencias. Con datos del CONEVAL es posible verificar las anteriores y las demás afirmaciones similares del documento, teniendo en cuenta que la VA de una variable  $i$ , en una entidad federativa  $j$ , durante un periodo  $T$ , se obtiene como la diferencia de los valores observados al inicio,  $x_{i,j,t_0}$ , y al final del periodo en cuestión,  $x_{i,j,t_f}$ , esto es:

$$\Delta x_{i,j,T} = x_{i,j,t_f} - x_{i,j,t_0} \quad (3)$$

Por ejemplo, en relación con el porcentaje de viviendas con piso de tierra, se indica que "...las mayores disminuciones se dan en los estados con mayores carencias: Chiapas, Oaxaca y Guerrero, con disminuciones de más de 20 puntos porcentuales en cada caso..." (2016b: 6). Efectivamente, entre el 2000 y 2015, Chiapas lo redujo de 38.45 a 10.62%, lo que supone una disminución de 27.83 puntos porcentuales; Oaxaca pasó de 39.71 a 13.05%, con una caída de 26.66; y Guerrero lo disminuyó en 23.04 puntos, desde 36.92 hasta 13.88 por ciento.

Si bien los cálculos son correctos y ninguna otra entidad federativa experimentó reducciones tan importantes de sus rezagos, surge una duda que se puede plantear de diversas formas, pero que en esencia es la siguiente: ¿por qué los otros estados no registraron disminuciones tan grandes en las carencias? La respuesta a esta pregunta descubre el inconveniente de usar la variación absoluta como medida de los cambios ocurridos. Con las excepciones de Veracruz de Ignacio de la Llave, Puebla y San Luis Potosí, en el 2000 ningún otro estado soportaba porcentajes de viviendas con piso de tierra superiores a 20%, lo cual implica que era *imposible* que redujeran este rezago en 20 puntos porcentuales, por ejemplo: en Zacatecas fue 8.95%; en Baja California, 4.95%; en Aguascalientes, 3.52%; y así los demás casos. Zacatecas bajó esta carencia desde el mencionado 8.95% hasta 1.33%, es decir, 7.62 puntos porcentuales.

El problema de la VA como medida de los cambios en las carencias que integran el IRS es que presenta un sesgo que ha de tenerse en cuenta:

<sup>2</sup> Hoy la Ciudad de México.

permite variaciones numéricamente mayores en aquellos estados que parten de niveles iniciales más altos. Lo comentado para las viviendas con piso de tierra aplica del mismo modo al resto de las variables del IRS.

## Otras medidas de variación y convergencia

El CONEVAL (2016a) enfatiza la fuerte reducción de las carencias en los estados inicialmente más rezagados. Sin embargo, como se ha expuesto, esa conclusión puede venir inducida por la herramienta utilizada para medir las variaciones a lo largo del tiempo, que está sesgada, precisamente, en el sentido de las conclusiones y resultados obtenidos. Si Guerrero pudo bajar su porcentaje de población sin derechohabencia a servicios de salud en más de 60 puntos porcentuales durante el periodo 2000-2015 fue, entre otros motivos, porque en el 2000, 78.12% de sus residentes no tenían acceso a este servicio. Para entidades como Sonora o Yucatán, disminuciones de esa magnitud eran en absoluto imposibles, ya que partían de niveles inferiores: 41.75 y 53.88%, respectivamente. Ni siquiera garantizando la derechohabencia universal a servicios de salud podían conseguirlo.

La comparación de los avances de las distintas entidades federativas en el combate a los rezagos debe realizarse con una medida que, desde el inicio, no limite la capacidad de mejora de los territorios o que, cuando menos, trate a todos por igual. La variación relativa (VR), o tasa de variación (TV), puede ser útil para ello, ya que expresa la disminución en las variables como porcentaje respecto a su valor inicial, permitiendo que cada territorio pueda reducir sus rezagos desde 0 (ningún avance) hasta 100% (completa eliminación de la carencia).<sup>3</sup> La expresión matemática para el cálculo de la VR es:

$$\dot{x}_{i,j,T} = \frac{\Delta x_{i,j,T}}{x_{i,j,t_0}} = \frac{x_{i,j,t_f} - x_{i,j,t_0}}{x_{i,j,t_0}} = \frac{x_{i,j,t_f}}{x_{i,j,t_0}} - 1 \quad (4)$$

3 En caso de registrarse un aumento en el valor de alguna variable, este también se interpreta en términos porcentuales respecto al valor observado al inicio del periodo de análisis.

donde  $x_{i,j,t_f}$  es el valor de la  $i$ -ésima variable ( $i = 1, \dots, 11$ ) para la  $j$ -ésima entidad federativa ( $j = 1, \dots, 32$ ) al final del periodo de análisis;  $x_{i,j,t_0}$  la observación correspondiente al inicio del periodo  $T$ , que abarca desde el momento  $t_0$  hasta  $t_f$  y  $\Delta x_{i,j,T}$  representa la variación absoluta.

La tasa de variación media acumulativa (TVMA) aporta las mismas ventajas que la VR, pero además permite comparar la reducción o aumento de las variables en lapsos de distinta duración, ya que pondera las variaciones con la amplitud del periodo en el que se registran. Su fórmula de cálculo es:

$$tm_{i,j,T} = \sqrt[t_f - t_0]{\frac{x_{i,j,t_f}}{x_{i,j,t_0}}} - 1 \quad (5)$$

Dado que las variables que se están considerando tienden a reducirse hacia el valor 0, tanto la VR como la TVMA pueden interpretarse en el sentido propuesto por Sen (1981), esto es, como el porcentaje en que se reduce cada carencia en cada territorio: durante el periodo que se esté considerando, en el caso de la VR, o en promedio anual cuando se trata de la tasa de variación media acumulativa.

Estas dos medidas, (4) y (5), ordenan de manera idéntica a las entidades federativas en función de sus mayores o menores avances en el combate de los rezagos sociales. Sin embargo, cabe esperar que haya discrepancias al comparar los estados que más redujeron sus carencias en valores absolutos (3) o en términos relativos (5). Para disponer de una medida de estas discrepancias, se calcula el coeficiente de correlación por rangos de Spearman para cada una de las 11 variables del IRS:

$$\rho_{i,T} = 1 - \frac{6}{J^3 - J} \sum_{j=1}^J d_{i,j,T}^2 \quad (6)$$

Las entidades federativas se pueden ordenar de mayor a menor variación en una misma variable, durante un mismo periodo,  $T$ , tanto en términos absolutos como relativos. Las diferencias de esos dos órdenes se representan mediante  $d_{i,j,T}$  a la vez que  $J$  indica el número de observaciones

disponibles, que en este caso son 32 por tratarse de estados. El coeficiente  $\rho$  está acotado entre  $-1$  y  $+1$ . Valores positivos son señal de concordancia en las ordenaciones generadas por las VA y VR; cuanto más se aproxima  $\rho$  a  $1$ , mayor es esta concordancia, hasta llegar al extremo en que  $\rho = 1$  indica que variaciones absolutas y relativas ordenan exactamente igual a las unidades territoriales. En el sentido contrario, los negativos son señal de discordancia. Un valor de  $\rho = 0$  indica que los atributos muestran ordenaciones independientes.

Por otra parte, para evaluar si las entidades más rezagadas experimentaron mayores avances en el abatimiento de las carencias, se propone recurrir a técnicas que consideren la totalidad de datos de la distribución, en vez de solo tres valores extremos. El concepto de  $\beta$ -convergencia puede ser útil en este sentido. Siguiendo a Barro y Sala-i-Martin (1990), en una situación de  $\beta$ -convergencia, la estimación del parámetro  $\beta_{i,T}$  en la ecuación:

$$tm_{i,j,T} = \alpha_{i,T} + \beta_{i,T} \ln x_{i,j,t_0} + \varepsilon_{i,j,T} \quad (7)$$

arroja un valor negativo y estadísticamente significativo, indicando que la  $i$ -ésima carencia bajó más en aquellas áreas geográficas donde presentaba valores más altos al inicio del periodo  $T$ . Al contrario, uno positivo y estadísticamente significativo del parámetro  $\beta_{i,T}$  es señal de  $\beta$ -divergencia: la carencia en cuestión se redujo más en los estados con menor rezago. Esta expresión es la base de los análisis de convergencia en el producto interno bruto estatal per cápita que, en el caso de México, comenzaron a realizar Juan y Rivera (1996) y Ruiz (1997), y sigue encontrándose en los más recientes del Banco de México (2017: 5-8), Luna y Colín (2017) o Rodríguez y Cabrera (2019), entre otros. Campos *et al.* (2017) y Peláez (2017) también la han aplicado al análisis del IDH.

A partir de la información disponible para el IRS, la ecuación 7 puede estimarse con cada una de las  $i = 1, \dots, 11$  variables para el periodo completo, 2000-2015, o para cada uno de los subperiodos quinquenales: 2000-2005, 2005-2010 y 2010-2015.

Además, aprovechando estas tres secciones cruzadas, los datos pueden presentarse en forma de panel, lo que permite estimar modelos de datos agrupados:

$$tm_{i,j,T} = \alpha_i + \beta_i \ln x_{i,j,t_0} + \varepsilon_{i,j,T} \quad (8)$$

y de efectos fijos:

$$tm_{i,j,T} = \alpha_{i,j} + \beta_i \ln x_{i,j,t_0} + \varepsilon_{i,j,T} \quad (9)$$

Los modelos de datos de panel ayudan a detectar y controlar los efectos propios de cada unidad territorial que no son captados por la variable explicativa, pero que influyen en las tasas de variación. La ecuación 8 representa el caso de ausencia de especificidades regionales. La estructura de la dinámica de la variable  $i$ -ésima es la misma en todos los estados al ser los parámetros  $\alpha_i$  y  $\beta_i$  comunes para las unidades territoriales. En este caso, un valor negativo y estadísticamente significativo del parámetro  $\beta_i$  es señal de  $\beta$ -convergencia absoluta en la variable  $i$ -ésima durante el periodo 2000-2015. Por el contrario, una estimación positiva y estadísticamente significativa de  $\beta_i$  indica  $\beta$ -divergencia absoluta.

La especificación 9, sin embargo, admite trayectorias diferentes para cada entidad federativa a través de la familia de parámetros  $\alpha_{i,j}$ . En los modelos de efectos fijos, un valor negativo y estadísticamente significativo en la estimación de  $\beta_i$  no es señal de convergencia absoluta, sino de  $\beta$ -convergencia condicionada por las particularidades no observadas, pero contenidas en los  $\alpha_{i,j}$ . Un  $\beta_i$  positivo y estadísticamente significativo muestra que hubo  $\beta$ -divergencia condicionada en la variable  $i$ -ésima durante el periodo 2000-2015.

La comparación de los modelos 8 frente al 9 permite conocer si los paneles de datos se describen mejor como procesos de convergencia-divergencia absoluta o condicionada, esto es, si los distintos estados muestran dinámicas comunes o particulares. Para verificar esta cuestión, se realizan contrastes mediante el estadístico:

$$F = \frac{R_8^2 - R_9^2 / J - 1}{1 - R_9^2 / JT - J - K} \rightarrow F_{J-1, JT-J-K} \quad (10)$$

donde  $R_8^2$  representa el coeficiente de determinación del modelo 8;  $R_9^2$  es el coeficiente de determinación del modelo 9;  $J$ , el número de unidades territoriales ( $J = 32$ , en este caso);  $T$ , el número de secciones cruzadas ( $T = 3$ ); y  $K$ , el número de regresores ( $K = 1$ ). El estadístico  $F$  se compara con el valor crítico 1.633, que corresponde a la distribución de probabilidad  $F$  con  $J - 1 = 31$  y  $JT - J - K = 63$  grados de libertad y un nivel de confianza de 95%; un estadístico  $F$  mayor que 1.633 lleva a rechazar la hipótesis de que los modelos 8 y 9 son estadísticamente equivalentes, de manera que cada entidad federativa tiene características específicas que deben tomarse en cuenta mediante los coeficientes  $\alpha_{i,j}$ . En ese caso, el modelo 9, de convergencia-divergencia condicionada, es más adecuado que el de convergencia-divergencia absoluta.

Cuando se prefiere el modelo 9 frente al 8, cabe considerar si es mejor estimarlo con efectos fijos o aleatorios. El contraste de Hausman (1978) aporta información al respecto evaluando la consistencia de los estimadores de mínimos cuadrados generalizados frente a los de efectos fijos. Para ello, se recurre al estadístico:

$$Q = \frac{(\hat{\beta} - \hat{b})^2 \text{asint.}}{\hat{\sigma}_{\hat{\beta}}^2 - \hat{\sigma}_{\hat{b}}^2} \rightarrow \chi^2_K \quad (11)$$

donde  $\hat{\beta}$  es el estimador del modelo de efectos fijos;  $\hat{b}$  el estimador del modelo de efectos aleatorios; y  $\hat{\sigma}_{\hat{\beta}}^2$  y  $\hat{\sigma}_{\hat{b}}^2$  son sus varianzas respectivas. El estadístico  $Q$  se compara con el valor crítico 3.841, obtenido de la distribución de probabilidad  $\chi^2$  con  $K = 1$  grado de libertad y un nivel de confianza de 95 por ciento. Un estadístico  $Q$  mayor que 3.841 implica rechazar la hipótesis nula de que los estimadores de mínimos cuadrados generalizados son consistentes, resultando más adecuada la estimación por efectos fijos.

Dos motivos fundamentales permiten anticipar que los modelos de efectos fijos serán preferidos a los de aleatorios. El primero es que se dispone

de datos para la totalidad de los elementos que se analizan: las 32 entidades federativas del país. Al no tratarse de una muestra aleatoria, las estimaciones de los parámetros específicos de cada estado tienen sentido en sí mismas. Además, como argumentan Yang *et al.* (2016: 6), es probable que estos efectos individuales correlacionen con los valores iniciales de las variables, haciendo inapropiada la estimación de efectos aleatorios.

No obstante, también hay que considerar lo expuesto por Martín-Mayoral y Yépez (2013: 211), quienes distinguen entre los tradicionales análisis de convergencia en términos de ingreso o renta y los que se aplican, como es el caso, sobre variables acotadas que necesariamente tienen que converger en el valor mínimo, 0%; por este motivo, lo que realmente cabe esperar es que los modelos de convergencia absoluta (ecuación 8) expliquen mejor lo ocurrido en la realidad que los de convergencia condicionada (ecuación 9).

## Resultados

El cálculo de las tasas de variación arroja resultados distintos a los de las VA. En el caso de la población analfabeta, por ejemplo, las entidades que tuvieron mayores avances relativos en el periodo 2000-2015 son Querétaro, Nuevo León y Sonora, que redujeron esta carencia 53.7, 51.0 y 50.3%, respectivamente; en términos absolutos, las tres primeras posiciones correspondieron a Chiapas, Guerrero y Oaxaca (CONEVAL, 2016a: 4). Para la población de 6 a 14 años que no asiste a la escuela, ocurre algo parecido: las mayores reducciones relativas se registraron en Sinaloa (-67.7%), Zacatecas (-67.7%) e Hidalgo (-65.5%), mientras que las variaciones absolutas más importantes fueron las de Chiapas (-9.0), Guerrero (-6.9) y Michoacán de Ocampo (-6.6).

El mismo fenómeno se repite con mayor o menor intensidad en el resto de las variables. Las coincidencias entre los estados con mejor desempeño absoluto y relativo son poco frecuentes. El coeficiente de Spearman permite cuantificar esta



cuestión. Como se desprende de los datos del cuadro 1, para algunas variables, como el porcentaje de población sin derechohabencia a servicios de salud, las VA y las TVMA concuerdan en gran medida ( $\rho = 0.835$ ) al señalar los estados que más y menos avanzaron en el combate de esas carencias. En otros casos, como las viviendas que no disponen de drenaje ( $\rho = -0.662$ ) o la población de 15 años o más analfabeta ( $\rho = -0.449$ ), las ordenaciones de una y otra medida de variación son, incluso, contrarias. También, hay variables para las que, prácticamente, no se aprecia relación entre los estados que evolucionaron mejor en términos absolutos o relativos. Esto último ocurre de manera clara con las viviendas que no disponen de excusado o sanitario ( $\rho = 0.010$ ) o con las que carecen de energía eléctrica ( $\rho = 0.004$ ).

Cuadro 1

### Coefficientes de correlación de Spearman, $\rho$ : variaciones absolutas frente a tasas de variación, 2000-2015, en las variables del IRS

1) Población analfabeta	-0.449
2) No asiste a la escuela	0.648
3) Con educación básica incompleta	0.575
4) Sin derechohabencia a servicios de salud	0.835
5) Viviendas con piso de tierra	-0.329
6) Sin excusado o sanitario	0.010
7) Sin agua entubada	-0.274
8) Sin drenaje	-0.662
9) Sin energía eléctrica	0.004
10) Sin lavadora	0.170
11) Sin refrigerador	-0.041

Fuente: elaboración propia.

Las VA y VR tienden a identificar distintas entidades como aquellas con mejor desempeño en el abatimiento de cada rezago. Ni siquiera en las variables en las que guardan más semejanzas, como la población sin derechohabencia a servicios de salud, es posible encontrar una concordancia perfecta. Para esta variable en concreto, las mayores

reducciones relativas se registraron en San Luis Potosí (-83.3%), Guerrero (-80.8%) y Zacatecas (-80.7%), mientras que las variaciones absolutas más importantes fueron las de Guerrero (-63.1), Chiapas (-60.5) y Oaxaca (-58.8); solo Guerrero repitió entre los tres estados con mejor dinámica. En el extremo opuesto de la clasificación es posible encontrar alguna semejanza más; por sus escasos avances relativos destacaron el Distrito Federal (-54.8%), Baja California (-52.6%) y Coahuila de Zaragoza (-50.5%), mientras que las menores disminuciones absolutas de la carencia en salud se registraron en Baja California (-20.0), Nuevo León (-19.7) y Coahuila de Zaragoza (-14.4). Aun siendo la variable con mayores semejanzas en las VA y VR del periodo 2000-2015 ( $\rho = 0.835$ ), presenta bastantes discrepancias.

A partir de estas diferencias, en unos casos más importantes que en otros, no cabe esperar otra cosa que conclusiones distintas en relación con la convergencia de las entidades más rezagadas hacia las más avanzadas del país. El cuadro 2 muestra las estimaciones del modelo 7, pero explicando las VA en lugar de las tasas de variación. Como se ha argumentado, las variaciones absolutas están sesgadas en el sentido de poder ser más amplias allí donde los valores iniciales son mayores. Esta relación es, precisamente, la de convergencia: mayor reducción de las carencias en los estados con superiores niveles de rezago social. Las estimaciones del cuadro 2 presentan esa relación. El coeficiente  $\beta_{i,T}$  es negativo y significativo a 99% de confianza en 41 de los 44 casos estimados. En dos más es negativo, pero significativo a 90% o no significativo, y solo para las viviendas que no disponen de agua entubada de la red pública durante el lustro 2005-2010 muestra signo positivo, aunque la estimación carece de significatividad. Prácticamente, todos los resultados indican la existencia de una intensa relación entre altos niveles de las carencias y mayores reducciones del rezago. De aquí se obtendría la misma conclusión a la que llega el CONEVAL (2016a: 10) analizando los tres valores extremos de cada distribución: "...las entidades que han mostrado las mayores disminuciones son también los estados con los mayores niveles de rezago social...".

### Estimaciones de $\beta_{i,T}$ para la ecuación 7 según variable componente del IRS y periodo temporal: variaciones absolutas

Variabes	2000-2015	2000-2005	2005-2010	2010-2015
1) Población analfabeta	-3.3707 *** (0.133)	-0.8178 *** (0.072)	-1.3567 *** (0.068)	-1.1426 *** (0.065)
2) No asiste a la escuela	-5.1047 *** (0.335)	-3.4114 *** (0.225)	-0.8583 *** (0.286)	-1.2829 *** (0.241)
3) Con educación básica incompleta	-10.333 *** (2.622)	-4.1663 *** (1.184)	-2.0712 * (1.147)	-2.7191 *** (0.983)
4) Sin derechohabencia a servicios de salud	-46.819 *** (2.507)	-4.4129 *** (5.431)	-22.955 *** (2.243)	-21.840 *** (1.710)
5) Viviendas con piso de tierra	-8.8340 *** (0.641)	-2.6004 *** (0.268)	-4.1698 *** (0.458)	-1.7836 *** (0.144)
6) Sin excusado o sanitario	-9.4281 *** (0.510)	-6.0368 *** (0.893)	-3.9914 *** (0.643)	-1.7444 *** (0.171)
7) Sin agua entubada	-8.8287 *** (0.573)	-2.5028 *** (0.423)	0.3328 (0.332)	-5.9257 *** (0.534)
8) Sin drenaje	-10.383 *** (0.738)	-5.8162 *** (0.406)	-1.7900 *** (0.214)	-1.6513 *** (0.180)
9) Sin energía eléctrica	-3.3017 *** (0.296)	-2.6892 *** (0.684)	-4.7676 *** (0.691)	-0.5563 *** (0.058)
10) Sin lavadora	-13.885 *** (1.555)	-6.7784 *** (1.310)	-5.2982 *** (0.818)	-1.7081 *** (0.590)
11) Sin refrigerador	-13.409 *** (0.694)	-8.3142 *** (0.932)	-3.7227 *** (0.503)	-2.1743 *** (0.189)

**Nota:** entre paréntesis se muestran los errores estándar; las estimaciones son significativas a \*\*\* 99%, \*\* 95% o \* 90% de confianza.

**Fuente:** elaboración propia.

La situación cambia al utilizar una medida de variación que permite a todas las unidades territoriales el mismo progreso, que no limita sus avances desde la definición de la propia medida, esto es, al reemplazar las VA por las TVMA. El cuadro 3 contiene las estimaciones del modelo 7 tal como se especificó en páginas anteriores. En esta ocasión, 33 coeficientes muestran signo positivo y solo 11, negativo reduciéndose, prácticamente, a la mitad los casos estadísticamente significativos. La convergencia deja de ser un fenómeno generalizado para convertirse en un proceso específico de unas pocas variables.

Los signos negativos característicos de la asociación entre mayor nivel de una carencia y mayor reducción de esta en términos de tasas de variación se concentran, sobre todo, en dos variables: la población sin derechohabencia a servicios de salud, que experimentó procesos de convergencia significativos en los dos quinquenios más recientes y en el periodo 2000-2015 considerado en conjunto, y la

población de 6 a 14 años que no asiste a la escuela, con convergencia en el lapso conjunto y en el lustro 2000-2005. Estas son, precisamente, las dos variables con más altos coeficientes de Spearman en el cuadro 1. Al ser los casos con mayores semejanzas entre las VA y las tasas de variación, resulta coherente que las segundas conserven la tendencia a la convergencia que caracteriza a las primeras.

Ninguna de las otras nueve variables del IRS mostró indicios de convergencia entre el 2000 y 2015, solo en algunos subperiodos aislados que se vieron más que compensados por la divergencia que tuvo lugar el resto del tiempo. Así ocurrió con las viviendas con piso de tierra, las que no disponen de excusado o sanitario o aquellas sin energía eléctrica.

Al contrario, la divergencia predominó en el conjunto de casos, siendo significativa en cinco variables para el periodo 2000-2015. Mayores niveles de carencias tendieron a corresponderse con menores reducciones de los rezagos.

Cuadro 3

### Estimaciones de $\beta_{i,T}$ para la ecuación 7 según variable componente del IRS y periodo temporal: tasas de variación media

Variables	2000-2015	2000-2005	2005-2010	2010-2015
1) Población analfabeta	0.0053 *** (0.001)	0.0044 ** (0.002)	0.0020 (0.002)	0.0091 *** (0.002)
2) No asiste a la escuela	-0.0131 ** (0.006)	-0.0238 *** (0.008)	-0.0222 (0.013)	0.0024 (0.013)
3) Con educación básica incompleta	0.0117 ** (0.004)	0.0082 (0.005)	0.0127 ** (0.005)	0.0167 *** (0.005)
4) Sin derechohabencia a servicios de salud	-0.0435 *** (0.008)	0.0032 (0.024)	-0.0442 *** (0.013)	-0.0765 *** (0.016)
5) Viviendas con piso de tierra	0.0088 ** (0.003)	0.0205 *** (0.005)	-0.0275 *** (0.006)	0.0332 *** (0.007)
6) Sin excusado o sanitario	0.0098 (0.006)	-0.0677 *** (0.017)	0.0504 ** (0.023)	0.0077 (0.009)
7) Sin agua entubada	0.0120 ** (0.005)	0.0241 ** (0.010)	0.0019 (0.008)	0.0035 (0.008)
8) Sin drenaje	0.0239 *** (0.004)	0.0522 *** (0.007)	0.0003 (0.003)	0.0105 *** (0.004)
9) Sin energía eléctrica	0.0077 (0.005)	-0.1672 *** (0.020)	0.0173 (0.047)	0.0075 (0.006)
10) Sin lavadora	0.0026 (0.004)	0.0055 (0.007)	-0.0068 (0.006)	0.0083 * (0.004)
11) Sin refrigerador	0.0041 (0.004)	-0.0193 * (0.011)	0.0128 * (0.007)	0.0111 *** (0.004)

**Nota:** entre paréntesis se muestran los errores estándar; las estimaciones son significativas a \*\*\* 99%, \*\* 95% o \* 90% de confianza.

**Fuente:** elaboración propia.

Las estimaciones del cuadro 4 para los paneles de datos revelan, de nuevo, una combinación de casos de convergencia y de divergencia. Además, los estadísticos indican que siete de las 11 variables se modelizan mejor mediante la especificación de datos agrupados (ecuación 8), tres con efectos fijos (ecuación 9) y solo una con aleatorios.

La primera variable, el porcentaje de población de 15 años o más analfabeta, es una de las tres que se describen mejor con la especificación de efectos fijos. El valor del estadístico  $F$  supera al crítico (1.633), lo cual lleva a rechazar la hipótesis de que todas las entidades federativas comparten los mismos parámetros. A la vez, el estadístico  $Q$  del contraste de Hausman también es mayor que su valor crítico (3.841), indicando que la estimación por efectos fijos es preferible a la de aleatorios. Como el parámetro  $\beta_i$  es positivo y plenamente significativo, se puede afirmar que, durante el periodo 2000-2015, hubo divergencia en los porcentajes de población analfabeta de los estados de México.

Lo contrario ocurre con el porcentaje de población de 6 a 14 años que no asiste a la escuela. El estadístico  $F$  no supera al valor crítico, por lo que el modelo de referencia es el de datos agrupados, en el que la estimación del parámetro  $\beta_i$  es negativa y significativa con una confianza de 99%, indicando que esta variable experimentó convergencia absoluta en el periodo 2000-2015.

El porcentaje de población de 15 años y más con educación básica incompleta tiene asociadas estimaciones positivas para el parámetro  $\beta_i$  en señal de divergencia. El valor del estadístico  $F$  lleva a rechazar el modelo de datos agrupados, mientras que el  $Q$  del contraste de Hausman revela que la estimación por efectos aleatorios presenta mejores propiedades. Esta es la única de las 11 variables del IRS en la que se prefiere la estimación con efectos aleatorios.

El porcentaje de población sin derechohabencia a servicios de salud también muestra estimacio-

nes positivas y significativas para el parámetro  $\beta_i$ . Sin embargo, el estadístico  $F$  no permite rechazar el modelo de datos agrupados, por lo que se está ante un caso de divergencia absoluta.

Lo mismo ocurre con el porcentaje de viviendas con piso de tierra, que también experimentó divergencia absoluta entre el 2000 y 2015.

Los porcentajes de viviendas sin excusado o sanitario y sin agua entubada presentan dinámicas similares. Los valores del estadístico  $F$  invitan a elegir el modelo de datos agrupados para el que ambas carencias muestran estimaciones positivas. La diferencia con los casos anteriores se encuentra en que estas carecen de significatividad, por lo que no es posible establecer una conclusión definitiva sobre su dinámica.

Para el porcentaje de viviendas que no disponen de drenaje, el estadístico  $F$  rechaza el modelo de da-

tos agrupados y el  $Q$  indica que es preferible la estimación por efectos fijos frente a la de aleatorios. En esa situación, el parámetro tiene signo negativo con confianza de 99%, de manera que es posible afirmar que hubo convergencia en el porcentaje de viviendas sin drenaje, solo que esta fue condicionada ya que se obtiene con la especificación de efectos fijos, esto es, cada entidad convergió hacia un estado estacionario propio que dependía de sus características estructurales. Cabe recordar que este fenómeno, así como los procesos de divergencia, solo tiene sentido al considerar un lapso relativamente breve, de 15 años, como es el caso. En el largo plazo, en un horizonte ideal, las variables del IRS deben converger incondicionalmente hacia su mínimo y las carencias en cuestión, desaparecer, siguiendo la tendencia de continua reducción que vienen desarrollando.

El porcentaje de viviendas que no disponen de energía eléctrica tiene un estadístico  $F$  muy próximo a 0, que lleva a preferir el modelo de da-

Cuadro 4

### Estimaciones del parámetro $\beta_i$ en los modelos de datos agrupados y efectos fijos y aleatorios para las variables componentes del IRS

Variables	Datos agrupados		Efectos fijos		Efectos aleatorios		Estadísticos	
							$F$	$Q$
1) Población analfabeta	0.0083 (0.002)	***	0.0526 (0.000)	***	0.0083 (0.002)	***	2.3178 ***	61.761 ***
2) No asiste a la escuela	-0.0452 (0.008)	***	-0.0844 (0.012)	***			1.0476	
3) Con educación básica incompleta	0.0141 (0.003)	***	0.0162 (0.005)	***	0.0145 (0.003)	***	1.9720 **	0.2192
4) Sin derechohabencia a servicios de salud	0.0340 (0.012)	***	0.0876 (0.016)	***			1.1187	
5) Viviendas con piso de tierra	0.0145 (0.005)	***	0.0347 (0.011)	***			0.4293	
6) Sin excusado o sanitario	0.0040 (0.009)		-0.0066 (0.016)				0.1808	
7) Sin agua entubada	0.0074 (0.010)		-0.0500 (0.038)				0.1800	
8) Sin drenaje	-0.0009 (0.005)		-0.0686 (0.007)	***	-0.0009 (0.005)		4.0161 ***	144.73 ***
9) Sin energía eléctrica	-0.0410 (0.018)	**	-0.0661 (0.029)	**			0.0995	
10) Sin lavadora	-0.0076 (0.004)	*	-0.0723 (0.007)	***	-0.0111 (0.004)	**	4.8956 ***	108.60 ***
11) Sin refrigerador	-0.0045 (0.004)		-0.0507 (0.009)	***			1.6097 *	

Nota: entre paréntesis se muestran los errores estándar; las estimaciones o estadísticos son significativos a \*\*\* 99%, \*\* 95%, o \* 90% de confianza.

Fuente: elaboración propia.

tos agrupados. El signo del parámetro estimado es negativo y significativo con confianza de 95%, indicando que se está ante un proceso de convergencia absoluta.

El porcentaje de viviendas que no disponen de lavadora también tendió a la convergencia, pero en la especificación condicionada, ya que el modelo que mejor describe su dinámica es el de efectos fijos.

Por último, no se advierte una evolución clara en el porcentaje de viviendas sin refrigerador. El valor del estadístico  $F$  lleva a elegir el modelo de datos agrupados, pero por estrecho margen respecto al de efectos fijos, obteniéndose una estimación carente de significación estadística.

A modo de resumen, se puede destacar que, de las 11 variables que integran el IRS, dos experimentaron convergencia absoluta durante el periodo 2000-2015 (población que no asiste a la escuela y viviendas sin energía eléctrica), dos más mostraron convergencia condicionada (viviendas sin drenaje y sin lavadora), otras dos registraron divergencia absoluta (población sin derechohabiente a servicios de salud y viviendas con piso de tierra) y dos más, divergencia condicionada (población analfabeta y con educación básica incompleta). Hubo tres variables sin dinámicas de convergencia o divergencia significativas: viviendas sin excusado, sin agua entubada y sin refrigerador; las dos primeras con signos de divergencia y la última de convergencia.

## Conclusiones

El cálculo de las tasas de variación reporta resultados sustancialmente distintos a los de las VA. Las entidades con más avances en la reducción de sus rezagos difieren de una medida a la otra. Si bien es cierto que las mayores variaciones absolutas se registraron en los estados con superiores niveles de carencias, también se debe advertir que las poblaciones con menores rezagos no disponían de margen de mejora para igualar esos progresos

en esos términos. Como se ha explicado, medir la disminución de las carencias en VA implica asumir un sesgo en favor de las entidades que presentan valores más altos, ya que, simplemente por ello, les es posible experimentar mayores avances.

Las tasas de variación, sin embargo, no presentan un sesgo *a priori* para la medición del abatimiento de los rezagos, que siempre pueden reducirse desde 0 hasta 100%; esta otra medida no identifica a las entidades más rezagadas con las de mayores avances o, al menos, no en todos los casos. Los análisis de convergencia señalan algunas variables y periodos en que los estados más rezagados disfrutaron de mayores reducciones de ciertas carencias. No obstante, predominan los casos de divergencia y convergencia condicionada.

Este nuevo escenario no da lugar a la contradicción que se crea al anunciar que los estados más rezagados progresaron más que el resto en el abatimiento de sus carencias, al tiempo que el IRS, calculado a partir de esos mismos datos, no muestra ningún estrechamiento de la brecha que separa a Guerrero, Oaxaca y Chiapas de los otros (ver gráfica), sino incluso un leve ensanchamiento de esa distancia. El caso es que no hubo una convergencia generalizada en las variables componentes del IRS. Las entidades más rezagadas progresaron mejor que las avanzadas en algunas variables, pero no en otras, ni a lo largo de todo el periodo de análisis, por lo que su posición relativa apenas varió, lo mismo que la brecha en el IRS.

La descripción que se consigue con las variaciones absolutas no es tan coherente con la dinámica del IRS a lo largo del tiempo como la de las tasas de variación. Además, la primera medida padece el sesgo mencionado: permite superiores avances en las unidades territoriales con más rezagos. Por ello, la conclusión de que "...aquellas entidades que han mostrado las mayores disminuciones son también los estados con los mayores niveles de rezago social..." (CONEVAL, 2016a: 10) parece un tanto precipitada, ya que no valora los resultados de otras medidas con mejores propiedades para ese análisis.

La variedad de resultados obtenidos plantea incógnitas que hasta el momento no se estaban considerando. Lo principal a partir de ahora, tal vez, sea conocer por qué unas variables convergen y otras no, esto es, cuáles son las causas de esas dinámicas diferentes, ya que ni siquiera los indicadores de una misma dimensión evolucionan igual. El ejemplo más claro es el de las variables de educación, donde el porcentaje de población de 6 a 14 años que no asiste a la escuela tendió a converger, mientras que hubo divergencia interestatal en la analfabeta y en la población con educación básica incompleta. El hecho de que la convergencia se diera en la variable que posiblemente es más fácil de modificar a corto plazo es un indicio a seguir para futuras investigaciones que profundicen en el tema, pero también recuerda una limitación básica de este tipo de análisis: los procesos de cambio estructural y divergencia-convergencia son fenómenos de largo plazo, por lo que sería deseable disponer de datos para un periodo más amplio que los 15 años considerados en este.

## Fuentes

- Aparicio, R. *Índice absoluto de marginación, 1990-2000*. México, Consejo Nacional de Población, 2004.
- Banco de México. "Recuadro 1. Convergencia regional en México: 1994-2015", en: *Reporte sobre las economías regionales*. Enero-marzo, 2017, pp. 5-8.
- Barro, R. J. y X. Sala-i-Martin. "Economic growth and convergence across the United States", en: *National Bureau of Economic Research Working Paper Series*, 3419, 1990 (DE) <https://www.nber.org/papers/w3419.pdf>, consultado el 31 de julio de 2018.
- Campos, R. M., C. Domínguez y G. Márquez. "Long-run human development in Mexico: 1895-2010", en: L. Bértola y J. Williamson (eds.). *Has Latin American inequality changed direction? Looking over the long run*. Cham, Springer, 2017, pp. 89-112.
- CONEVAL. *Los mapas de pobreza en México*. México, 2007 (DE) [https://www.coneval.org.mx/rw/resource/coneval/med\\_pobreza/1211.pdf](https://www.coneval.org.mx/rw/resource/coneval/med_pobreza/1211.pdf), consultado el 10 de febrero de 2019.
- \_\_\_\_\_. *Índice de Rezago Social 2015. Presentación de resultados*. México, 2016a (DE) [https://www.coneval.org.mx/Medicion/Documents/Indice\\_Rezago\\_Social\\_2015/Nota\\_Rezago\\_Social\\_2015\\_vf.pdf](https://www.coneval.org.mx/Medicion/Documents/Indice_Rezago_Social_2015/Nota_Rezago_Social_2015_vf.pdf), consultado el 15 de enero de 2019.
- \_\_\_\_\_. *Índice de Rezago Social 2015 a nivel nacional, estatal y municipal*. México, 2016b (DE) [http://www.coneval.org.mx/Medicion/IRS/Paginas/Indice\\_Rezago\\_Social\\_2015.aspx](http://www.coneval.org.mx/Medicion/IRS/Paginas/Indice_Rezago_Social_2015.aspx), consultado el 30 de diciembre de 2016.
- \_\_\_\_\_. *¿Quiénes somos?* México, 2019 (DE) <https://www.coneval.org.mx/quienessomos/Conocenos/Paginas/Quienes-Somos.aspx>, consultado el 12 de febrero de 2019.
- Diario Oficial de la Federación (DOF). *Ley General de Desarrollo Social*. 20 de enero de 2004.
- Gutiérrez, H. y V. Gama. "Limitantes de los índices de marginación de CONAPO y propuesta para evaluar la marginación municipal en México", en: *Papeles de Población*. 66, 2010, pp. 227-257.
- Hausman, J. A. "Specification tests in econometrics", en: *Econometrica*. 46(6), 1978, pp. 1251-1271.
- Juan, V. H. y L. A. Rivera. "Regional growth in Mexico: 1970-93", en: *IMF Working Paper*. 92, 1996.
- Luna, N. R. y R. Colín. "Crecimiento económico y convergencia regional en México 1970-2015", en: *Economía y Sociedad*. 21(36), 2017, pp. 77-95.
- Martín-Mayoral, F. y J. Yépez. "Evolución de las disparidades en el desarrollo económico y humano de América Latina: análisis del IDH y sus componentes", en: *Economía Mexicana Nueva Época*. 1, 2013, pp. 203-246.
- Peláez, Ó. "Dependencia temporal y convergencias sincrónica y diacrónica en el IDH de las entidades federativas de México, 1950-2010", en: *Premio Eliseo Mendoza al Análisis Económico del Desarrollo Regional*. 2017 (DE) <http://premioeliseomendoza.cucea.udg.mx/recursos/archivos/PEM2017/ARTICULO%201%20LUGAR%20PEM2017.pdf>, consultado el 14 de julio de 2019.
- Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD). *Informe sobre desarrollo humano México 2002*. México, Mundi-Prensa, 2003.
- Rodríguez, L. I. y J. A. Cabrera. "Convergencia municipal en México con modelos de econometría espacial (1999-2014)", en: *EconoQuantum*. 16(1), 2019, pp. 7-32.
- Ruiz, C. "Desigualdades regionales en México, 1900-1993", en: *Estudios Demográficos y Urbanos*. 11(3), 1997, pp. 572-576.
- Sen, A. "Public action and the quality of life in developing countries", en: *Oxford Bulletin of Economics and Statistics*. 43(4), 1981, pp. 287-319.
- Yang, F., S. Pan y X. Yao. "Regional convergence and sustainable development in China", en: *Sustainability*. 8(121), 2016, pp. 1-15.

## Colaboran en este número

---

### Yolanda Margarita Fernández-Ordoñez

Nació en México. Es matemática por la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), maestra en Ciencias de la Computación por la Universidad Estatal de Iowa, EE. UU., doctora en Ciencias en Informática por el Instituto Nacional Politécnico de Grenoble, Francia, y tiene el Diplomado de Estudios Avanzados de Computación de la Universidad de París VI, Francia. Se desempeña como profesora-investigadora titular de Cómputo Aplicado en el Colegio de Postgraduados (COLPOS)-Campus Montecillo, donde también funge como responsable del Laboratorio de Geomática. Es miembro de la Academia Mexicana de Computación (AMEXCOMP), de la Association for Computing Machinery (ACM), de la Sociedad Geociencias y Percepción Remota (GRSS-IEEE) y de la Sociedad de Computación (IEEE). Ha participado en actividades de desarrollo de *software* de calidad y de normatividad para la industria mexicana de *software*. Sus trabajos de investigación sobre geomática se insertan en la línea *Estadística, modelado y tecnologías de la información aplicables a la agricultura y medio rural*.

**Contacto:** [yfernand@colpos.mx](mailto:yfernand@colpos.mx)

---

### Jesús Soria-Ruiz

Nació en México. Es ingeniero agrónomo y maestro en Ciencias por la Universidad Autónoma Agraria "Antonio Narro", con doctorado en Edafología por el COLPOS en Ciencias Agrícolas (1999) y tiene experiencia postdoctoral en el grupo de percepción remota por radar de la Universidad de Edimburgo, Escocia. Actualmente, labora en el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) como investigador titular; sus áreas de interés se orientan al desarrollo de metodologías para el pronóstico de cosechas utilizando teledetección con imágenes satelitales ópticas y de radar, generación de escenarios de cambio climático y sistemas de alerta temprana de plagas y enfermedades de los principales cultivos en México. Es miembro del Sistema Nacional de Investigadores (SNI) y de la GRSS-IEEE.

**Contacto:** [soria.jesus@inifap.gob.mx](mailto:soria.jesus@inifap.gob.mx)

---

### Brigitte Leblon

De nacionalidades belga y canadiense. Es ingeniera agrícola por la Universidad Católica de Lovaina, Bélgica, y doctora en Percepción Remota por la Escuela Superior de Agronomía, Montpellier, Francia. Se desempeña como profesora de Percepción Remota en la Universidad de Nueva Brunswick (UNB), Canadá; es directora del

---

programa dual de Maestría Europa-Canadá en el Área Forestal y Ambiente, que recibió en el 2014 reconocimiento internacional como programa de posgrado más innovador, y vicepresidenta de la Sociedad Canadiense de Percepción Remota. Ha trabajado en el desarrollo de sensores GPR, NIR y MR para la industria maderera canadiense, en el uso de UAV para la agricultura de precisión y aplicaciones medioambientales, así como en aplicaciones de SAR para zonas inundadas, incendios forestales y regiones de tundra, entre otras experiencias. Tiene más de 200 publicaciones arbitradas y ha recibido reconocimientos personales y con sus alumnos.

**Contacto:** bleblon@unb.ca

---

### **Antonia Macedo Cruz**

Es de nacionalidad mexicana. Cursó la carrera de Ingeniería en Informática en el Instituto Politécnico Nacional, es maestra en Ciencias con especialidad en Cómputo Aplicado por el COLPOS y doctora en Ciencias Físicas *Cum-Laude* por la Universidad Complutense de Madrid. En el ámbito laboral, se desempeña como profesora-investigadora adjunta del Postgrado en Hidrociencias en el Colegio de Postgraduados; además, es líder de la línea *Manejo integral de cuencas y cambio climático*, así como gestora de imágenes satelitales acreditada por la ERMEX-NG y el SIAP-SAGARPA y formadora de recursos humanos de postgrado. Es autora de diversos artículos científicos resultado de las investigaciones desarrolladas y ha participado en distintos proyectos con aplicaciones de teledetección y sistemas de información geográfica (SIG), tanto en el área forestal como en el de manejo de cuencas hidrográficas. Su área de experiencia es en reconocimiento de patrones, visión artificial y teledetección. Es miembro del Núcleo Académico Básico del Doctorado y de la Maestría en Hidrociencias.

**Contacto:** amacedo@colpos.mx

---

### **Martha Elva Ramírez Guzmán**

Nació en México. Es actuaría por la UNAM y maestra en Ciencias en Estadística por el COLPOS, México, así como doctora en Estadística por la Universidad de Reading, Reino Unido. Se desempeña como profesora-investigadora titular de Estadística y de Ciencias Forestales en el COLPOS; es consultora del Servicio Nacional de Sanidad Inocuidad y Calidad Agroalimentaria (SENASICA), del *North America, Plan Protection Organization (NAPPO)* y capacitado-



ra del Organismo Internacional Regional de Sanidad Agropecuaria (OIRSA); asimismo, ha sido formadora de capital humano en estadística en HSBC, Financiera Rural, BNP Paribas, AENOR y CIMMYT y profesora en la Universidad Autónoma Chapingo (UACH), UNAM y en el Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey. Sus trabajos de investigación de estadística se insertan en la optimización de procesos de calidad, desarrollo de metodologías de estadística, muestreo de inspección para aceptar o rechazar productos de importación y en geoestadística.

**Contacto:** martharg@colpos.mx

---

### **Miguel Escalona-Maurice**

Es de nacionalidad mexicana. Estudió la Licenciatura en Geografía y la Maestría en Geografía-Evaluación y Planeación de los Recursos Naturales en la UNAM y obtuvo el Doctorado en Cartografía, SIG y Teledetección con especialidad en Detección de Cambios Territoriales en la Universidad de Alcalá, España. Es profesor investigador titular del Postgrado de Desarrollo Rural en el COLPOS-Campus Montecillo, profesor de asignatura en el Departamento de Agroecología de la UACH y responsable de los servicios cartográficos de la Mapoteca "Alfredo Trócoli Moreno" del Colegio de Postgraduados. Es miembro del Comité Editorial de la *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas (REMEXCA)*, editada por el INIFAP con trabajos de investigación científica. Ha trabajado en SIG aplicados a las ciencias sociales, teledetección e impactos en ámbitos socioeconómicos y cambio de ocupación del suelo agrícola. Pertenece al SNI con nivel I.

**Contacto:** mescalona@colpos.mx

---

### **José Martínez Carranza**

De nacionalidad mexicana. Es egresado del Doctorado en Ciencias Computacionales de la Universidad de Bristol (UB), Inglaterra. En el ámbito laboral, es investigador titular A del Departamento de Ciencias Computacionales (DCC) del Instituto Nacional de Astrofísica Óptica y Electrónica (INAOE), donde dirige el Grupo de Drones Inteligentes, el cual ha obtenido diversos premios nacionales e internacionales; además, la UB le otorgó el nombramiento honorario de *Senior Research Fellow* en el DCC. Actualmente, trabaja en el diseño de propuestas novedosas para el aprovechamiento de cámaras monoculares en drones aéreos.

**Contacto:** carranza@inaoep.mx

---

**Mariana Edith Miranda Varela**

De nacionalidad mexicana. Recibió el grado de doctora en Inteligencia Artificial en la Universidad Veracruzana. Colaboró en el proyecto Sistema de Captura y Procesamiento de Video y Fotografía Aérea para Drones y Aviones Ligeros del DCC del INAOE, donde realizó modelos 3D y segmentación de imágenes aéreas. Sus áreas de interés son clasificación y segmentación de imágenes, aprendizaje profundo, cómputo evolutivo y optimización.

**Contacto:** memiranda\_v@inaoep.mx

---

**Leticia Oyuki Rojas Ponce**

De nacionalidad mexicana. Es egresada de Ingeniería en Mecatrónica del Instituto Tecnológico Superior de Atlixco (ITSA). En la actualidad, realiza sus estudios de Maestría en Ciencias Computacionales del INAOE y es parte del Grupo de Drones Inteligentes. Sus áreas de interés son robótica, visión computacional e inteligencia artificial.

**Contacto:** oyukirojas0@gmail.com

---

**Aldrich Alfredo Cabrera**

De nacionalidad mexicana. Es egresado de Ingeniería en Mecatrónica del ITSA. Actualmente, estudia la Maestría en Ciencias Computacionales en el INAOE y forma parte del Grupo de Drones Inteligentes. Sus áreas de interés son el procesamiento de imágenes aéreas para la unión y creación de mosaicos.

**Contacto:** alucardrich3@gmail.com

---

**Edgar Jacob Sosa Cerón**

De nacionalidad mexicana. Se graduó en Ingeniería en Ciencias de la Computación de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla (BUAP). Colaboró en el proyecto Sistema de Captura y Procesamiento de Video y Fotografía Aérea para Drones y Aviones Ligeros del DCC del INAOE, donde sus actividades fueron la creación y colocación de mallas tridimensionales en tiempo real a partir de nubes de puntos de imágenes aéreas.

**Contacto:** jacobceron6@gmail.com

---

**Raymundo Domínguez Colín**

Nació en México. Obtuvo el grado de doctor en Ciencias del Instituto Mexicano del Petróleo; actualmente, realiza una estancia posdoctoral en el INAOE, apoyando en el Departamento de Ciencias Computacionales. Sus áreas de interés son el procesamiento de imágenes y el reconocimiento de patrones.

**Contacto:** rdominguezc@inaoep.mx

---

**Guillermo Ángel Velázquez**

Argentino. Es doctor en el área de Geografía por la Universidad de Buenos Aires. Se especializa en el estudio de la calidad de vida en la República Argentina a escalas local, regional y nacional a partir de la aplicación de sistemas de información geográfica y técnicas de análisis espacial. En la actualidad, es investigador superior en el Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET) y director del Instituto de Geografía, Historia y Ciencias Sociales (IGHCS) perteneciente al CONICET y a la Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires (UNICEN).

**Contacto:** gvelaz@fch.unicen.edu.ar

---

**Juan Pablo Celemín**

De nacionalidad argentina. Es licenciado en Geografía por la Universidad Nacional de Mar del Plata, magíster en Conservación y Gestión del Medio Natural por la Universidad Internacional de Andalucía y doctor en Geografía por la Universidad Nacional del Sur. Se especializa en la aplicación de SIG y técnicas de análisis espacial en estudios sociales y ambientales. En la actualidad, es investigador adjunto del CONICET e integrante IGHCS.

**Contacto:** jpcelemín@conicet.gov.ar

---

**Gerardo Florencio Casimiro**

Mexicano. Es médico cirujano por la Facultad de Medicina de la UNAM con grado de Maestría en Salud Pública con área de concentración en Envejecimiento por el Instituto Nacional de Salud Pública (INSP) y se formó en gerontología y cuidados paliativos para la atención en campo en el domicilio de personas adultas mayores para los programas de atención domiciliaria de la Ciudad de México del 2005 al 2015 en la institución Servicios de Salud Pública de la Ciudad de México. Fue responsable de los programas de información en enfermedades crónicas no transmisibles y el módulo de envejecimiento del 2015 al 2017; actualmente, es titular del área de epidemiología en el Centro de Salud TIII Dr. Ángel de la Garza Brito en la Jurisdicción Sanitaria Magdalena Contreras.

**Contacto:** gerardo\_fc@live.com.mx

---

**Janet Real Ramírez**

Es de nacionalidad mexicana. Es médica cirujana por la UNAM con especialidad médica en Salud Pública y Medicina Preventiva (ENARM) y maestra en Salud Pública con área de concentración en Administración en Salud, ambas por el INSP. En lo laboral, fungió como directora de Servicios Médico Municipales para la Presidencia Municipal de Xochiatipan, Hidalgo; fue responsable del Departamento de

Evaluación Académica en la Secretaría Académica (SAC) y coordinadora académica del Programa de la Especialidad en Medicina Preventiva del INSP; ha participado como profesora-investigadora de la SAC y del Centro de Investigación en Salud Poblacional; en la actualidad, es profesora titular en los programas de la Especialidad en Medicina Preventiva, de la Maestría en Salud Pública en todas sus modalidades, del Programa de Educación Continua y de las unidades didácticas de Fundamentos de Medicina Preventiva y Salud Pública, Vigilancia e Inteligencia Epidemiológica, además de integrante del Capítulo de Profesores de la Residencia en Medicina Preventiva, del INSP; asimismo, funge como vocal del Colegio de Profesores de Epidemiología y vicepresidenta de la Academia Nacional de Educación Médica. Sus áreas de interés son la medicina preventiva con enfoque en la atención primaria de la salud, seguridad del paciente y legislación sanitaria, vigilancia e inteligencia epidemiológica con uso de herramientas de georreferenciación y sistemas de información y gestión y planeación de recursos humanos en salud.

**Contacto:** janet.real@insp.mx

---

### **Mauricio Rodríguez Abreu**

Nació en México. Es actuario por la UNAM, maestro en Demografía por El Colegio de México (El COLMEX) y doctor en Demografía Aplicada por la Universidad de Texas en San Antonio. En el ámbito laboral, es profesor de tiempo completo en la Universidad de las Américas Puebla. Ha publicado sobre temas como migración, trabajo y género. Es candidato a investigador del SNI.

**Contacto:** mauricio.rodriguez@udlap.mx

---

### **Brígida García Guzmán**

Es mexicana por naturalización. Es maestra en Demografía por El COLMEX y doctora en Sociología por la UNAM. Actualmente, es profesora-investigadora de El COLMEX. Ha publicado diversos libros y un centenar de capítulos en libros y artículos en revistas especializadas con los temas de familia, trabajo y género. Es investigadora emérita del SNI.

**Contacto:** bgarcia@colmex.mx

---

### **Luis Ernesto Cervera Gómez**

De nacionalidad mexicana. Es doctor en Investigación por El Colegio de Chihuahua (El COLECH) y tiene estudios de Doctorado en la Universidad de Arizona, especializado en Sistemas de Información Geográfica y Percepción Remota. En la actualidad, es profesor-investigador de tiempo completo en El COLECH. Es miembro del SNI con

nivel C. En fecha reciente, ha publicado en *Realidad, Datos y Espacio Revista Internacional de Estadística y Geografía* del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), así como en la revista *Ciudades*, además de una coordinación y dos capítulos de libros con temas de población y medio ambiente.

**Contacto:** lcervera@colechedu.onmicrosoft.com

---

### **Adrián Botello Mares**

Nació en Ciudad Juárez, Chihuahua, México. Es licenciado en Sociología por la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez (UACJ) y maestro en Geografía por la UNAM especializado en temas de geografía humanística y sociología del conocimiento; en la actualidad, es estudiante del Doctorado en Estudios Urbanos en la UACJ. Se desempeña como profesor por asignatura en El COLECH. En los últimos meses, ha publicado artículos tanto en *Realidad, Datos y Espacio Revista Internacional de Estadística y Geografía* del INEGI como en *Ciudades*, además de dos capítulos de libros en temas de población y medio ambiente.

**Contacto:** abotello@colech.edu.mx

---

### **Guillermo Iván Hinojos Mendoza**

De nacionalidad mexicana. Es doctor en Cambio Climático y Biodiversidad por la *École des Mines Paris Tech* especializado en Ecología del Paisaje, Cambio Climático y Simulación de Fenómenos Complejos en Geografía. Actualmente, es director general en la empresa Asesores de Servicios en Ecología Sustentable. En los últimos años, ha publicado artículos en las revistas *European Journal of Geography*, *CyberGeo* y *Safety Science*.

**Contacto:** ghinojos@asessc.net

---

### **Rubén Esquivel Ramírez**

De nacionalidad mexicana. Tiene postgrado de Maestría en Ciencias de la Tierra con especialidad en percepción remota impartido por el Instituto de Geofísica de la UNAM. Cuenta con experiencia en levantamientos topográficos y geodésicos y se ha especializado en el procesamiento de datos GNSS para levantamientos geodésicos y en la aplicación de técnicas InSAR para la cuantificación de deformaciones. En la actualidad, está adscrito en la Dirección General de Geografía y Medio Ambiente (DGGMA) del INEGI.

**Contacto:** ruben.esquivel@inegi.org.mx

---

### **Rosío Ramírez Contreras**

De nacionalidad mexicana. Es ingeniera Industrial por el Instituto Tecnológico de Aguascalientes. Tiene experiencia en el análisis y va-

---

lidación de información estadística, de cartografía digital y de sistemas de información geográfica que se desarrollan en el INEGI. Labora en la DGGMA, y se especializa en el procesamiento interferométrico de imágenes SAR para estudios de deformaciones.

**Contacto:** [rosio.ramirez@inegi.org.mx](mailto:rosio.ramirez@inegi.org.mx)

---

**Francisco Javier Huerta Juárez** De nacionalidad mexicana. Es licenciado en Matemáticas Aplicadas por la Universidad Autónoma de Aguascalientes. Además de impartir clases de Matemáticas a alumnos universitarios, se ha desarrollado profesionalmente en el área de geodesia, realizando procesamiento y análisis de información GNSS para proyectos especiales, así como programación de herramientas de apoyo para actividades geodésicas. En la actualidad, trabaja en la DGGMA del INEGI.

**Contacto:** [javier.huerta@inegi.org.mx](mailto:javier.huerta@inegi.org.mx)

---

**Óscar Peláez Herreros** Es de nacionalidad española. Estudió el Doctorado en Economía en la Universidad de Cantabria, España. Es investigador titular en El Colegio de la Frontera Norte, sede Tijuana, y en la actualidad cumple su estancia sabática en la Facultad de Ciencias Sociales de la Universidad Autónoma de Chiapas. Es miembro del Sistema Nacional de Investigadores con nivel 2.

**Contacto:** [opelaez@colef.mx](mailto:opelaez@colef.mx)

## Política y lineamientos editoriales

REALIDAD, DATOS Y ESPACIO REVISTA INTERNACIONAL DE ESTADÍSTICA Y GEOGRAFÍA es una publicación cuatrimestral que sirve de enlace entre la generación de la información estadística y geográfica oficial y la investigación académica para compartir el conocimiento entre especialistas e instituciones con propósitos similares.

Se publicarán sólo artículos inéditos y originales relacionados con la situación actual del uso y aplicación de la información estadística y geográfica a nivel nacional e internacional.

Es una revista técnico-científica, bilingüe, cuyos trabajos son arbitrados por pares (especialistas), bajo la metodología doble ciego, con los siguientes criterios de evaluación: trabajos inéditos, originalidad, actualidad y oportunidad de la información, claridad en la definición de propósitos e ideas planteadas, cobertura de los objetivos definidos, estructura metodológica adecuada y congruencia entre la información contenida en el trabajo y las conclusiones.

El resultado del proceso de dictaminación se comunica por correo electrónico y contempla tres variantes: recomendado ampliamente (con modificaciones menores), recomendado (pero condicionado a modificaciones sugeridas) y no recomendado (rechazado). Dos dictámenes aprobados, se notifica al autor que se publica y se envía a corrección de estilo; un aprobado y uno rechazado, se le solicita realizar cambios; y dos rechazados, se notifica la no publicación.

### Indizaciones y registros

- LATINDEX Catálogo (Sistema Regional de Información en Línea para Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal).
- CLASE (Citas Latinoamericanas en Ciencias Sociales y Humanidades).
- REDIB (Red Iberoamericana de Innovación y Conocimiento Científico).

### Lineamientos para publicar

Se publicarán trabajos en español e inglés: artículos de investigación, revisión y divulgación; ensayos; metodologías; informes técnicos; comunicaciones cortas; reseñas de libros; revisiones bibliográficas y estadísticas, entre otros.

1. El artículo —o cualquier otro tipo de escrito de los mencionados— deberá entregarse con una carta dirigida al editor responsable de REALIDAD, DATOS Y ESPACIO. REVISTA INTERNACIONAL DE ESTADÍSTICA Y GEOGRAFÍA en la que se proponga el texto para su publicación, que se declare que es inédito y que no ha sido postulado de manera paralela en otro medio. Asimismo, deben incluirse los datos completos del(os) autor(es), nacionalidad(es), institución(es) de adscripción y cargo(s) que ocupa(n), domicilio(s) completo(s), correo(s) electrónico(s) y teléfono(s). Esto debe dirigirse a la atención de la M. en C. Virginia Abrin Batule, virginia.abrin@inegi.org.mx (tel. 5278 10 00, ext. 1161).
2. El trabajo se debe presentar en versión electrónica (formato *Word* o compatible) con: a) extensión no mayor de 20 cuartillas; b) letra Helvética, Arial o Times de 12 puntos y c) interlineado de 1.5 líneas. El material adicional al texto se requiere por separado: a) las imágenes, con resolución de 300 ppp y un tamaño no menor a 17 centímetros de base (ancho) en formato JPG o TIF —no remuestrear (ampliar) imágenes de menor resolución—; si son líneas o mapas, deben entregarse en formato vectorial (EPS o Ai), en caso de incluirse imágenes en mapa de bits, incrustarlas o enviarlas con el nombre con el cual se creó el vínculo (conservando los requerimientos de resolución y tamaño estipulados); y para fotografías, éstas no deben ser menores a 5 megapíxeles; b) las fórmulas o expresiones matemáticas tienen que elaborarse con el editor de ecuaciones propio de *Microsoft*<sup>™</sup>, pero en caso de usar *software* de terceros, incluir en la entrega PDF testigo en el cual figuren exactamente cómo deben representarse; c) las gráficas, que incluyan el archivo en *Excel* con el cual se desarrollaron o, en su defecto, la imagen JPG legible, de origen, en alta resolución; y d) los cuadros, que sean editables, no se deben insertar como imagen.
3. La colaboración debe incluir: título del trabajo (en español e inglés o viceversa); resúmenes del trabajo en español e inglés (que no excedan de un párrafo de 10 renglones); palabras clave en español e inglés (mínimo tres, máximo cinco); bibliografía u otras fuentes; así como breve(s) semblanza(s) del(os) autor(es) que no exceda(n) de un párrafo de cinco renglones y que incluya(n) nacionalidad(es), grado(s) académico(s), principal(es) experiencia(s) profesional(es), adscripción(es) laboral(es) actual(es) y dirección(es) electrónica(s) de contacto.
4. Las referencias bibliográficas u otras fuentes deberán presentarse al final del artículo de la siguiente manera: nombre(s) del(os) autor(es) comenzando por el(los) apellido(s); título de la publicación con cursivas (si se trata de un artículo, debe estar entrecomillado, seguido de coma y la preposición en con dos puntos y, enseguida, el título de la revista o libro donde apareció publicado, con cursivas); país de origen; editorial; lugar y año de edición; página(s) consultada(s). En el caso de las fuentes electrónicas (páginas web) se debe seguir el mismo orden que en las bibliográficas, pero al final se pondrá entre paréntesis DE (dirección electrónica), la fecha de consulta y la liga completa. Se tienen que omitir aquellas que se mencionen como notas a pie de página. Si se aplica la opción de incluir en cuerpo de texto la referencia de nombre de autor y año de la fuente consultada entre paréntesis, sí deben aparecer todas las referencias mencionadas.

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

## Editorial Guidelines and Policy

REALITY, DATA AND SPACE INTERNATIONAL JOURNAL OF STATISTICS AND GEOGRAPHY is a four-monthly publication that connects statistics and geographic official information with academic research in order to share knowledge among specialists and institutions with similar aims.

We will publish only original and unpublished articles related to the current use and appliance of statistical and geographical information at both national and international levels.

It is a technical-scientific and bilingual magazine, with articles previously peer-reviewed by specialists under a double-blind methodology with the following evaluation criteria: unpublished works, originality, information related to opportunity and current affairs, we expect clarity in the definition of aims and ideas stated, defined objectives coverage, accurate methodological structure and coherence between the information of the paper as well as its conclusions.

The result of the paper-assessment process is delivered by email, and it involves three possibilities: fully recommended (with slight modifications), recommended (on condition of suggested modifications) and not recommended (i.e. rejected). When there are two reports of approval, the author gets notified that his/her paper will be published and it is sent to a style editing process. When one report approves the paper for publication and another one rejects it, the author is requested to make some changes for the text to be published. If the text submitted receives two non-favourable reports, the author is notified that the text will not be published.

### Index and Registers

- LATINDEX Catalogue (Online Regional Information System for Scientific Journals from Latin America, the Caribbean, Spain and Portugal).
- CLASE (Latin American Quotations in Humanities and Social Sciences)
- REDIB (Latin American Net of Innovation and Scientific Knowledge)

### Publishing Guidelines

Articles will be published in Spanish or English: research, revision and scientific-spreading articles; methodologies; technical reports; short texts; book reviews; and bibliographical and statistical revisions, among others.

1. The article —or any other kind of text from those aforementioned— must be delivered with an attached letter addressed to the chief editor of Reality, Data and Space. International Statistics and Geography Magazine in which the text intended for publication will be submitted. There it must be stated that the text has not been published, and that it has not been submitted for publication in any other media. The names in full of the authors must be included, as well as their nationalities, adscription institutions, position in those institutions, postal address, e-mail address, and telephone numbers. This must be addressed to MSc Virginia Abrin Batule, Virginia.abrin@inegi.org.mx (tel (+52) (55) 52.78.10.00, extension 1161).
2. The article must be submitted in an electronic version (a Microsoft Word file or a compatible one) with the following format: a) the text should not exceed the 20 pages of length; b) typography must be Helvetic, Arial or Times (12 points); and c) there should be a 1.5 line spacing in each paragraph. Additional material to the text will be delivered separately: a) images with a resolution of 300 ppp and no smaller than 17 cm width will be delivered in format JPG or TIF —please do not amplify images with lower resolution—. If the added materials are lines or maps, these must be delivered in vectorial format (EPS or Ai). If there are images in bits map, these must be embedded or attached with the name of the original file with which the link was created (keeping the resolution and size requirements above stated). As regards to photographs, these should not be inferior as 5 megapixels; b) mathematical expressions or formulae have to be created with the equations editor by Microsoft<sup>™</sup>, but in case of using third-parties software, please attach a witness PDF in which the exact representation of mathematical formulae or expressions is contained; c) graphics must include the Excel file in which they were created or a legible image in the original JPG format in high resolution; and d) charts must be editable, and must not be inserted as images.
3. The text must include the following: the article's title (both in English and Spanish); the abstract of the article—both in English and Spanish (not longer than a 10-line paragraph); key words—both in English and Spanish (three as minimum and five as maximum); bibliography and other sources; as well as brief biographical sketches of the authors not exceeding a five-line paragraph each including nationalities, academic titles, main professional experiences, current work-related affiliations, and electronic addresses for the authors to be contacted.
4. Bibliographical references and other sources must be included at the end of the article in the following way: author's name (Surname first), and publication's title (in italics). If it is an article, the title must be in quotation marks followed by a comma and the preposition "en" with semicolon (in Spanish), then it should appear the title of the book or magazine in which the article was published (in italics); country of origin; publishing house, edition year, and consulted pages. As regards to electronic sources (web pages) the same order of the bibliographical references must be followed, but at the end the word "EA" (as for Electronic Address) ("DE" in Spanish) must be added within parenthesis followed by consultation date and the complete reference link. Those web links referred previously as footnotes, must be omitted in this section. However, if the name of the author and the year of the consulted source were included in the main body of the text within parenthesis, all these must be included as part of the bibliographical references.

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

**CUANDO  
LLEGUE EL  
ENTREVISTADOR:**



**¡IDENTIFÍCALO!**

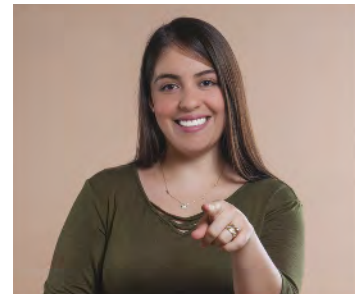


**MARZO 2020**





# EL CENSO SIRVE PARA SABER CÓMO ES TU ENTORNO



# ¡PREGÚÚÚNTAME!



MARZO 2020

INEGI



