

### Early Monthly Estimation of Mexico's Manufacturing Production Level Using Electric Energy Consumption Data

Daniel Alba Cuéllar y Hugo Hernández Ramos

### Estimaciones oportunas para algunas variables relevantes de la coyuntura económica de México: implicaciones de corto plazo

Francisco de Jesús Corona Villavicencio, Jesús López-Pérez y Pedro Paulo Orraca Romano

### Movilidad: edad, sexo y partición modal en la Zona Metropolitana de Saltillo

Ignacio Javier Cruz Rodríguez

### Efecto de las variables geo-climáticas sobre el rendimiento de los principales cultivos de temporal primavera-verano del estado de Aguascalientes

Dora Elena Ledesma Carrión, Amós Antonio Pérez Hernández y Lidia Hernández Hernández

### Inventario de pasivos ambientales mineros del estado de Hidalgo

Rafael Gutiérrez Aguilar, Eduardo Flores Campos, Alberto Peralta Cruz, Fernando Gayosso Pérez, Alfredo Tapia Téllez, Eliud Donald Vite Ortega, Rosa Elvira Acosta Ramos y Karla Salgado Becerril

### Estimación de las emisiones de gases de efecto invernadero provenientes del ganado en México, 1990-2018

Adolfo Galicia Naranjo, José Antonio Benjamín Ordóñez Díaz, Anabell Munguía Bárcenas, Nuria Julieta Venegas Mancera, Luis Enrique Ortega Treviño y María de Jesús Ordóñez Díaz

### Nuevo escenario de baja fecundidad en México a partir de información censal

Cecilia Inés Gayet y Fatima Juárez

### Captación de la variable *Condición de actividad* en el Censo 2020

Mercedes Pedrero Nieto

## Contenido

<b>Early Monthly Estimation of Mexico's Manufacturing Production Level Using Electric Energy Consumption Data</b>	4
<i>Estimación oportuna mensual del nivel de producción manufacturera en México mediante el uso de datos de consumo de energía eléctrica</i>	
Daniel Alba Cuéllar y Hugo Hernández Ramos	
<b>Estimaciones oportunas para algunas variables relevantes de la coyuntura económica de México: implicaciones de corto plazo</b>	28
<i>Nowcasts for Relevant Mexican Macroeconomic Time Series: Short Term Implications</i>	
Francisco de Jesús Corona Villavicencio, Jesús López-Pérez y Pedro Paulo Orraca Romano	
<b>Movilidad: edad, sexo y partición modal en la Zona Metropolitana de Saltillo</b>	50
<i>Mobility: Age, Sex, and Modal Transport Share in Saltillo's Metropolitan Area</i>	
Ignacio Javier Cruz Rodríguez	
<b>Efecto de las variables geo-climáticas sobre el rendimiento de los principales cultivos de temporal primavera-verano del estado de Aguascalientes</b>	62
<i>Effect of Geo-Climatic Variables on the Yield of the Main Spring-Summer Seasonal Crops of The State of Aguascalientes</i>	
Dora Elena Ledesma Carrión, Amós Antonio Pérez Hernández y Lidia Hernández Hernández	
<b>Inventario de pasivos ambientales mineros del estado de Hidalgo</b>	92
<i>Mining Environmental Liabilities Inventory of State of Hidalgo</i>	
Rafael Gutiérrez Aguilar, Eduardo Flores Campos, Alberto Peralta Cruz, Fernando Gayosso Pérez, Alfredo Tapia Téllez, Eliud Donaldo Vite Ortega, Rosa Elvira Acosta Ramos y Karla Salgado Becerril	
<b>Estimación de las emisiones de gases de efecto invernadero provenientes del ganado en México, 1990-2018</b>	114
<i>Estimated Greenhouse Gas Emissions From Livestock in Mexico, 1990-2018</i>	
Adolfo Galicia Naranjo, José Antonio Benjamín Ordóñez Díaz, Anabell Munguía Bárcenas, Nuria Julieta Venegas Mancera, Luis Enrique Ortega Treviño y María de Jesús Ordóñez Díaz	
<b>Nuevo escenario de baja fecundidad en México a partir de información censal</b>	124
<i>New Pattern of Low Fertility in Mexico Using Census Data</i>	
Cecilia Inés Gayet y Fatima Juárez	
<b>Captación de la variable <i>Condición de actividad</i> en el Censo 2020</b>	140
<i>Collection of the Economic Activity Variable in the Population and Household Census 2020</i>	
Mercedes Pedrero Nieto	
<b>Colaboran en este número</b>	146

# INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA Y GEOGRAFÍA

## Presidente del Instituto

Julio Alfonso Santaella Castell

## Vicepresidentes

Enrique de Alba Guerra

Paloma Merodio Gómez

Graciela Márquez Colín

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

## 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 en PDF

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. 12, Núm. 3, septiembre-diciembre, 2021, es una publicación cuatrimestral editada por el Instituto Nacional de Estadística y Geografía, Avenida Héroe de Nacozari Sur 2301, Fraccionamiento Jardines del Parque, 20276, Aguascalientes, Aguascalientes, Aguascalientes, entre la calle INEGI, Avenida del Lago y Avenida Paseo de las Garzas, México. Teléfono 55 52781069. Toda correspondencia deberá dirigirse al correo: [rde@inegi.org.mx](mailto:rde@inegi.org.mx)

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

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

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

Versión electrónica: <http://rde.inegi.org.mx>  
ISSN 2395-8537



Esta obra está bajo la *Creative Commons Atribución 4.0 Internacional License*.

# CONSEJO EDITORIAL

Dr. Enrique de Alba Guerra

Presidente del Consejo

Mtra. Claudia Aburto Rancaño

Instituto Tecnológico Autónomo de México  
México

Dr. Clemente Ruiz Durán

Universidad Nacional Autónoma de México  
México

Dr. Emilio Cunjamá López

Instituto Nacional de Ciencias Penales  
México

Dr. Fernando Cortés Cáceres

Profesor emérito de FLACSO PUEDE de la UNAM  
México

Dra. Graciela Teruel Belismelis

Universidad Iberoamericana  
Ciudad de México  
México

Dra. Landy Sánchez Peña

El Colegio de México  
México

Dra. María Martha Téllez Rojo Solís

Instituto Nacional de Salud Pública  
México

Dr. Víctor Manuel Guerrero Guzmán

Instituto Tecnológico Autónomo de México  
México

### Offline Work

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

Concluimos el 2021 con este número que contiene los siguientes artículos:

*Early Monthly Mstimation of Mexico's Manufacturing Production Level using Electric Energy Consumption Data (Estimación oportuna mensual del nivel de producción manufacturera en México mediante el uso de datos de consumo de energía eléctrica).* La experiencia de intercambio de información entre el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) y la Comisión Federal de Electricidad (CFE) sentó las bases para mejorar este proceso. Un análisis realizado por el INEGI mostró que en el sector manufacturero del país existe una relación lineal significativa entre esas dos variables. En este artículo se explican las características y la evolución del modelo econométrico definitivo y se comparan las estimaciones oportunas, calculadas en tiempo real, contra las cifras oficiales de nivel de producción, a modo de evaluación empírica.

*Estimaciones oportunas para algunas variables relevantes de la coyuntura económica de México: implicaciones de corto plazo (Nowcasts for Relevant Mexican Macroeconomic Time Sseries: Short Term Implications).* La principal aportación de esta investigación consiste en validar y brindar certeza al funcionamiento de la metodología propuesta por los autores al abarcar una mayor cantidad de series de tiempo, y no solo enfocándose a agregados, a partir del Indicador Global de la Actividad Económica, el consumo privado, la inversión fija bruta y las exportaciones e importaciones totales.

*Movilidad: edad, sexo y partición modal en la Zona Metropolitana de Saltillo (Mobility: Age, Sex, and Modal Transport Share in Saltillo's Metropolitan Area).* El principal objetivo de este artículo es caracterizar el movimiento de las personas en esa área geográfica de México mediante variables relevantes buscando probar que algunos aspectos de este se ajustan a los reportados en la literatura expresados en 16 proposiciones.

*Efecto de las variables geo-climáticas sobre el rendimiento de los principales cultivos de temporal primavera-verano del estado de Aguascalientes (Effect of Geo-Climatic Variables on the Yield of the Main Spring-Summer Seasonal Crops of the State of Aguascalientes).* El modelo utilizado para esta investigación permitió observar los efectos del cambio climático global en el área geográfica de estudio y puede replicarse a otras regiones siempre y cuando se cuente con suficientes datos. Los resultados sobre los rendimientos señalan a los cultivos de maíz grano y frijol como los más sensibles a estos cambios,

además de la influencia de la altitud en el primero, y que para el 2030 no contribuirán a la autosustentabilidad.

*Inventario de pasivos ambientales mineros del estado de Hidalgo (Mining Environmental Liabilities Inventory of state of Hidalgo).* El objetivo de este trabajo es elaborar un registro a partir de una metodología basada en experiencias de otros países, evaluando el impacto para el ser humano, la infraestructura y los recursos naturales. Con los resultados, queda sentado un precedente para desarrollar una base de datos nacional que permitirá tener información preliminar del riesgo y ubicación precisa de esos residuales de la actividad minera, ya que pueden estar afectando a la población.

*Estimación de las emisiones de gases de efecto invernadero provenientes del ganado en México, 1990-2018 (Estimated Greenhouse Gas Emissions from Livestock in Mexico, 1990-2018).* En este trabajo se aporta una visión crítica al ejercicio de la elaboración del inventario de este tipo de emisiones del subsector ganadero en el país. Se estiman las provenientes de la fermentación entérica y el manejo de estiércol para ese periodo. Contrario a lo esperado, las emisiones provenientes de esa actividad se han incrementado poco en un lapso de 28 años. No obstante, representan la tercera fuente en el país. Se enfatiza la importancia de atender las limitaciones en materia de registro de estas como una medida para contar con mejores estimaciones y fortalecer la toma de decisiones.

*Nuevo escenario de baja fecundidad en México a partir de información censal (New Pattern of Low Fertility in Mexico Using Census Data).* Este artículo tiene por objetivos analizar la evolución de la fecundidad y las diferencias por nivel de escolaridad, así como mostrar diferentes tipos de tasas para responder si se está presentando una posposición de la edad de las mujeres al primer hijo. Es importante resaltar que las muestras de los censos analizadas (2000, 2010 y 2020) representan a toda la población del país.

*Captación de la variable Condición de actividad en el Censo 2020 (Collection of the Economic Activity Variable in the Population and Household Census 2020).* El análisis presentado estuvo acotado a dicha variable, la cual clasifica a la población en ocupada, desempleada y no económicamente activa. El estudio se concentró solo en la primera, que es aquella que en la semana previa a la entrevista tenía un trabajo para obtener ingresos.

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

# *Early Monthly Estimation of Mexico's Manufacturing Production Level Using Electric Energy Consumption Data*

## *Estimación oportuna mensual del nivel de producción manufacturera en México mediante el uso de datos de consumo de energía eléctrica*

**Daniel Alba Cuéllar and Hugo Hernández Ramos\***

Directly measuring the monthly Manufacturing Production Level in Mexico via national accounting methods is an elaborate process, yielding a preliminary figure approximately 40 days after the end of the reference month. A separate analysis conducted by INEGI (Mexico's National Statistical Office) showed that in Mexico's manufacturing sector, there is a significant linear relationship between Electric Energy Consumption and Production Level. Currently, Electric Energy Consumption data from the Federal Electricity Commission (CFE) are made available to INEGI approximately 15 days after the end of the reference month; this timeliness in the availability of CFE data, combined with the observed linear relationship, allowed INEGI to build an econometric model which produces early estimates for the Production Level Index. In this paper we describe the initial analysis conducted by INEGI to build a model which explains the relationship between both variables; then we

La medición directa del nivel de producción manufacturera mensual en México por medio de métodos de contabilidad nacional es un proceso elaborado que arroja una cifra preliminar aproximadamente 40 días después del final del mes de referencia. Un análisis realizado por el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) mostró que en el sector manufacturero del país existe una relación lineal significativa entre el consumo de energía eléctrica y el nivel de producción. Actualmente, los datos de la Comisión Federal de Electricidad (CFE) correspondientes a la primera variable se ponen a disposición del INEGI alrededor de 15 días después del final del mes de referencia; esta oportunidad en la disponibilidad de información de la CFE, combinada con la relación lineal observada, permitió al Instituto construir un modelo econométrico que produce estimaciones tempranas para el Índice de Nivel de Producción. En este artículo, describimos el análisis inicial realizado por

\*INEGI, [daniel.alba@inegi.org.mx](mailto:daniel.alba@inegi.org.mx), and [hugo.hernandez@inegi.org.mx](mailto:hugo.hernandez@inegi.org.mx)

**Acknowledgements:** The authors wish to express their deepest gratitude to former INEGI President Eduardo Sojo Garza-Aldape and current INEGI President Julio Alfonso Santaella Castell for their valuable suggestions in designing the core strategy for building and testing regression models. Special thanks go to Enrique De-Alba-Guerra, INEGI Vice-President, for coming up with the idea of incorporating logarithmic differences into the modeling phase. The authors also wish to thank Arturo Blancas, Head of the Economic Statistics Directorate, Susana Perez, Director of Economic and Agriculture Censuses, and Gerardo Durand, Director of Economic Administrative Registers, for their valuable advice in the realization of this project. The effort from several INEGI colleagues in collecting and organizing the data used in this project is also appreciated. Last but not least, INEGI is deeply indebted to the CFE employees, who have provided Electric Energy Consumption data without failing a single month.

describe the characteristics and evolution of the “definitive” econometric model, and compare early estimates, computed in real time, against official Production Level figures, as an empirical means for evaluating early estimation accuracy. We observed that 93% of the time, the official figure is located inside the estimation limits, which were computed with a 95% confidence level; this means that, in this case, observed empirical accuracy approached the theoretical confidence level. Finally, in this paper we comment about INEGI’s data sharing experience with CFE and talk about future steps to improve this nowcasting process.

**Key words:** linear regression; nowcasting; macroeconomic indicators; electric energy consumption; manufacturing activity level index.

Recibido: 20 de mayo de 2020.  
Aceptado: 23 de febrero de 2021.

este organismo del Estado mexicano para determinar el modelo que explica la relación entre ambas variables; luego, explicamos las características y la evolución del modelo econométrico definitivo y comparamos las estimaciones oportunas, calculadas en tiempo real, contra las cifras oficiales de nivel de producción, a modo de evaluación empírica. Observamos que 93 % de las veces, la cifra oficial se encuentra dentro de los límites de estimación, que se calcularon con un nivel de confianza de 95 %; esto significa que la precisión empírica observada se acerca al nivel de confianza teórico. Finalmente, en este documento comentamos sobre la experiencia de intercambio de datos entre el INEGI y la CFE, y contemplamos posibles pasos futuros para mejorar este proceso de estimación.

**Palabras clave:** regresión lineal; *nowcasting*; indicadores macroeconómicos; consumo de energía eléctrica; Índice de Nivel de Producción.



Designed by Freepik/https://www.freepik.es/foto-gratis/fotografia-chapista\_946190.htm#page=1&query=manufacturas&position=41

## 1. Introduction

The aggregate Production Level in Mexico's Manufacturing Sector is a key macroeconomic variable which gives policymakers important clues about the health status of the national economy, given Mexico's Manufacturing Sector significant contribution to the National Gross Domestic Product. The objective of this paper is to describe the used methodology aimed to investigate the functional relationship between **electric energy consumption** and **production level** in Mexico's manufacturing sector; it is of great interest to know such functional relationship, since the process for measuring the Monthly Manufacturing Production Level Index (IMAI-31-33) by means of national accounting methods is rather elaborate and time-consuming, while the process for measuring the consumption of electric energy in Mexico's manufacturing sector is faster and more direct. One would hope that if the latter variable is known in a timely fashion, then it would be feasible to obtain, in an economical way, an early estimate of the manufacturing production level, assuming we know the functional relationship between both variables.

Analysis of Monthly data collected by the Federal Electricity Commission (CFE) and by INEGI (Mexico's National Statistical Office) shows that there is a strong linear relationship between electric energy consumption and production level aggregated at the manufacturing sector level and at national level, so it seems appropriate to use linear regression methods to estimate the functional relationship between these variables. In practice, INEGI obtains, at establishment level, monthly observations for both the consumption of electric energy and the volume of production (industrial activity), although at different moments in time: on the one hand, electric energy consumption data for establishments are provided to INEGI by CFE, approximately 15 days after the end of the reference month, while on the other hand, volume of production data at establishment level are collected, analyzed, processed, and published by INEGI's System of National Accounts (SNA) in aggregate and preliminary form, approximately 40 days af-

ter the end of the reference month; the empirically observed linear relationship between the two variables at the aggregate national manufacturing sector level, coupled with the timeliness of the data provided by CFE, allow INEGI to obtain good early estimates of the production level in Mexico's manufacturing sector.

Obtaining a regression model to generate good early estimates for the IMAI-31-33 indicator, based on electric energy consumption data, requires fairly long-time series; for the production level in Mexico's manufacturing sector, INEGI has compiled monthly observations starting from January 1993; thus, as of February 2020, the IMAI-31-33 time series contains more than 27 years of monthly observations; on the other hand, INEGI, with data from CFE, has compiled monthly electric energy consumption observations starting from January 2013; from these CFE monthly observations, INEGI built an electric energy consumption indicator for Mexico's manufacturing sector, called ICEE (both ICEE and IMAI-31-33 are acronyms in Spanish). Thus, ICEE is a time series with more than 84 monthly observations (7 years of monthly observations). This, of course, means that we cannot use all the available IMAI-31-33 observations for the construction of a regression model if we want to include ICEE as an explanatory variable. Fortunately, now ICEE is long enough to build statistically valid regression models.

This paper is structured as follows: section 2 describes the origin and characteristics of the data used in our analysis; section 3 describes how we prepare our data for the construction of regression models. Section 4 describes the characteristics of some regression models fitted to the prepared data that were available to us back in 2015, when our objective was to arrive at a functional model for generating early estimations (nowcasts) for the IMAI-31-33 indicator as a function of electric energy consumption; we begin with a simple two-variable linear regression model, and then we progress towards models that overcome the deficiencies of their predecessors. Section 5 shows out-of-sample estimates obtained with the models from section

4, and their accuracy assessments by comparing them against officially published IMAI-31-33 values; the evidence shown in sections 4 and 5 will help us select a “definitive” working model to generate subsequent IMAI-31-33 nowcasts. Section 6 shows the complete sequence of IMAI-31-33 nowcasts generated by the “definitive” model selected in section 5, running from August 2015 to February 2020; we compare this sequence of estimated values against officially published IMAI-31-33 values, and comment on the changes the “definitive” model has undergone across time. Finally, section 7 briefly describes INEGI’s data sharing experience with CFE, and discusses possible avenues for future work.

## 2. Origin and characteristics of the data

### CFE data

As mentioned above, electric energy consumption data are provided to INEGI by CFE on a monthly basis, approximately 15 days after the end of the reference month; these data contain electric energy consumption values, at user (establishment)

level, which start at January 2013. Table 1 shows the structure of CFE monthly data provided to INEGI.

In Table 1, fields with an asterisk (\*) at the end of their names are used for record linkage activities, while fields with two asterisks (\*\*) at the end of their names are used for determining which CFE user (establishment) records to include in the sample employed in the computation of the ICEE indicator. Of particular importance is field k\_YYYYMM, which in itself contains the electric energy consumption data, in kWh. As of February 2020, INEGI receives each month about five million CFE user records belonging to the industrial (including manufacturing) trade and services economic sectors. Fields k\_YYYYMM and i\_YYYYMM are available simultaneously in a monthly dataset for several months; CFE sends revised data for all months from the current year and from the previous year, so, for example, CFE data sent after the end of reference month February 2020, contains data for each month of 2019, and data for January 2020 and February 2020.

The record linkage activities (not described in this paper) and the analysis and experiments described below, were conducted by the area of Statistical Linkage of Economic Administrative Regis-

Table 1

Continue

**Structure of CFE Administrative Data provided to INEGI**

Field name	Description
rpu*	User's Permanent Record key (Establishment's ID key), assigned by CFE
num_cta	Service's Account Number associated to user, assigned by CFE
estatus**	Code for Status of Service (Active, Suspended, Closed down, etc.)
nombre*	User's name
direccion*	User's address (street name and building number)
colonia*	Name of residential subdivision for user's address
cve_edo*	Mexican State code for user's address
estado*	Mexican State name for user's address
cve_mpio*	Municipality code for user's address
municipio*	Municipality name for user's address
poblacion*	Name of Settlement or City for user's address
e_calles1*	Name of contiguous street # 1 for user's address
e_calles2*	Name of contiguous street # 2 for user's address



### Structure of CFE Administrative Data provided to INEGI

Field name	Description
cp*	Postal code for user's address
Telefono	User's telephone number (censored by CFE)
rfc*	User ID as a Business, assigned by Mexico's Federal Tax Agency
fecha_alta	Service's starting date
Tarifa	Code for type of service tariff specified in contract between CFE and user
Hilos	Number of phases specified in contract between CFE and user
tipo_sumin	Code for supplying method specified in contract between CFE and user
carga_inst	Installed load specified in contract between CFE and user
dem_contra	Demand cap specified in contract between CFE and user
cve_empre	Centralized Collection Agency code
Empresa	Centralized Collection Agency name
giro_scian	Code of economic activity carried out in the establishment, according to CFE
x_lectura*	X coordinate for energy meter's geographic location, in UTM format
y_lectura*	Y coordinate for energy meter's geographic location, in UTM format
x_reparto*	X coordinate for invoice delivery place, in Latitude-Longitude format
y_reparto*	Y coordinate for invoice delivery place, in Latitude-Longitude format
medidor1	Energy meter #1 ID Code
medidor2	Energy meter #2 ID Code (if applicable)
medidor3	Energy meter #3 ID Code (if applicable)
medidor4	Energy meter #4 ID Code (if applicable)
medidor5	Energy meter #5 ID Code (if applicable)
tipo_fact**	Invoice issuing type (code) specified in contract
k_YYYYMM**	energy consumption (in kWh) recorded in year YYYY, month MM
i_YYYYMM**	cost of electric energy consumed in year YYYY, month MM, in current pesos

ters (DVERA, its acronym in Spanish), which is part of INEGI. The record linkage process allowed DVERA to retrieve the correct North American Industry Classification System (NAICS) code at establishment level from INEGI's Statistical Business Register (SBR); we'll see in section 3 why it is important to have the correct NAICS economic-activity-classification code associated to CFE user records. Although the CFE data already contain information on the class of economic activity (field "giro\_scian" in Table 1), it has been observed that NAICS classification codes from CFE are in many cases missing or incorrect, since this piece of information is filled in by CFE according to the user's own declaration

when establishing a service contract with CFE. User's name, business ID from the Federal Tax Agency, and data from address and geographical location fields are used to link CFE records (uniquely identified by their "rpu" keys) to SBR establishment records by means of probabilistic record linkage techniques.

#### Missing values in CFE data

Some Missing values in fields k\_YYYYMM and i\_YYYYMM are usually observed for the most recent month (i.e., for the reference month). The sooner

CFE delivers its monthly data to INEGI, the greater the number of missing values at the reference month; this is probably due to unregistered monthly invoices at the time of data compilation by CFE; this hypothesis is later confirmed when revised CFE data arrives in subsequent months. To fill in missing values, DVERA uses a simple 2-step procedure:

1. For all CFE records  $r$  with complete electric energy consumption data in reference month  $M$  and previous month  $M-1$ , belonging to a given manufacturing subsector  $S$  (according to the NAICS classification code from INEGI's SBR), compute the proportion  $p_s = \sum_{res} c_{r,M} / \sum_{res} c_{r,M-1}$ , where  $c_{r,M}$  is the electric energy consumption of establishment  $r$  at month  $M$ .  $p_s$  can be interpreted as an approximation to the monthly growth rate in electric energy consumption for manufacturing subsector  $S$  at reference month  $M$ .
2. For each record in manufacturing subsector  $S$  with missing value  $c_{i,M}$  assign  $c_{i,M} = p_s c_{i,M-1}$ .

**NB:** This 2-step procedure only takes into account records included in a sample of CFE records especially designed to build the ICEE indicator. Below we give some more details about the construction of this CFE sample.

### CFE records included in the calculation of the ICEE indicator

Depending on the type of contract that an establishment signs with CFE, its electric energy consumption invoice can be issued once every month, or once every other month; this is indicated by the "tipo\_fact" field from Table 1. Large establishments generally receive their CFE invoices (and their consumptions recorded into CFE database) once every month. These large establishments have a high probability of being included in the sample employed for calculating the ICEE indicator, since the main inclusion criterion is to consider those CFE establishments who are sta-

tistically linked to a special subset of INEGI's SBR, called *INEGI master sample*, which contains the records of the largest establishments in the national economy (the size of an SBR establishment is measured jointly by number of employees and income), and serves as a basis for constructing samples used by INEGI's national economic surveys. According to data from the 2014 economic census, although large establishments only represent 4% of the total number of establishments in the manufacturing sector, they contribute with 88% of the total income and 68% of the total number of employees in that same sector. As of February 2020, our sample for building the ICEE indicator contains 17,085 CFE records from the manufacturing sector with monthly invoicing frequency; it is worth mentioning that this sample has been growing steadily since we started with this project back in the second half of 2015. When the first early IMAI-31-33 estimate was generated, corresponding to reference month August 2015, our sample for building the ICEE indicator contained 7,744 CFE records. Periodically, CFE data are analyzed by DVERA to update the CFE sample for computing the ICEE indicator by detecting closed down records (which does not necessarily imply that the corresponding establishment has closed down) or new records; these new records sometimes correspond to new establishments and sometimes correspond to existing establishments who updated their contract with CFE. From here on, we can see that CFE data can also be used to periodically update INEGI's SBR.

### Complementary electric energy consumption data

In Mexico, there are a few manufacturing businesses who also generate electric energy for self-consumption. Mexico's Federal Government has an administrative register, at establishment level, for these self-sufficient businesses, which is managed by an agency, very closely related to CFE, called the *National Center of Energy Control* (CENACE for its acronym in Spanish). Starting from the calculation of the early IMAI-31-33

estimate corresponding to reference month august 2016, we incorporated 43 CENACE records to our CFE sample for computing the ICEE indicator. As of February 2020, our sample includes 66 CENACE records, who represent 1.7% of the total electric energy consumption recorded in our sample across all months. Of course, these 66 CENACE records were also linked to INEGI's SBR, in order to retrieve their correct NAICS economic activity codes.

### Data from the System of National Account

DVERA obtains production level data for manufacturing industries in Mexico directly from the Manufacturing Production Level Index, IMAI-31-33. This indicator, aggregated at the economic sector level, is published on a monthly basis by the System of National Accounts of Mexico (SNA) at the INEGI website. Since the construction process for the IMAI-31-33 indicator by the SNA depends on survey-collected data, it is published approximately 40 days after the end of the reference month. For the manufacturing sector in Mexico, we initially observed that the linear correlation coefficient between ICEE and IMAI-31-33 is high, close to positive 1 (see figure 1); from this point, we see that it is feasible to have a good notion, several days in advance, about the magnitude of the next monthly "true" published IMAI-31-33 value, by using CFE electric energy consumption data, along with a properly built regression model.

**NB:** In this paper we work only with non-seasonally adjusted time series; this choice, in our experience, produces better results, as we have seen after several exercises with linear regression models involving both non-seasonally adjusted and seasonally adjusted time series. If we want to obtain a seasonally-adjusted nowcast for IMAI-31-33 as a function of electric energy consumption, we can simply append our non-seasonally adjusted nowcast to the non-seasonally adjusted IMAI-31-33 time series itself, and then use a seasonally adjusting software, such as x-13arima-seats.

### 3. Data preparation to conduct a regression analysis

With the data provided by CFE and SNA, monthly data on electric energy consumption and on volume of production, respectively, are available for the main manufacturing industries in Mexico. From these data, it is possible to build two monthly frequency time series:

- Time series  $X_t$ : electric energy consumption index for Mexico's manufacturing sector (ICEE).
- Time series  $Y_t$ : production level for Mexico's manufacturing sector.

Here, subscript  $t$  indicates the month to which a measurement for any of these two variables corresponds.

The  $Y_t$  variable is simply a subset of the IMAI-31-33 time series<sup>1</sup> mentioned above, which can be located within the IMAI file: Original series - Physical volume indices, base 2013 = 100, namely in the row labeled as "31-33 - Industrias manufactureras". This file can be directly downloaded on the following link (in Spanish): <https://www.inegi.org.mx/temas/imai/#Tabulados>.

To generate variable  $X_t$  from CFE data, the following procedure was defined:

1. For each month  $t$ , sum the *weighted* electric energy consumption values corresponding to all CFE records in our sample:

$$S_t = \sum_r w_{s(r),t} C_{r,t};$$

$c_{r,t}$  is the electric energy consumption (in kWh) of establishment within our sample in month  $t$ , while  $w_{s(r),t}$  is a weight that depends both on month  $t$ , and on the manufacturing subsector of economic activity

<sup>1</sup> For the construction of IMAI-31-33, SNA uses information mainly from INEGI's Monthly Survey on Manufacturing Industries (EMIM for its acronym in Spanish); this national-level economic survey is also based on INEGI's SBR master sample. See [1] for more information.

$s(r)$  to which establishment  $r$  belongs  $t$ . Weights  $w_{s,t}$  satisfy the convexity property; i.e., the sum of all weights for a fixed month equals 1. Table 2 shows typical values for weights  $w_{s,t}$ .

2. Re-scale time series  $s_t$  so that it coincides with  $Y_t$  at a base period (say  $t = 1$ ):

$$X_t = \frac{Y_1}{s_1} s_t.$$

Manufacturing subsector weights  $w_{s,t}$  just like the IMAI-31-33 indicator, are also provided by SNA; furthermore, their availability coin-

cides with that of the IMAI 31-33 indicator; that is, weights  $w_{s,t}$  are available approximately 40 days after the end of the reference month. In order to estimate the manufacturing subsector weights for the reference month (say, month  $M$ ) for which electric energy consumption data are already available, but not yet for the IMAI 31-33 indicator, take the most recent weight  $w_{s,M-1}$  for manufacturing subsector  $s$ , and multiply it by the factor  $w_{s,M-12} / w_{s,M-13}$  which represents the monthly growth rate that weight  $w_{s,t}$  experienced a year before reference month  $M$ ; in this way, we have:

$$\widehat{w}_{s,M} = (w_{s,M-12} / w_{s,M-13}) w_{s,M-1}$$

Table 2

**Manufacturing subsector weights for month May 2019. These weights are provided by SNA and vary slightly from month to month**

Manufacturing subsector $s$	Description	Weights $w_{s,t}$ ( $t$ corresponds to May 2019)
311	Food manufacturing	0.2295
312	Beverage and tobacco product manufacturing	0.0598
313	Textile mills	0.0086
314	Textile product mills	0.0045
315	Apparel manufacturing	0.0192
316	Leather and allied product manufacturing	0.0076
321	Wood product manufacturing	0.0089
322	Paper manufacturing	0.0176
323	Printing and related support activities	0.0058
324	Petroleum and coal products manufacturing	0.0136
325	Chemical manufacturing	0.0806
326	Plastics and rubber products manufacturing	0.0252
327	Nonmetallic mineral product manufacturing	0.0244
331	Primary metal manufacturing	0.0620
332	Fabricated metal product manufacturing	0.0315
333	Machinery manufacturing	0.0449
334	Computer and electronic product manufacturing	0.0873
335	Electrical equipment, appliance, and component manufacturing	0.0287
336	Transportation equipment manufacturing	0.2102
337	Furniture and related product manufacturing	0.0095
339	Miscellaneous manufacturing	0.0206

where  $\widehat{w}_{s,M}$  is an estimate for weight  $w_{s,M}$ .

The data  $(X_t, Y_t)$  used in the analysis presented in sections 4 and 5 of this paper correspond to the data available to us back in the second half of 2015, when our objective was to build a “definitive” working model useful in explaining the relationship between  $X_t$  and  $Y_t$  and at the same time useful in generating “nowcasts” for  $Y_t$ . Thus, we have 34 monthly observations available for our present analysis:  $t=1$  corresponds to January 2013,  $t=2$  corresponds to February 2013, ...,  $t=34$  corresponds to October 2015. Figure 1 shows the time series corresponding to variables  $X_t$  and  $Y_t$ . Additionally, the values of these two variables are listed in appendix 1 of this document, for the sake of experiment reproducibility.

#### 4. Models fitted to the analysis variables

Once the analysis variables  $X_t, Y_t$  are prepared, the objective now is to generate “nowcasts” of  $Y_t$  as a

function of  $X_t$  for reference month  $t=M$ . To reach this aim, we chose to use linear regression models, commonly used in econometrics. This section describes the main models that we progressively fitted to the analysis variables  $X_t$  and  $Y_t$ , indicating in each case their characteristics. When we conducted this model construction exercise, back in 2015, our approach was to progressively find a regression model such that subsequent models improved upon the deficiencies found in its predecessors. This model construction exercise was done with help of the R Statistical Computing Software [2].

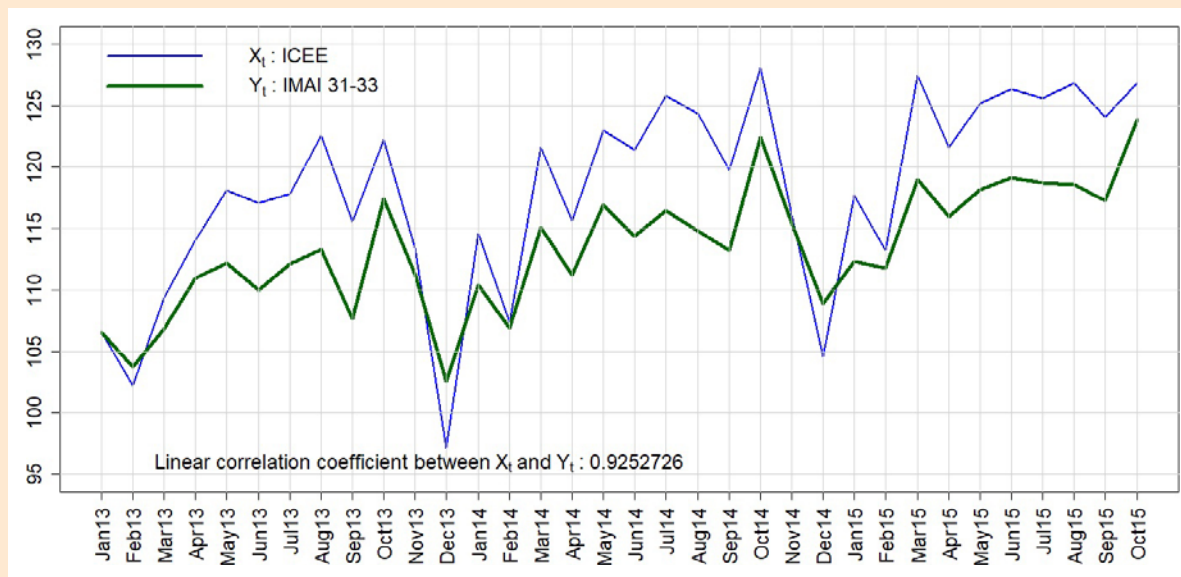
#### 4.1 Simple linear regression model

The first model fitted to our data was a simple linear regression model of the form

$$Y_t = \alpha + \beta X_t + \varepsilon_t. \tag{1.0}$$

For a model of the form (1.0) to be considered as an adequate fit to the data  $(X_t, Y_t)$ , in theory the disturbances  $\varepsilon_t$  must follow a white noise process;

Figure 1



Time series for IMAI-31-33 ( $Y_t$  variable, bold line) and for the ICEE indicator ( $x_t$  variable, thin line), shown across time interval January 2013 – October 2015. Note that monthly movements in both time series are similar to each other, which translates to a strong linear positive relationship (sample Pearson correlation coefficient equal to 0.93); this suggests the feasibility of estimating  $Y_t$  values as a function of  $X_t$  values, via a linear regression model, since the most recent value for  $X_t$  is available almost a month before the official publication of the corresponding  $Y_t$  value.

i.e.,  $\varepsilon_t$  variates must be independent and identically distributed, each with normal distribution with mean zero and constant variance  $\sigma^2$ ; to abbreviate, we denote this requirement as  $\varepsilon_t \sim iid N(0, \sigma^2)$ . By using the data in appendix 1 to fit a model of the form (1.0) via Ordinary Least Squares (OLS), we obtain the estimation equation:

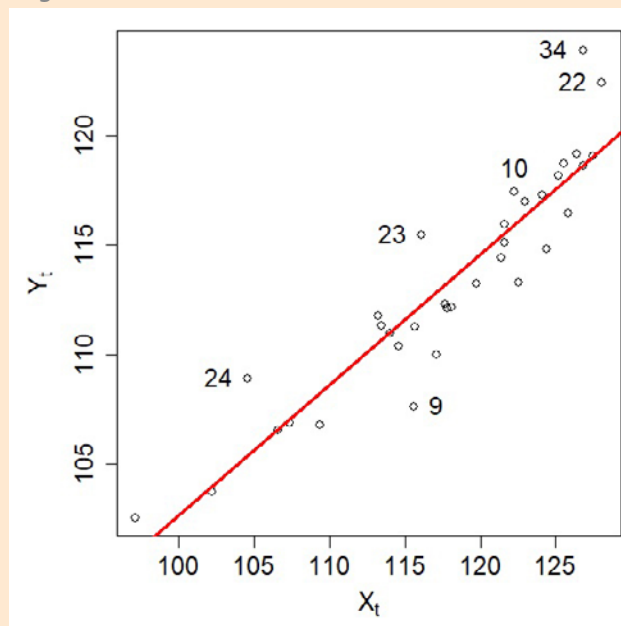
$$\hat{Y}_t = 43.14049 + 0.59528 X_t;$$

thus, the estimated parameters are intercept  $\hat{\alpha} = 43.14049$  (5.103), slope  $\hat{\beta} = 0.59528$  (0.043); figures in parentheses indicate standard errors. From here, it is possible to see that both coefficients are statistically significant. Additionally, adjusted  $R^2 = 0.852$ , and the corresponding F-test of overall significance has a  $p$ -value of  $5.1 \times 10^{-15}$ . Model residuals  $r_t = Y_t - \hat{Y}_t$  (sample estimates of the  $\varepsilon_t$  disturbances) appear to be approximately centered around 0 (min = -4.3, median = -0.04, max = 5.3). All these model hypothesis tests indicate a good fit so far.

The corresponding fitted regression line is shown in Figure 2, along with data points  $(X_t, Y_t)$  used to build model (1.0).

Before accepting this model as the definitive one, additional tests are necessary to verify that the residuals  $r_t$  come from a white noise process. The Durbin-Watson (DW) test for the fitted model of the form (1.0) gives a test statistic equal to 1.11, with a  $p$ -value close to zero; this strongly suggests that we must reject the null hypothesis which states that the model residuals are serially uncorrelated; from this point, we conclude that there is strong evidence that the model residuals  $r_t$  follow a 1<sup>st</sup> order autoregressive process. To correct the problem of auto-correlated residuals in a linear regression model, there are several alternatives: one is to apply the Cochrane-Orcutt correcting procedure to model the disturbances using a first-order autoregressive model of the form  $\varepsilon_t = \rho\varepsilon_{t-1} + v_t$  with  $v_t \sim iid N(0, \sigma^2)$ . A second alternative is to use generalized least squares together with the autoregressive structure of the  $\varepsilon_t$  disturbances (Cochrane-Orcutt uses OLS). A third option is to incorporate explanatory lagged variables  $X_{t-1}, Y_{t-1}$  into the re-

Figure 2



Regression line  $\hat{Y}_t = 43.14049 + 0.59528X_t$ , together with data points  $(X_t, Y_t)$ ,  $t=1, 2, \dots, 34$ . Data points farthest from the regression line, vertically-wise (outliers), are labeled with the number of the month to which they correspond; in this way, we see that outliers are present in sep-2013 (9), oct-2014 (22), nov-2014 (23), dec-2014 (24), and oct-2015 (34). We also labeled oct-2013 (10), which is at a fair vertical distance from the regression line, without being an outlier.

gression model; this third approach is known as auto-regressive modeling with distributed lags. For more information about these approaches, see [3].

An additional problem with this simple linear regression model (1.0) fitted to our data has to do with the outliers shown in Figure 2. As can be seen, outliers manifest themselves at different months, and for almost 3 years of monthly data values, there are outliers at October (outliers 22 and 34; 10 is not an outlier, but it is not either one of the closest points to the regression line). This suggests the need to add to subsequent linear regression models an indicator variable for the month of October as an explanatory variable; this indicator variable could be roughly defined as:

$$I_{oct} = \begin{cases} 1 & \text{if } t \text{ corresponds to an october month} \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

## 4.2 Autoregressive model with distributed lags

If the disturbances from regression model (1.0) follow a first-order autoregressive process  $\varepsilon_t = \rho\varepsilon_{t-1} + v_t$ , with  $v_t \sim iid N(0, \sigma^2)$ , which appears to be the case when fitting model (1.0) to our data, then it is possible to correct this autoregressive effect if we instead use a model of the form:

$$Y_t - \rho Y_{t-1} = \alpha(1 - \rho) + \beta(X_t - \rho X_{t-1}) + v_t, \quad (2.0)$$

which is obtained by subtracting  $\rho Y_{t-1} = \alpha\rho + \beta\rho X_{t-1} + \rho\varepsilon_{t-1}$  from model (1.0). Of course,  $\rho$  corresponds to the autocorrelation coefficient which characterizes the 1<sup>st</sup> order auto-correlated disturbances from model (1.0). The Cochrane-Orcutt procedure obtains an estimate of  $\rho$  using an iterative algorithm, although it is also possible to re-parameterize model (2.0) in order to obtain an autoregressive model with distributed lags of the form:

$$Y_t = \alpha^* + \rho Y_{t-1} + \beta X_t + \gamma^* X_{t-1} + v_t, \quad (2.1)$$

where  $\alpha^*$  represents the quantity  $\alpha(1 - \rho)$ , and  $\gamma^*$  represents the quantity  $-\rho\beta$ . The parameters from model (2.1) can be estimated via OLS.

By fitting a model of the form (2.1) to the data shown in appendix 1 via OLS, together with an indicator variable  $I_{oct}$ , we obtained the following estimation equation (note that, in this case, for variables  $X_t$ ,  $Y_t$  and  $I_{oct}$ , the initial value for  $t$  corresponds to February 2013):

$$\widehat{Y}_t = 12.54 + 0.69Y_{t-1} + 0.52X_t - 0.33X_{t-1} + 5.21I_{oct}.$$

It is possible to see that all regression coefficients in fitted model (2.1) are statistically significant; adjusted  $R^2 = 0.948$ , and model residuals appear to be centered at zero (min = -2.6, median = 0.3, max = 2.0).

The Durbin-Watson test for fitted model (2.1) yields a test statistic equal to 2.44, with an associated  $p$ -value close to 0.3. From this point, we see that fitted model (2.1), which includes an indicator variable for October, is free of residual first-order

autocorrelation, and all its explanatory variables are statistically significant.

Additionally, a Breusch-Pagan test for heteroscedasticity (non-constant variance) was conducted on the model residuals, producing a test statistic equal to 0.716 with an associated  $p$ -value close to 0.4; The Breusch-Pagan test's null hypothesis states that there is no heteroscedasticity in the residuals; The  $p$ -value in this case tells us that there is not enough evidence to reject the null hypothesis, so it is concluded that fitted model (2.1) successfully passes the heteroscedasticity test.

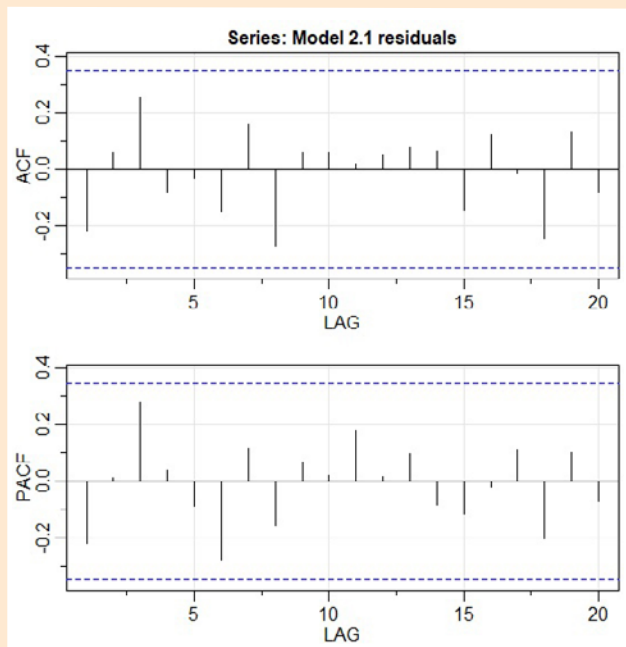
Another test that can be done on the residuals from the fitted model with form (2.1) is that of Cramér-von Mises, to verify the normality of the residuals. In this case, we obtained a test statistic equal to 0.0502, with associated  $p$ -value close to 0.5. In the Cramér-von Mises test, the null hypothesis states that the residuals are normally distributed; the  $p$ -value indicates that we cannot reject the null hypothesis, so it is concluded that the residuals from model (2.1) are normally distributed.

When working with linear regression models which contain two or more explanatory variables, as is the case with model (2.1), we must make sure that there is no high linear correlation among explanatory variables; for this, we applied a multicollinearity test (for more details, see [4]), obtaining *Variance Inflation Factors* (VIFs) equal to 7.6, 1.2 and 8.2; if any VIF is greater than 10, then we have multicollinearity problems, which does not occur in this case. Therefore, fitted model (2.1) does not have multicollinearity problems.

Finally, the graphs for the sample autocorrelation function (ACF) and for the sample partial autocorrelation function (PACF), shown in Figure 3, confirm that the residuals from fitted model (2.1) are uncorrelated over time.

From this point, we see that fitted model (2.1) is adequate, although it could be argued that it has several estimable parameters, and a couple of VIF's are rather large. Next, we'll investigate a more parsimonious alternative.

**Figure 3**



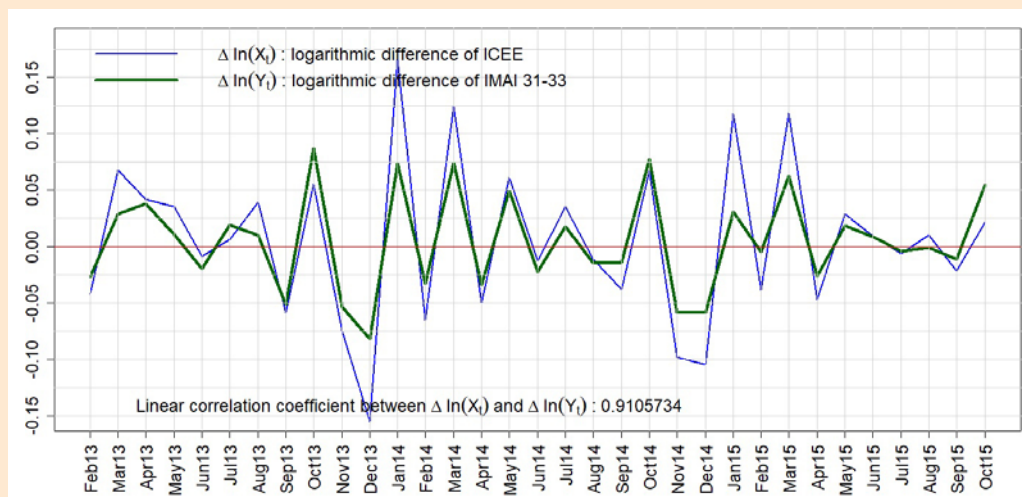
Sample autocorrelation function (ACF) and sample partial autocorrelation function (PACF) for residuals of fitted model (2.1). The lagged correlations do not extend beyond horizontal dotted lines, which indicates that there is no evidence of residual autocorrelation.

### 4.3 Logarithmic differences model

A proposed modeling alternative to that presented in subsection 4.2 is the *logarithmic differences model*, which is built by means of the following expression:

$$\Delta \ln(Y_t) = \beta \Delta \ln(X_t) + \varepsilon_t, \quad (3.0)$$

**Figure 4**



Variables  $\Delta \ln(X_t)$  (thin line),  $\Delta \ln(Y_t)$ : (bold line) used in the construction of model (3.0). Notice that the initial value for  $t$  corresponds to February 2013; in this case, we cannot obtain  $\Delta \ln(X_t)$  for January 2013. Sample Pearson correlation coefficient between variables is 0.91.

where  $\Delta \ln(Y_t) := \ln(Y_t) - \ln(Y_{t-1}) = \ln(Y_t/Y_{t-1})$  is the logarithmic difference of  $Y_t$ ,  $\Delta \ln(X_t)$ : is the logarithmic difference of  $X_t$ ,  $\beta$  is the parameter to be estimated (via OLS), and  $\varepsilon_t$  are the usual stochastic white-noise disturbances in a linear regression model. The advantage of this model lies in its parsimony; that is, it is not necessary to estimate many parameters, unlike model (2.1). Note that this model does not directly estimate values for  $Y_t$ ; instead, it estimates the *monthly growth rate* of  $Y_t$ . To see this, first note that  $\ln(1 \pm r) \approx \pm r$  if  $r$  is a reasonably small value; for example,  $\ln(1+0.05) = 0.04879 \approx 0.05$ , while  $\ln(1-0.05) = -0.05129 \approx -0.05$ . Now, the logarithmic difference  $\Delta \ln(Y_t) = \ln(Y_t/Y_{t-1})$  is in fact the natural logarithm of the variation of  $Y_t$  with respect to its previous monthly value  $Y_{t-1}$ ; if this monthly growth is reasonably small, then  $Y_t/Y_{t-1}$  will be of the form  $1+r$ ; for example, if  $Y_T = 118.1$ ,  $Y_{T-1} = 116.0$ , for  $t = T$ , then  $Y_T/Y_{T-1} = 1.018103 = 1 + 0.018103$ , which means that when  $t = T$ ,  $Y_t$  grows, or varies 1.8%, with respect to its previous monthly value  $Y_{t-1}$ ; note that in this example,  $\Delta \ln(Y_T) = \ln(Y_T/Y_{T-1}) = 0.01794153$  is reasonably close to the true  $Y_t$  monthly growth rate for  $t = T$ .

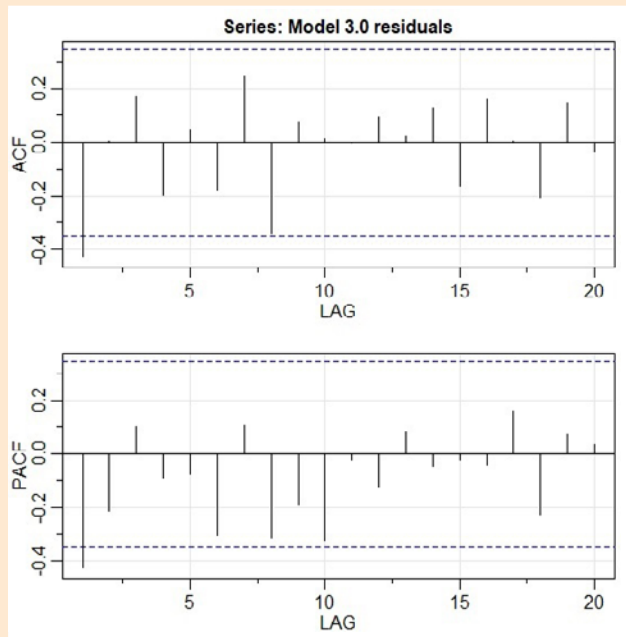
Figure 4 shows a graph of the transformed variables  $\Delta \ln(X_t)$  and  $\Delta \ln(Y_t)$ , obtained directly from the data in appendix 1.

By fitting, via OLS, a model of the form (3.0) to the data represented graphically in



Figure 4, together with an indicator variable for the months of October, we obtained the estimation equation  $\Delta \ln(Y_t) = 0.523002 \Delta \ln(X_t) + 0.47991 I_{oct}$ . We also applied the same battery of tests from subsection 4.2 to the fitted model (3.0), without the multicollinearity test. We found out that fitted model (3.0) successfully passes all tests, except for the Durbin-Watson test, as can also be seen from Figure 5.

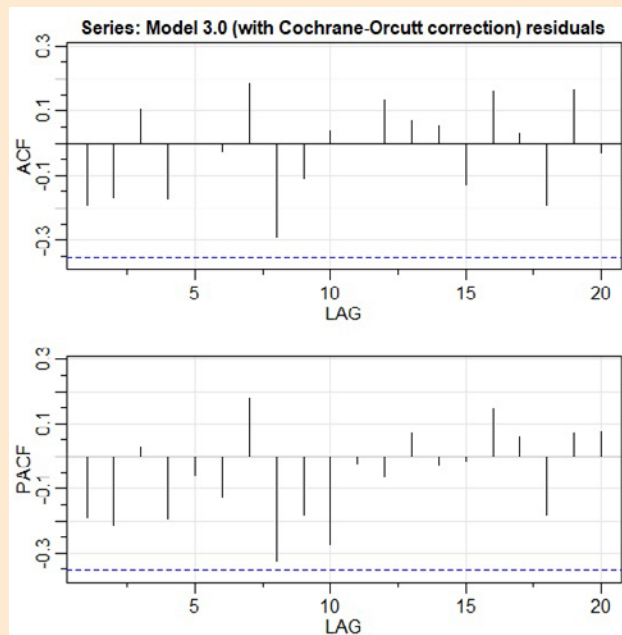
Figure 5



Sample autocorrelation function (ACF) and sample partial autocorrelation function (PACF) for residuals of fitted model (3.0). 1<sup>st</sup> lag correlation extends beyond the lower horizontal dotted line, which indicates possible presence of 1<sup>st</sup>-order negative autocorrelation in the model residuals.

To correct this 1<sup>st</sup>-order autocorrelation problem, we applied the Cochrane-Orcutt correction procedure, originally defined in [5], to fitted model (3.0); in this way, we obtained the estimation equation  $\Delta \ln(Y_t) = 0.547802 \Delta \ln(X_t) + 0.043357 I_{oct}$  with residual term  $r_t = \hat{\rho} r_{t-1}$ , where  $\hat{\rho} = -0.4277$  ( $\hat{\rho}$  is used to correct model coefficients). This time, all tests on this corrected model (3.0) are successfully passed, getting an adjusted  $R^2$  equal to 0.93 and no autocorrelation problems on model residuals, as Figure 6 shows.

Figure 6



Sample autocorrelation function (ACF) and sample partial autocorrelation function (PACF) for residuals of fitted model (3.0) with Cochrane-Orcutt correction. Lagged correlations do not extend beyond the horizontal dotted lines, which indicates that there is no evidence of residual autocorrelation.

We conclude that fitted model (3.0) with Cochrane-Orcutt correction passes all our criteria for obtaining an adequate linear regression model. In the next section we'll test empirically the out-of-sample forecasting accuracy of the models obtained here. The results from this section and the next will help us to decide on a "definitive" model.

## 5. Comparisons of out-of-sample estimates among regression models

In this section we compute out-of-sample estimates using the models built in section 4 and then compare such estimates against officially published values. As we previously saw, the data used to build our models span the time interval from January 2013 to October 2015; therefore, circumscribing ourselves to the data from appendix 1, we have the November 2015  $X_t$  value as the only element for producing out-of-sample estimates for  $Y_t$  values. Thus, in order

to “nowcast” the November 2015 IMAI 31-33 value, we incorporate the November 2015 ICEE value (namely, 112.61) into the estimation equations obtained in section 4. It is worth mentioning that the models described in section 4 were originally built on December 9, 2015, and their predictions for the month of November 2015 were compared against the “observed” November 2015 value for the IMAI 31-33 indicator, published on January 11, 2016 as a preliminary figure (namely, 117.5659). Additionally, with the published IMAI 31-33 figures, we obtained the observed (or “true”) annual and monthly growth rates: the observed annual growth rate of the IMAI 31-33 indicator for November 2016 is  $100(Y_{nov2015}/Y_{nov2014} - 1) = 100(117.5659/115.4457 - 1) = 1.84$  (see appendix 1 for  $Y_{nov2014}$  value). Likewise, the observed monthly growth rate of the IMAI 31-33 indicator for November 2016 is  $100(Y_{nov2015}/Y_{oct2015} - 1) = 100(117.5659/124.2666 - 1) = -5.39$ . Note that in the calculation of the observed monthly growth rate, we are using the revised figure for the October 2015 IMAI 31-33 indicator (124.2666) instead of the corresponding  $Y_{oct2015}$  value found in appendix 1 (123.8842).

We’ll use these observed values as part of an additional criterion for assessing the models built in

section 4. Table 3 shows out-of-sample estimations from models (1.0), (2.1) and (3.0) along with their corresponding absolute errors with respect to observed values.

Appendix 3 explains how the estimated values in table 3 were computed.

Estimation errors shown in table 3 indicate us that the logarithmic differences model (3.0) with Cochrane-Orcutt correction produces the most accurate November 2015 IMAI 31-33 nowcasts. From the model diagnostics and hypothesis testing procedures described in section 4, we see that both the distributed lags model (2.1) and the logarithmic differences model (3.0) with Cochrane-Orcutt correction have desirable statistical properties, although model (2.1) has more estimable parameters than model (3.0) and could potentially be more unstable as new monthly observations become available. We then conclude that, from the models built in section 4, the logarithmic differences model (3.0) with Cochrane-Orcutt correction is the most parsimonious, robust and is the one which produces the most accurate forecasts; thus, we select model (3.0) as our “definitive” model.

Table 3

**November 2015 out-of-sample estimations and absolute estimation errors for models (1.0), (2.0) and (3.0) with Cochrane-Orcutt correction**

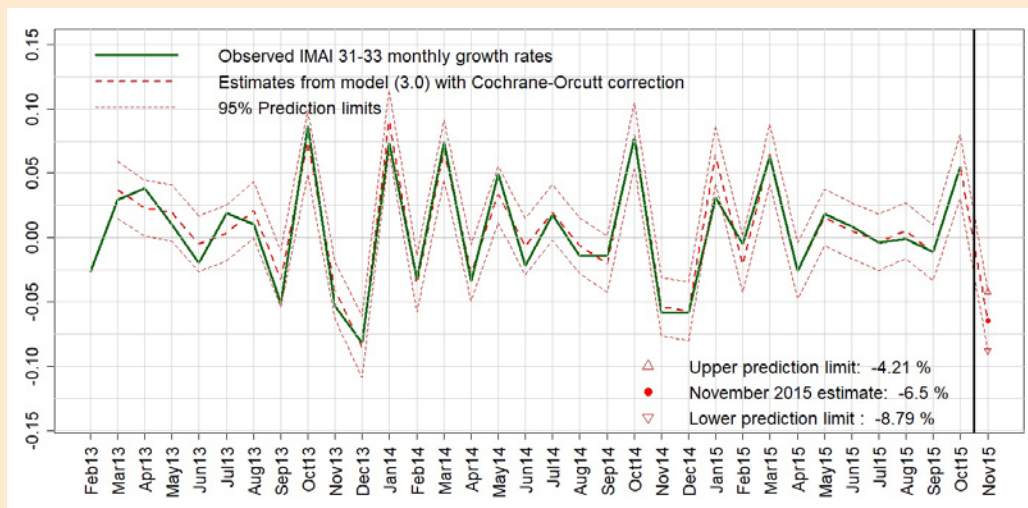
	Observed value	Estimate Model (1.0)	Absolute error Model (1.0)	Estimate Model (2.1)	Absolute error Model (2.1)	Estimate Model (3.0)	Absolute error Model (3.0)
IMAI 31-33	117.57	110.17	7.40	114.56	3.01	116.09	1.48
Annual growth rate	1.84	-4.57	6.41	-0.77	2.61	0.56	1.28
Monthly growth rate	-5.39	-11.07	5.68	-7.53	2.14	-6.50	1.11

Figures 7, 8, and 9 show graphs for in-sample and out-of-sample estimations produced with our definitive model, using the data from appendix 1. The in-sample estimations for IMAI 31-33 values and for annual growth rates were obtained by applying the same expressions derived in appendix 3.

## 6. Evaluating logarithmic differences model in real time

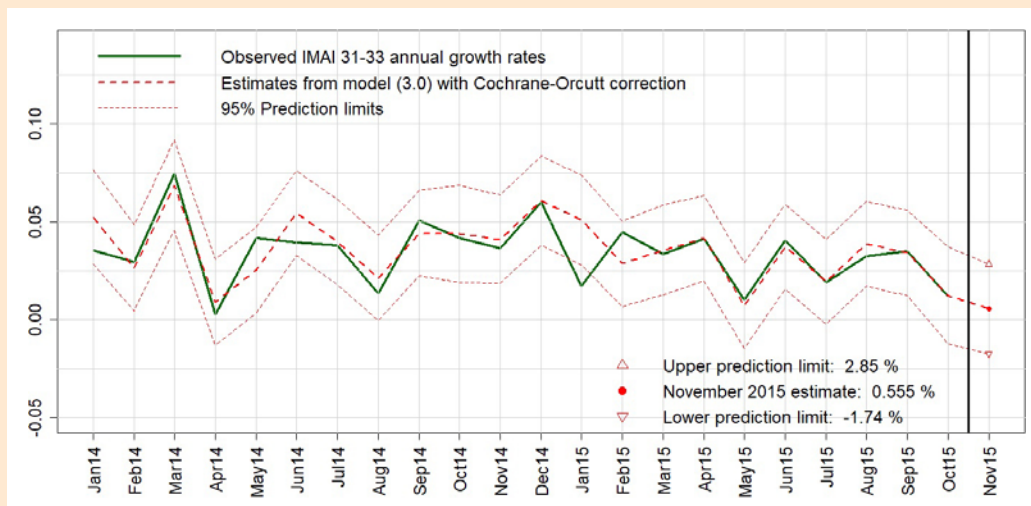
Having decided on what model to use in order to generate subsequent nowcasts for the IMAI 31-33 indicator, DVERA has fitted, on a monthly basis, li-

Figure 7



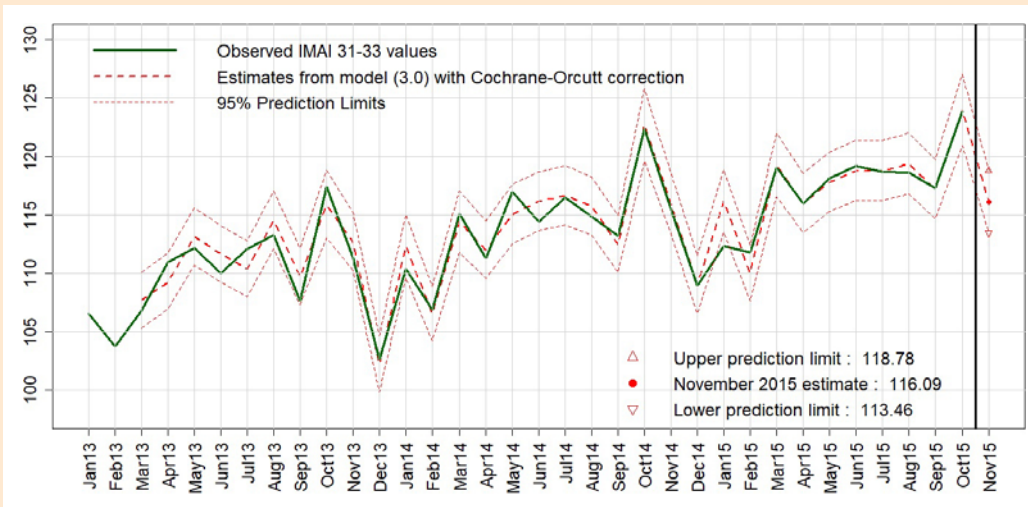
In-sample (from February 2013 to October 2015) and out-of-sample (November 2015) estimates of IMAI 31-33 monthly growth rates (dotted line), generated from the model (3.0) with Cochrane-Orcutt correction, via its estimation equation. Solid line represents observed IMAI 31-33 monthly growth rates. Correlation between observed and estimated values is 0.97.

Figure 8



In-sample and out-of-sample estimates of IMAI 31-33 annual growth rates (dotted line), generated from model (3.0) with Cochrane-Orcutt correction, by using the expression  $\Delta \ln(Y_t) + \Delta \ln(Y_{t-1}) + \dots + \Delta \ln(Y_{t-11})$ . Solid line represents observed IMAI 31-33 annual growth rates. Correlation between observed and estimated values is 0.79.

**Figure 9**

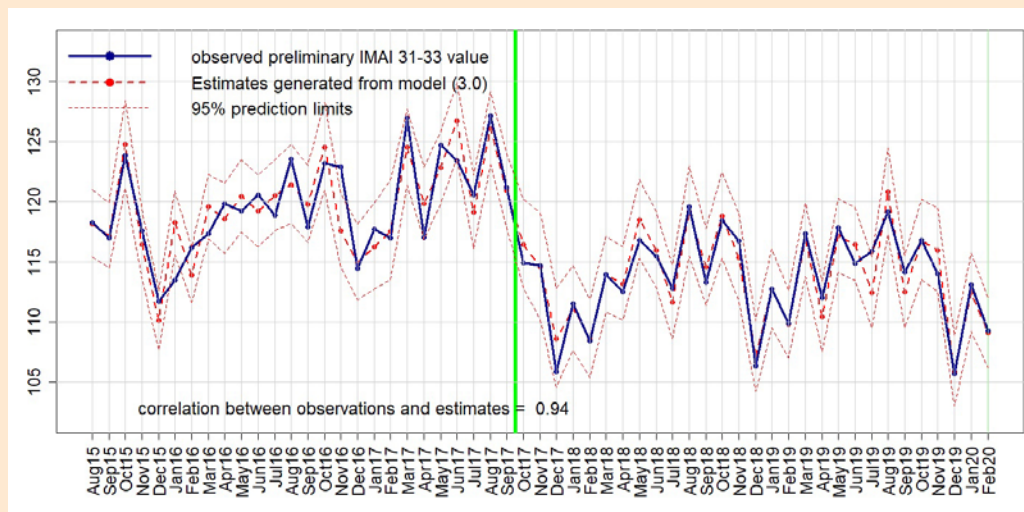


In-sample and out-of-sample estimates of IMAI 31-33 values (dotted line), generated from model (3.0) with Cochrane-Orcutt correction, by using the expression  $Y_t = Y_{t-1}e^{\Delta \ln(Y_t)}$ . Solid line represents observed IMAI 31-33 values. Correlation between observed and estimated values is 0.96.

near regression models of the form (3.0) to produce such nowcasts, beginning at reference month August 2015, and verifying each time that the fitted logarithmic differences model passes all the statistical tests for model adequacy. Figures 10, 11, and 12 show the comparisons of IMAI 31-33 nowcasts against published IMAI 31-33 values. It is worth mentioning that these comparison graphs are

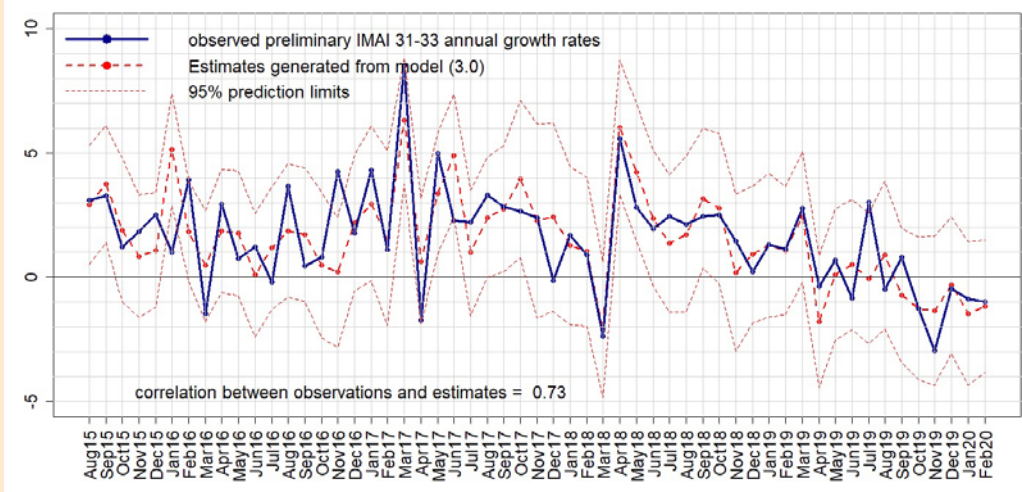
updated each month, appending each new time an additional estimate and corresponding observed value, published as a preliminary figure (no revised figures for officially published IMAI 31-33 values are displayed in Figures 10, 11 and 12). Appendix 2 shows a table with dates for reception of CFE data, calculation of nowcasts, and official publication of IMAI 31-33 values.

**Figure 10**



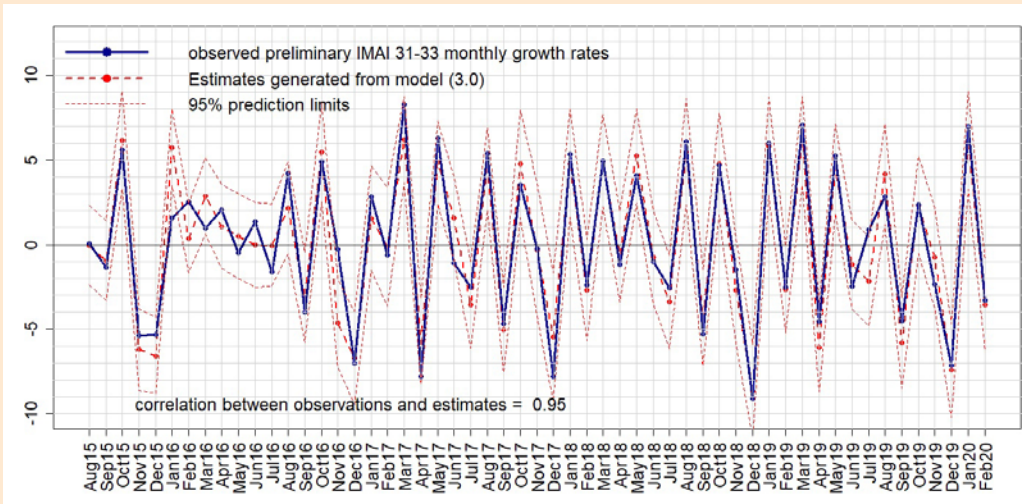
Dashed lines represent the point and interval nowcasts for the IMAI 31-33 indicator, calculated from a logarithmic differences model, while solid line represents IMAI 31-33 official values, initially published as preliminary figures. The solid vertical line in this graph indicates a change of base year from 2008 to 2013 in officially published INEGI's SNA figures, which includes the IMAI 31-33 indicator. Empirical correlation between observed and estimated values equals 0.94.

**Figure 11**



Dashed lines are the point and interval nowcasts for the IMAI 31-33 annual growth rates, calculated from a logarithmic differences model, while solid line represents official values for IMAI 31-33 annual growth rates, initially published as preliminary figures. Empirical correlation between observed and estimated values equals 0.73.

**Figure 12**



Dashed lines are the point and interval nowcasts for the IMAI 31-33 monthly growth rates, calculated from a logarithmic differences model, while solid line represents official values for IMAI 31-33 monthly growth rates, initially published as preliminary figures. Empirical correlation between observed and estimated values equals 0.95.

Table 4 shows the distribution of absolute errors between observed and estimated historical values. From Table 4 and from Figures 10, 11, and 12, we can see that for any month in the time interval August 2015 – February 2020, magnitudes of absolute estimation errors are similar across the 3 estimated quantities: index values, annual and monthly growth rates. For most months, the officially published value has “landed” inside the 95% prediction intervals, which have a mean width of between 5 and 6 percentage points for any of the 3 estimated quantities (this means that, with 95% confidence, our point estimates have a

maximum associated error of  $\pm 3\%$ ). Table 4 shows that, empirically, absolute errors tend to group around 1; a very few times, the absolute error has been close to 0, and a very few times, it has been large. In fact, only 4 times the observed IMAI 31-33 value has landed outside the 95% prediction interval: in January 2016, in November 2016, in June 2017 and in July 2019. This means that, empirically, officially published values have landed inside the prediction intervals 92.7% of the time, which is close to the theoretical (or nominal) 95% confidence level incorporated into prediction intervals.

Table 4

	Index value	Annual growth rate	Monthly growth rate
minimum	0.00	0.00	0.00
1st quartile	0.46	0.40	0.44
median	1.26	1.01	0.91
mean	1.32	1.11	1.11
3rd quartile	1.70	1.44	1.42
maximum	5.27	4.14	4.34

Distribution of absolute estimation errors between observed and estimated historical values for IMAI 31-33 index values, annual and monthly growth rates. Estimated values were obtained with the logarithmic differences model across time interval August 2015 – February 2020.

As can be seen from Figure 10, there was a change in the base year for the IMAI 31-33 indicator between September 2017 and October 2017; before that change, the IMAI 31-33 indicator average for the year 2008 was 100.00; after the change, the IMAI 31-33 indicator average for the year 2013 is now 100.00. Basically, this only translates as a rescaling of the IMAI 31-33 indicator; our procedure for estimating monthly growth rates via a logarithmic differences model is unaffected by this change in SNA methodology for constructing the IMAI 31-33 indicator. Note that values from appendix 1 correspond to published IMAI 31-33 values under the 2008 base year.

### Evolution of the logarithmic differences model (3.0)

The model chosen for producing successive IMAI 31-33 nowcasts has basically retained its initial form across time interval August 2015 – February 2020; the only modifications we have done to this “definitive” model consist in gradually adding (as needed) indicator variables for modeling significant seasonal effects, similar to the  $I_{oct}$  indicator variable. The logarithmic differences linear regression model for producing the February 2020 IMAI 31-33 estimates has the following functional form:

$$\Delta \log Y_t = \beta_1 \Delta \log X_t + \beta_2 I_{aug} + \beta_3 I_{oct} + \beta_4 I_{nov} + \beta_5 I_{jan} + \varepsilon_t$$

where  $\Delta \log Y_t$  and  $\Delta \log X_t$  are the respective logarithmic differences for response and explanatory

variables  $Y_t$  and  $X_t$  at month  $t$ , as explained in section 4;  $\varepsilon_t$  follows a first order autoregressive process which is corrected via the Cochrane-Orcutt procedure. As of reference month February 2020, the estimation equation is:

$$\Delta \log Y_t = 0.5467 \Delta \log X_t + 0.0184 I_{aug} + 0.0420 I_{oct} + 0.0265 I_{nov} + 0.0149 I_{jan}$$

We compared statistical tests outputs among all fitted logarithmic differences models of the form (3.0) across months and found out that the common estimated coefficients (for variables  $\Delta \log X_t$  and  $I_{oct}$  and for coefficient  $\rho$ ) have small variance. This is empirical evidence that the relationship between variables  $X_t$ ,  $Y_t$  is structurally stable across time, independent of business cycles.

## 7. INEGI's data sharing experience with CFE, conclusions and future work

The monthly data on electric energy consumption that CFE transmits to INEGI are packed into 16 files, each corresponding to one of the 16 regions in which CFE divides the Mexican territory. Transmission of CFE data to INEGI is usually made two weeks after the end of the reference month; sometimes, however, due to technical or administrative difficulties, CFE data have been transmitted to INEGI a few days later than usual. Overall, there have been no months during the realization of this project in

which no data has been received from CFE; this has enabled the successful realization of an empirical evaluation, in real time, of early IMAI 31-33 estimates. In appendix 2, we can see the dates on which INEGI has received data on electric energy consumption from CFE, and the comparison between early IMAI 31-33 estimates and published IMAI 31-33 values. It is important to emphasize that the agreement between INEGI and CFE to share information is rather informal, since a memorandum of understanding (MoU) has not been signed yet. As of this date, INEGI and CFE relationship continues to be cordial, and both institutions are working in the elaboration of a proper MoU.

The IMAI 31-33 nowcasts, generated from August 2015 to February 2020 with the help of a logarithmic differences model relating manufacturing production level to electric energy consumption at national level, have been communicated to some Federal Government Agencies in Mexico, such as the Central Bank of Mexico (BANXICO), the Mexican Social Security Institute (IMSS), The Office of the Treasury and Public Credit (SHCP), the Tax Administration Service (SAT), CFE itself, and some other key users within INEGI. Each month, right after generating nowcasts for the IMAI 31-33 indicator, DVERA prepares an official letter with a technical annex, which is sent to the INEGI Presidency, responsible for disseminating the results to other Federal Government Agencies. This official letter clearly states that the results obtained are of an experimental nature. As of the writing of this article, INEGI is studying the possibility of publishing these results on its website, under the category of experimental statistics.

### **Some concluding remarks and possible lines for future work**

By processing monthly electric energy consumption data from the majority of large manufacturing establishments in Mexico, we have produced an electric energy consumption index that has a significant linear relationship to the Monthly Manufacturing Production Level in Mexico. This enables INEGI to produce nowcasts for Mexico's Manufac-

turing Production Level, given the timeliness in the availability of electric energy consumption data. The monitoring in real time of such nowcasts for the last four years has provided empirical evidence in favor of the structural stability of the relationship between electric energy consumption and production level in Mexico's manufacturing sector. In order to improve the quality of the IMAI 31-33 nowcasts, DVERA is working continually to keep an updated sample of large manufacturing establishments, and is monitoring the evolution of the variables involved, in order to update the "definitive" model if the need arises.

As future work, INEGI is contemplating the possibility of adding an additional explanatory variable to the "definitive" model; specifically, the explanatory variable considered is the monthly production of vehicles in Mexico's automotive subsector; these data are collected jointly by the Mexican Association of the Automotive Industry (AMIA) and by INEGI. It has been observed that this monthly variable, which is updated only 10 days after the end of the reference month, has a high linear correlation with the IMAI 31-33 indicator. Preliminary exercises to build regression models with IMAI 31-33 as the response variable, and ICEE and the production of vehicles as explanatory variables, have already been carried out.

### **References**

- [1] Sistema de Cuentas Nacionales de México. Cuentas de Corto Plazo y Regionales: Fuentes Metodológicas. 20 de agosto de 2013. INEGI. Link (in Spanish, accessed on August 14, 2019): [https://www.inegi.org.mx/contenidos/programas/imai/2008/metodologias/SCNM\\_Metodologia\\_06.pdf](https://www.inegi.org.mx/contenidos/programas/imai/2008/metodologias/SCNM_Metodologia_06.pdf)
- [2] The R project for statistical computing: <https://www.r-project.org/>
- [3] Davidson, R., & MacKinnon, J. G. (1993). Estimation and inference in econometrics. OUP Catalogue. Oxford University Press, number 9780195060119
- [4] Kutner, M. H.; Nachtsheim, C. J.; Neter, J. (2004). Applied Linear Regression Models (4th ed.). McGraw-Hill Irwin
- [5] D. Cochran & G. H. Orcutt (1949). Application of Least Squares Regression to Relationships Containing Auto-Correlated Error Terms. Journal of the American Statistical Association. Volume 44, Issue 245: pages 32–61.

## Appendix 1. Data used in the construction of regression models

$X_t$ variable (Electric Energy Consumption Indicator for Mexico's Manufacturing Sector)					
jan-13	106.568152673383	jan-14	114.625237758366	jan-15	117.661685560915
feb-13	102.206667645052	feb-14	107.385758694238	feb-15	113.239376473580
mar-13	109.354644360592	mar-14	121.593568885955	mar-15	127.468887386019
apr-13	114.018480260521	apr-14	115.651850551774	apr-15	121.600394586046
may-13	118.093431044136	may-14	122.944929934959	may-15	125.156131097925
jun-13	117.073664454848	jun-14	121.397629555821	jun-15	126.368183422728
jul-13	117.837745378730	jul-14	125.798065936502	jul-15	125.567145531943
aug-13	122.554400895002	aug-14	124.362758669831	aug-15	126.822346966188
sep-13	115.584758323962	sep-14	119.778461889876	sep-15	124.084937798500
oct-13	122.215669912183	oct-14	128.065613726125	oct-15	126.795582223334
nov-13	113.448650003214	nov-14	116.099148775570	nov-15	112.609678608192
dec-13	97.149123345972	dec-14	104.573452963140		

$Y_t$ variable (Manufacturing Production Level Index in Mexico)							
jan-12	104.310303360161	jan-13	106.568152673383	jan-14	110.407782662540	jan-15	112.318007211117
feb-12	104.843887511884	feb-13	103.749250762350	feb-14	106.874856884563	feb-15	111.783049452478
mar-12	112.600605883904	mar-13	106.803072271226	mar-14	115.093379457459	mar-15	119.026895895035
apr-12	104.464240014746	apr-13	110.967188200699	apr-14	111.261263734624	apr-15	115.968640523484
may-12	111.753828772396	may-13	112.156581682476	may-14	116.957215562526	may-15	118.141639147214
jun-12	111.546679656662	jun-13	109.984403182279	jun-14	114.408078441256	jun-15	119.163876391430
jul-12	108.111150984771	jul-13	112.106373141296	jul-14	116.461208364193	jul-15	118.710597945713
aug-12	110.795476356651	aug-13	113.277152880165	aug-14	114.818286476764	aug-15	118.600066105228
sep-12	106.790160592184	sep-13	107.627008738172	sep-14	113.241801242496	sep-15	117.291984751955
oct-12	113.413349269598	oct-13	117.404211419188	oct-14	122.404319453146	oct-15	123.884236478199
nov-12	110.500150510510	nov-13	111.312710282635	nov-14	115.445734213437		
dec-12	100.813657763214	dec-13	102.574854163090	dec-14	108.913118770310		



## Appendix 2. Dates on reception of CFE data and production of early estimates; evaluation of early estimates for IMAI 31-33 values

Continue

Month of Operation	CFE data reception date	Date of early estimate publication	IMAI 31-33 early estimates					SNA official values	
			Reference month	Lower limit	Upper limit	Point estimate	Observed value	Absolute error	Date of publication
dec-2015	08-dec-2015	11-dec-2015	nov-2015	113.6*	119.3*	116.4*	117.6	1.2	11-jan-2016
jan-2016	07-jan-2016	12-jan-2016	dec-2015	107.3	113.0	110.1	111.7	1.6	11-feb-2016
feb-2016	10-feb-2016	12-feb-2016	jan-2016	115.6	120.9	118.2	113.4	4.8	11-mar-2016
mar-2016	08-mar-2016	14-mar-2016	feb-2016	111.6	116.2	113.9	116.2	2.3	11-apr-2016
apr-2016	07-apr-2016	13-apr-2016	mar-2016	116.9	122.3	119.6	117.3	2.3	12-may-2016
may-2016	11-may-2016	13-may-2016	apr-2016	115.7	121.6	118.6	119.9	1.3	10-jun-2016
jun-2016	10-jun-2016	14-jun-2016	may-2016	117.5	123.5	120.4	119.2	1.2	12-jul-2016
jul-2016	12-jul-2016	18-jul-2016	jun-2016	116.3	122.2	119.2	120.6	1.4	11-aug-2016
aug-2016	10-aug-2016	12-aug-2016	jul-2016	117.6	123.5	120.5	118.9	1.6	09-sep-2016
sep-2016	12-sep-2016	14-sep-2016	aug-2016	118.2	124.8	121.4	123.5	2.1	12-oct-2016
oct-2016	12-oct-2016	14-oct-2016	sep-2016	116.6	123.0	119.8	117.9	1.9	11-nov-2016
nov-2016	14-nov-2016	15-nov-2016	oct-2016	120.9	128.2	124.5	123.2	1.3	12-dec-2016
dec-2016	13-dec-2016	14-dec-2016	nov-2016	114.6	120.7	117.6	122.9	5.3	11-jan-2017
jan-2017	13-jan-2017	19-jan-2017	dec-2016	111.8	118.1	114.9	114.4	0.5	10-feb-2017
feb-2017	17-feb-2017	17-feb-2017	jan-2017	112.7	119.9	116.2	117.7	1.5	14-mar-2017
mar-2017	16-mar-2017	17-mar-2017	feb-2017	113.5	121.8	117.6	117.0	0.6	11-apr-2017
apr-2017	21-apr-2017	24-apr-2017	mar-2017	121.4	127.7	124.5	126.9	2.4	12-may-2017
may-2017	16-may-2017	18-may-2017	apr-2017	116.9	122.9	119.9	117.0	2.8	09-jun-2017
jun-2017	13-jun-2017	15-jun-2017	may-2017	119.9	125.9	122.8	124.7	1.9	12-jul-2017
jul-2017	12-jul-2017	13-jul-2017	jun-2017	123.6	129.9	126.7	123.4	3.3	11-aug-2017
aug-2017	17-aug-2017	18-aug-2017	jul-2017	116.2	122.2	119.1	120.6	1.4	11-sep-2017
sep-2017	12-sep-2017	13-sep-2017	aug-2017	123.1	129.2	126.1	127.2	1.1	12-oct-2017
oct-2017	16-oct-2017	17-oct-2017	sep-2017	117.9	124.0	120.9	121.2	0.3	10-nov-2017
nov-2017	14-nov-2017	17-nov-2017	oct-2017	112.8	120.2	116.5	114.9	1.6	12-dec-2017
dec-2017	11-dec-2017	14-dec-2017	nov-2017	110.2	119.1	114.6	114.7	0.1	11-jan-2018
jan-2018	30-jan-2018	01-feb-2018	dec-2017	104.6	112.8	108.6	105.9	2.7	09-feb-2018

## Appendix 2. Dates on reception of CFE data and production of early estimates; evaluation of early estimates for IMAI 31-33 values

Month of Operation	CFE data reception date	Date of early estimate publication	IMAI 31-33 early estimates						Concludes
			Reference month	Lower limit	Upper limit	Point estimate	Observed value	Absolute error	SNA official values Date of publication
feb-2018	22-feb-2018	27-feb-2018	jan-2018	107.6	114.7	111.1	111.5	0.4	13-mar-2018
mar-2018	16-mar-2018	23-mar-2018	feb-2018	105.4	111.9	108.6	108.4	0.2	11-apr-2018
apr-2018	19-apr-2018	04-may-2018	mar-2018	110.9	117.1	113.9	113.9	0.0	11-may-2018
may-2018	22-may-2018	04-jun-2018	apr-2018	110.1	116.2	113.1	112.5	0.6	11-jun-2018
jun-2018	20-jun-2018	05-jul-2018	may-2018	115.3	121.8	118.5	116.8	1.7	12-jul-2018
jul-2018	10-jul-2018	01-aug-2018	jun-2018	112.8	119.2	116.0	115.5	0.5	10-aug-2018
aug-2018	17-aug-2018	03-sep-2018	jul-2018	108.6	114.7	111.6	112.8	1.2	11-sep-2018
sep-2018	19-sep-2018	02-oct-2018	aug-2018	115.5	123.0	119.2	119.6	0.4	12-oct-2018
oct-2018	19-oct-2018	30-oct-2018	sep-2018	111.4	117.8	114.5	113.3	1.2	09-nov-2018
nov-2018	27-nov-2018	30-nov-2018	oct-2018	115.3	122.4	118.8	118.5	0.3	12-dec-2018
dec-2018	19-dec-2018	08-jan-2019	nov-2018	111.7	119.0	115.3	116.8	1.5	11-jan-2019
jan-2019	10-jan-2019	01-feb-2019	dec-2018	104.2	110.1	107.1	106.3	0.8	11-feb-2019
feb-2019	22-feb-2019	01-mar-2019	jan-2019	109.5	116.0	112.7	112.7	0.0	13-mar-2019
mar-2019	26-mar-2019	03-apr-2019	feb-2019	107.0	112.6	109.8	109.8	0.0	11-apr-2019
apr-2019	12-apr-2019	23-apr-2019	mar-2019	113.8	119.9	116.8	117.3	0.5	10-may-2019
may-2019	29-may-2019	31-may-2019	apr-2019	107.5	113.4	110.4	112.0	1.6	11-jun-2019
jun-2019	11-jun-2019	27-jun-2019	may-2019	114.1	120.3	117.2	117.8	0.6	12-jul-2019
jul-2019	10-jul-2019	22-jul-2019	jun-2019	113.4	119.5	116.4	114.9	1.5	9-aug-2019
aug-2019	16-aug-2019	27-aug-2019	jul-2019	109.5	115.4	112.4	115.9	3.1	11-sep-2019
sep-2019	20-sep-2019	27-sep-2019	aug-2019	117.3	124.5	120.8	119.2	1.6	11-oct-2019
oct-2019	23-oct-2019	31-oct-2019	sep-2019	109.5	115.5	112.5	114.1	1.6	11-nov-2019
nov-2019	26-nov-2019	05-dec-2019	oct-2019	113.5	120.2	116.8	116.8	0.0	12-dec-2019
dec-2019	13-dec-2019	19-dec-2019	nov-2019	112.5	119.5	115.9	114.0	1.9	10-jan-2020
jan-2020	27-jan-2020	05-feb-2020	dic-2019	103.0	108.8	105.9	105.7	0.2	11-feb-2020
feb-2020	26-feb-2020	06-mar-2020	ene-2020	109.2	115.7	112.4	113.1	0.7	13-mar-2020
mar-2020	13-mar-2020	24-mar-2020	feb-2020	106.2	112.0	109.1	109.3	0.2	8-apr-2020

\* The November 2015 early estimate was obtained using model (3.0) **without** Cochrane-Orcutt correction.

### Appendix 3. Formulas for computing nowcasts using the models described in section 4

**Model (1.0):** the estimation for the November 2015 IMAI 31-33 value,  $\hat{Y}_t$ , was obtained by simply using the corresponding estimation equation, together with the  $X_t$  value for November 2015 from appendix 1; the estimation for the corresponding annual growth rate was computed by using the formula  $100 (\hat{Y}_t / Y_{t-12} - 1)$ , while the corresponding monthly growth rate was computed with the formula  $100 (\hat{Y}_t / Y_{t-1} - 1)$ ; note that we must use the values from appendix 1 to compute the estimates for annual and monthly growth rates, since they are computed in real time; i.e., before the published revised figures  $Y_{t-12}$  and  $Y_{t-1}$  are available.

**Model (2.1):** the estimation for the November 2015 IMAI 31-33 value,  $\hat{Y}_t$ , as in the case of model (1.0), was obtained by using the corresponding estimation equation, together with the needed values  $Y_{t-1}$ ,  $X_t$  and  $X_{t-1}$  from appendix 1. The corresponding estimations for the annual and monthly growth rates were obtained using the same procedure as in the case of model (1.0).

**Model (3.0) with Cochrane-Orcutt correction:** unlike models (1.0) and (2.1), in this case we are directly estimating the November 2015 IMAI 31-33 monthly growth rate from the corresponding estimation equation; for this we need to plug in the values  $X_{nov2015}$  and  $X_{oct2015}$  from appendix 1; note that in this case,  $I_{oct} = 0$ . Now, to estimate the corresponding annual growth rate, we first note that  $\log(Y_t / Y_{t-12})$  acts as an approximation to the annual growth rate of  $Y_t$ , in the same way  $\log(Y_t / Y_{t-1})$  acts as an approximation to the monthly growth rate of  $Y_t$ ; we also observe that:

$$\begin{aligned} \log Y_t - \log Y_{t-12} &= \log Y_t - \log Y_{t-1} + \log Y_{t-1} - \log Y_{t-2} \\ &\quad + \dots + \log Y_{t-11} - \log Y_{t-12} \end{aligned}$$

or equivalently,

$$\log(Y_t / Y_{t-12}) = \Delta \ln(Y_t) + \Delta \ln(Y_{t-1}) + \dots + \Delta \ln(Y_{t-11}).$$

From this last expression, it seems reasonable to approximate the annual growth rate of  $Y_t$  for November 2015 by using the sum

$$\Delta \widehat{\ln(Y_t)} + \Delta \ln(Y_{t-1}) + \dots + \Delta \ln(Y_{t-11})$$

where  $\Delta \widehat{\ln(Y_t)}$  is the output from the estimation equation, and the quantities  $\Delta \ln(Y_{t-1}), \Delta \ln(Y_{t-2}), \dots, \Delta \ln(Y_{t-11})$  can be computed from the data in appendix 1. This is precisely the procedure we used to estimate the annual growth rate from model (3.0) shown in table 3.

Finally, it is also possible to compute an estimation for the IMAI 31-33 indicator from the quantity  $\Delta \widehat{\ln(Y_t)}$ ; just solve for  $Y_t$  in expression  $\ln(Y_t) - \ln(Y_{t-1}) = \Delta \ln(Y_t)$ :

$$\ln(Y_t) = \Delta \ln(Y_t) + \ln(Y_{t-1})$$

$$Y_t = e^{\Delta \ln(Y_t) + \ln(Y_{t-1})}$$

$$Y_t = Y_{t-1} e^{\Delta \ln(Y_t)}$$

From this last expression, it seems reasonable to approximate by  $Y_t$  using:

$$\widehat{Y}_t = Y_{t-1} e^{\Delta \widehat{\ln(Y_t)}}$$

We used this last expression to estimate the IMAI 31-33 value from model (3.0) shown in table 3.

# Estimaciones oportunas para algunas variables relevantes de la coyuntura económica de México: **implicaciones de corto plazo**

## *Nowcasts for Relevant Mexican Macroeconomic Time Series: **Short Term Implications***

Francisco de Jesús Corona Villavicencio,\* Jesús López-Pérez\* y Pedro Paulo Orraca Romano\*\*

Mediante el uso de la metodología de Corona *et al.* (2021), en este trabajo se realizan estimaciones oportunas para algunas variables relevantes de la coyuntura económica de México, como las tres grandes actividades del Indicador Global de la Actividad Económica (IGAE), el consumo privado, la inversión fija bruta, así como las exportaciones e importaciones totales. Se concluye que esta metodología genera estimaciones precisas para dichas variables, excepto las del sector externo. Con base en este procedimiento, se consideran dos escenarios de crecimiento de la economía mexicana hasta diciembre del 2020, opuestos entre sí; en el primero, se espera que la tasa de crecimiento económica del IGAE anualizada sea de -12.7 % y en el segundo, se prevé un decremento de -8.8 por ciento. Promediándolos, nos otorgan un crecimiento esperado de -10.5 % en ese año.

**Palabras clave:** *ceteris paribus*; COVID-19; escenario V; estimación oportuna; fuentes no tradicionales.

Recibido: 23 de octubre de 2020.

Aceptado: 23 de febrero de 2021.

\* INEGI, franciscoj.corona@inegi.org.mx y jesus.lopezp@inegi.org.mx, respectivamente.

\*\* El Colegio de la Frontera Norte, porraca@colef.mx

**Nota:** los autores agradecen a Gerardo Leyva, director general adjunto de Investigación del INEGI, por sus excelentes comentarios y organización de las actividades de investigación que contribuyeron a mejorar este trabajo.

In this article we use the methodology by Corona *et al.* (2021) to carry out nowcasts for relevant Mexican macroeconomic time series, specifically the three grand economic activities of the Global Indicator of Economic Activity (IGAE in Spanish), private consumption, gross fixed investment, and total exports and imports. We conclude that this methodology generates precise estimations for such variables, with except of those of the foreign sector. The methodology allows, in turn, to consider two growth scenarios of the Mexican economy until December 2020, under the first scenario, the annualized growth rate of the IGAE for 2020 is expected to be -12.7% and in the second scenario a decrease of -8.8% is expected. By averaging both scenarios, we obtain an expected growth of -10.5% in 2020.

**Key words:** *ceteris paribus*; COVID-19; V scenario; timely estimates; non-traditional information.



StockSnap / Pixabay/ <https://pixabay.com/es/photos/macbook-computadora-port%C3%A1til-922904/>

## Introducción

En marzo del 2020, la pandemia de COVID-19 llegó a México. Ante ello, el gobierno federal implementó diversas medidas sanitarias de distanciamiento social que incluyeron el cierre de escuelas, empresas, fábricas, oficinas de gobierno y la suspensión de actividades sociales y culturales. Su impacto económico se esperaba en una caída global de -9.9 % del Producto Interno Bruto (PIB) para el 2020;<sup>1</sup> sin embargo, no se tiene certeza sobre la evolución que la economía tendrá en el corto plazo a nivel sectorial ni de cuál será la trayectoria para las componentes de la demanda agregada. Además, la generación de datos oficiales por las oficinas nacionales de estadística requiere apegarse a metodologías rigurosas que aseguren su cali-

dad y comparabilidad internacional, las cuales conllevan múltiples tareas de captación, procesamiento y análisis; esto se traduce en que los indicadores *duros* se publiquen al menos con un mes de retraso.

En ese sentido, en la literatura existen modelos aplicados a la economía mexicana que buscan realizar estimaciones oportunas del PIB, por ejemplo, Delajara *et al.* (2016), Caruso (2018) y, de manera reciente, Gálvez-Soriano (2020). No obstante, los ejercicios previos utilizan primordialmente indicadores tradicionales de series macroeconómicas y financieras, lo cual limita su capacidad de capturar los efectos de corto plazo que pueden tardar en reflejarse en las series. Otra limitante de estos es que se enfocan en una variable trimestral, como es el PIB, porque lo que se requiere es desagregar dicha variable para conocer el estado de la economía en los meses intermedios. Para estos fines, se necesita una serie de tiempo de más alta frecuencia y que

<sup>1</sup> Mediana de crecimiento tomada de la Encuesta sobre las Expectativas de los Especialistas en Economía del Sector Privado. Banco de México, julio del 2020.

esté correlacionada con el PIB (ver, por ejemplo, a Guerrero y Corona, 2018). Así, en este trabajo nos centramos en el Indicador Global de la Actividad Económica (IGAE), el cual es una variable *proxy* mensual del PIB, por lo que resulta relevante tener herramientas econométricas y estadísticas que permitan anticipar el comportamiento de dicha variable.

En Corona *et al.* (2021) se presenta una metodología para generar estimaciones oportunas del IGAE, la cual consiste en aprovechar el hecho de que actualmente es posible allegarse de grandes volúmenes de información (tradicionales y no tradicionales) que, con una apropiada utilización de técnicas estadísticas y econométricas, pueden dar lugar a generar estimaciones oportunas de la actividad económica de forma oportuna y fiables de manera estadística. En consecuencia, en este trabajo haremos uso de este procedimiento para realizar *nowcasts* de las tres grandes actividades económicas del IGAE y, también, para algunas componentes de la demanda del PIB, como el Indicador Mensual del Consumo Privado en el Mercado Interior (consumo), la Inversión Fija Bruta en México (inversión) y para las exportaciones e importaciones totales. Lo anterior permitirá a quienes toman decisiones tener una mayor certeza estadística de que es posible realizar estimaciones oportunas para variables relevantes de la coyuntura económica.

El trabajo de Corona *et al.* (2021) está basado en la estimación de un factor dinámico oportuno y altamente correlacionado con la variable a estimar, el cual se valida tanto en el plano estadístico como en el económico. En particular, se utiliza una serie de técnicas, como: 1) selección de variables no tradicionales a través de regresión *LASSO*, 2) transformación de variables maximizando la correlación contemporánea con la variable a estimar, 3) estimación de un factor dinámico con la metodología de Doz *et al.* (2011), 4) utilizar dicho factor en un modelo entrenado de regresión lineal donde también se modela la estructura del error para, finalmente, 5) usar los mejores modelos en datos de prueba para realizar las estimaciones finales. De esta forma, se pueden obtener estimaciones

oportunas mensuales y, también, analizar tanto las propiedades estadísticas de los modelos como la estimación de la incertidumbre asociada al factor dinámico, computando los intervalos de confianza del factor y de las contribuciones de este sobre las variables. Los resultados de Corona *et al.* (2021) se han comparado favorablemente respecto a otros modelos de *nowcasting*, por ejemplo, el de *Statistics Netherlands* (Kuiper y Pijpers, 2020), puesto que el intervalo de estimación captura con mayor frecuencia los valores observados en una ventana temporal de 36 periodos.

Si bien las estimaciones oportunas cobran relevancia en el contexto actual, la metodología usada en este trabajo no es de aplicación exclusiva en contextos de alta volatilidad (como el derivado de la pandemia), sino que se puede extender a situaciones de menos inestabilidad, por lo que después puede seguirse empleando para anticipar los movimientos de las variables macroeconómicas, pues la selección de modelos puede hacerse en diferentes momentos del tiempo que incluyan, o no, el periodo de la pandemia de COVID-19. Por lo anterior, a diferencia por ejemplo de Lenza y Primi-ceri (2020), donde se reescalan explícitamente las desviaciones en los meses del gran confinamiento, en nuestro caso buscamos que el modelo mismo capture estos movimientos abruptos.

En materia de oportunidad, la metodología empleada permite obtener *nowcasts* para las variables mencionadas hasta con más de 66 días de anticipación que las estadísticas oficiales. Además, las estimaciones que aquí se presentan captan los choques extremadamente grandes de la economía; por ejemplo, las caídas suscitadas en abril y mayo del 2020 en medio de la emergencia sanitaria por COVID-19. Por lo tanto, los hallazgos son de interés para los académicos, especialistas del sector privado y hacedores de políticas públicas.

Una aportación adicional de este trabajo fue utilizar las estimaciones para realizar análisis de escenarios sobre el posible curso de la economía mexicana en el 2020, que podrían servir para hacer evaluaciones de política económica. Se plantearon

dos probables escenarios de corto plazo: en el primero, se asumió que las variables presentarían el mismo comportamiento de acuerdo con su último valor observado y se realizarían las predicciones; lo denominamos un escenario *ceteris paribus*. El segundo supuso una recuperación en forma de V, asumiendo una mejoría gradual de las variables en diciembre a los mismos niveles de febrero del 2020, es decir, antes del inicio de la pandemia.

El trabajo se estructura de la siguiente forma: en la sección dos se resume la metodología de *nowcasting* de Corona *et al.* (2021) y se muestran las fuentes de información; en la tres están las estimaciones para las variables seleccionadas y se discuten dichos resultados; en la cuarta se presentan los posibles escenarios de crecimiento económico de México para el 2020; finalmente, la cinco expone las conclusiones.

## Metodología

### Fuentes de información

Para cada una de las variables a estimar (ya sea alguna de las tres grandes actividades del IGAE, el consumo, la inversión o las series de comercio exterior), se utiliza inicialmente el mismo conjunto de variables sugeridas por Corona *et al.* (2021). No obstante, se realizan transformaciones *ad hoc* a la variable objetivo. Asimismo, se consideran las mismas categorías de información de *Google Trends*, pero se mantienen solo aquellas que tienen capacidad predictiva sobre la variable de interés. Vale la pena comentar que incluimos al IGAE como variable oportuna para el consumo y la inversión.

Las variables originalmente utilizadas en los modelos de *nowcasting* se describen en el cuadro 1

Cuadro 1

Continúa

### VARIABLES UTILIZADAS

Variable	Descripción	Fuente
ANTAD	Ventas totales	ANTAD
Confianza-comercio	Momento adecuado para invertir del sector comercial	INEGI
Confianza-construcción	Momento adecuado para invertir del sector comercial	INEGI
Confianza-manufacturas	Momento adecuado para invertir de las manufacturas	INEGI
Confianza-servicios	Momento adecuado para invertir del sector <i>Servicios</i>	INEGI
Combustibles-SENER	Demanda de combustibles	Secretaría de Energía
Producción industrial	Índice de Producción Industrial	INEGI
IMSS	Asegurados permanentes y eventuales del Instituto Mexicano del Seguro Social	IMSS
BMV	Índice de Precios y Cotizaciones de la Bolsa Mexicana de Valores	Banco de México



## Variables utilizadas

Variable	Descripción	Fuente
Producción industrial-EE. UU.	Índice de Producción Industrial de los Estados Unidos de América	Bureau of Economic Analysis
Ventas al menudeo	Ingresos por suministros de bienes y servicios. Comercio al por menor	INEGI
Importaciones	Importaciones totales	INEGI
M4	Agregado monetario M4	Banco de México
Movilidad <i>Twitter</i> <sup>a</sup>	Índice de Movilidad de <i>Twitter</i>	Elaboración propia con datos de <i>Twitter</i>
Ocupación hotelera	Ocupación hotelera en corredores y agrupamientos	Secretaría de Turismo
Pedidos manufactureros	Indicador de Pedidos Manufactureros	INEGI
Producción de vehículos	Producción de vehículos automotores	INEGI
Remesas	Remesas familiares	Banco de México
SP 500	Índice <i>Standard &amp; Poor's</i>	<i>Yahoo!</i> Financiero
Empleo de manufacturas	Personal ocupado (serie de tenencia)	INEGI
Tipo de cambio	Tipo de cambio nominal promedio	Banco de México
Desocupación	Tasa de Desocupación en áreas urbanas	INEGI
TIIE 28	Tasa de Interés Interbancaria de Equilibrio a 28 días	BANXICO
Exportaciones	Exportaciones totales	INEGI
Tópico- <i>Google Trends</i>	Tópicos de <i>Google Trends</i>	<i>Google</i>

<sup>a</sup> El indicador de movilidad se genera con la metodología de Graff *et al.* (2020).

y cumplen los criterios de oportunidad y correlación con respecto a la variable de interés; es decir, todas ellas se actualizan al menos antes que la variable que se va a estimar y, además, estas (o alguna transformación de ellas) están correlacionadas con la primera. Todas son de libre acceso y se introducen al modelo con ajuste estacional, ya sea que se publiquen así por la fuente, o bien, se emplea el paquete *X-13ARIMA-SEATS* para desestacionalizarlas. El conjunto de información comienza su cobertura en enero del 2004 y abarca hasta el último dato disponible para cada variable, es decir, algunas concluyen en mayo, otras en junio y unas más, hasta julio del 2020; en la literatura de series de tiempo esto se conoce como *jagged* o *ragged edge data*. Las

variables que comprenden la base de datos también han sido utilizadas en la literatura previa, ver por ejemplo a Corona *et al.* (2017), Caruso (2018) y Gálvez-Soriano (2020).

### Oportunidad de las estimaciones

Para este trabajo, diferenciamos las estimaciones oportunas de las predicciones o pronósticos. En este sentido, los *nowcasts* se realizan con la información oportuna y de la alta frecuencia que requiere el modelo, es decir, para hacer la estimación de un mes en particular solo consideramos los datos disponibles de otras variables hasta ese mismo

mes, mientras que las predicciones o pronósticos se hacen con información para periodos no contemporáneos. Con frecuencia, se suelen explotar las estructuras de dependencias autorregresivas, donde el pasado de la predictora sirve para estimar el futuro de la variable de interés.

Dada la oportunidad de las cifras oficiales, para las actividades primarias y terciarias, el consumo y la inversión se realizan estimaciones oportunas para  $T + 1$  y  $T + 2$ , i.e. para el siguiente mes y dos meses después del último dato oficial publicado ( $T$ ), mientras que, para las series de actividades secundarias,<sup>2</sup> exportaciones e importaciones, solo se hacen estimaciones para  $T + 1$ . Por ende, dado que las fuentes de información con las cuales se llevan a cabo los *nowcasts* anteceden a las cifras oficiales, dichas estimaciones se pueden actualizar conforme se incrementa la disponibi-

2 Se considera como observado el dato del Índice de Producción Industrial publicado oficialmente sobre el día 10 de cada mes, que representa alrededor de 97 % del total de las actividades secundarias, publicadas de manera oficial sobre el 25 de cada mes (Metodología IMAI).

lidad de datos, y en cada nueva actualización se cuenta con información más completa, lo que reduce aún más el error de estimación. El cuadro 2 muestra la oportunidad de las estimaciones y el porcentaje de datos de que se dispone para las estimaciones de julio del 2020 realizadas el 1 de agosto del mismo año.

En general, una vez terminado el mes  $T$  se pueden obtener *nowcasts* para  $T + 2$  con alrededor de 45 % de las variables actualizadas, antecediendo entre 26 y 66 días a las estimaciones oficiales. A su vez, para las que se estiman para  $T + 1$ , se cuenta con alrededor de 88 % de las variables actualizadas, con lo que se anticipa entre 25 y 36 días al dato oficial.

### Transformaciones previas

Si  $X^* = (X_1^*, \dots, X_N^*)'$  es la matriz  $T \times N$  de variables consideradas para el modelo de factores dinámicos, donde cada  $X_i^*$  es un vector de dimensión  $T$ , se busca una transformación lineal que satisfaga la siguiente condición:

Cuadro 2

### Oportunidad y disponibilidad de información del modelo de *nowcasting* para julio del 2020

Variable de interés	Fecha de publicación de dato de julio del 2020*	Días de adelanto <i>nowcast</i>	<i>Nowcast</i>	Porcentaje de información actualizada hasta:		
				Mayo	Junio	Julio
Actividades económicas del IGAE	25 de septiembre de 2020	55	$T + 2$ y $T + 1$	100	92	46
Consumo	6 de octubre de 2020	66	$T + 2$ y $T + 1$	100	88	44
Inversión	6 de octubre de 2020	66	$T + 2$ y $T + 2$	100	88	44
Exportaciones	27 de agosto de 2020	26	$T + 1$	100	92	46
Importaciones	27 de agosto de 2020	26	$T + 1$	100	92	46

Nota: fecha de referencia *nowcast*, 1 de agosto de 2020.

\* Calendario de publicación INEGI.

$$X_i = (f(X_i^*) | \max_{corr} [f\langle X_i^*(T-H), y \rangle]), \quad (1)$$

donde  $y = (y_1, \dots, y_{T-H})'$  es la serie de tiempo a la cual se le realizarán los *nowcasts* y  $H$  es el horizonte de estimación del *nowcast*, en este caso, 1 o 2 periodos adelante, por lo que estas últimas observaciones, cuando existan, no se consideran para calcular la correlación.

En este caso, las funciones consideradas son: 1) ninguna transformación, 2) cambio porcentual mensual y 3) cambio porcentual anual. Para el caso de las series de *Google Trends*, se consideran *ninguna transformación* o el rezago de la variable. Note que estas transformaciones no tienen el objetivo de alcanzar estacionariedad, aunque intrínsecamente son estacionarias, de hecho, las 2 y 3 tienden a serlo cuando las series de tiempo son integradas de orden 1,  $I(1)$ , lo cual es muy común en las de tipo económicas.

## Regresión LASSO

La regresión *Least Absolute Shrinkage and Selection Operator (LASSO)* (Tibshirani, 1996) es una técnica que puede ser utilizada como método de selección de variables cuando se tiene una gran cantidad de estas, dado que las técnicas tradicionales basadas en criterios de información quedan rebasadas al incrementarse exponencialmente la cantidad de covariables. Minimizar la suma de cuadrados residuales, sujeto a que la suma del valor absoluto de los coeficientes sea menor que una constante, permite alcanzar dos objetivos: 1) dejar fuera todas las variables con menor capacidad predictiva y retener aquellas que sí lo son y 2) lograr la regularización de los coeficientes asociados a las variables que permanecen. Este procedimiento se utiliza para seleccionar, dentro de una gran cantidad de tópicos de *Google Trends*, aquellos que resultan relevantes para la variable objetivo, en un periodo de datos de prueba, por ejemplo, los últimos 36 meses observados. Nótese que los tópicos posibles pueden irse actualizando durante el tiempo y este método de se-

lección incluirá o no aquellos que sean relevantes desde el punto de vista estadístico al momento de realizar la estimación.

## Modelo de Factores Dinámicos (MFD)

Los MFD fueron originalmente introducidos en economía por Geweke (1977) y Sargent y Sims (1977); se utilizan para condensar la información del conjunto de variables en unos pocos factores con la finalidad de que estos expliquen una parte importante de la variación de los datos. La notación que aquí se sigue puede verse en los estudios de Bai y Ng (2008), Stock y Watson (2011), Breitung y Choi (2013), entre otros.

Formalmente, partimos de un gran número de variables  $X$ , que serán utilizadas para pronosticar. Este conjunto contiene  $N$  variables con  $T$  observaciones cada una. Es posible que  $N > T$ . Se busca encontrar un conjunto de variables  $F$  y un conjunto de parámetros  $P$  que mejor expliquen  $X$ .

El MFD puede ser escrito como:

$$X = FP' + \varepsilon, \quad (2)$$

$$\Phi(L)F = \eta, \quad (3)$$

$$\Omega(L)\varepsilon = a, \quad (4)$$

donde  $F$  es la matriz de los  $r (< N)$  factores dinámicos;  $P$ , la de cargas o las contribuciones de los factores sobre las variables;  $\Phi(L)$ , la que contiene los coeficientes autorregresivos de los factores; y  $\eta$ , la de disturbios del factor. Para la componente idiosincrática ( $\varepsilon$ ), se puede hacer la misma analogía en relación con las matrices  $\Omega(L)$  y  $a$ . Se asume que  $F$  puede ser no estacionario, pero  $\varepsilon$  sí se supone estacionario, restringiendo que las matrices que contienen  $\Phi(L)$  sean diagonales.

Para estimar  $F$  y  $P$  se asumen algunas restricciones de identificabilidad (ver Bai y Ng, 2013) de tal forma que  $\tilde{P}$  es  $\sqrt{N}$  veces los primeros  $r$  vectores propios de la matriz  $X'X$ , por lo que los factores estimados por componentes principales se determinan como:

$$\tilde{F} = X\tilde{P}N^{-1}. \quad (5)$$

Finalmente, se modela la dinámica de  $\hat{F}$  ajustando un vector autorregresivo diagonal para obtener las matrices y condiciones iniciales que requiere el filtro de Kalman; de esta manera, utilizando su suavizamiento, se obtiene una versión  $\hat{F}$  que contempla la dinámica temporal del factor, ver por ejemplo Doz *et al.* (2011, 2012). El uso del suavizamiento de Kalman permite estimar el factor dinámico aun cuando no toda la información esté disponible al tiempo  $T$ , de ahí su relevancia en el contexto del *nowcasting*. El filtro (o suavizamiento) de Kalman puede resumirse como sigue:

1. Estimar los coeficientes  $\Phi(L)$  por mínimos cuadrados ordinarios, es decir, se modela la dinámica de  $\hat{F}$ .
2. Usar  $\hat{P}$  (obtenida por la estimación estática) y las matrices de covarianza de  $\hat{\eta}$  y  $\hat{\varepsilon}$  (que se asume diagonal).
3. Generar los valores iniciales para la estimación del factor (generalmente media 0 y varianza obtenida a través de los datos).
4. Usar el suavizamiento de Kalman y cuando  $X_t$  sea desconocida, se asume un valor difuso en la diagonal específica de  $\hat{\varepsilon}$ .
5. Finalmente, la expresión de la estimación suavizada es  $\hat{F} = E(F_t | Y^t)$ , es decir, la esperanza condicional del factor una vez observada toda la información disponible.

Nótese que  $\hat{P}^* = \hat{P}N^{-1}$  puede considerarse como la contribución de las variables sobre el factor. En este trabajo, la estimación de  $\hat{P}$  se obtiene a través de técnicas Monte Carlo,<sup>3</sup> tal que se satisface la expresión (5) reemplazando  $\hat{F}$  por  $\hat{F}$  por lo que la contribución de las variables sobre el factor es  $\hat{P}^*$ .

3 Se hacen mil simulaciones suponiendo una distribución uniforme con parámetros  $[a, b]$ , donde  $a$  y  $b$  son los límites inferior y superior del intervalo de confianza obtenido para la carga de cada variable.

## Modelo de *nowcasting*

Una vez que se ha estimado el factor, este se incorpora en el modelo de *nowcasting*, el cual se especifica de la siguiente manera:

$$y = \alpha + \beta \hat{F}(T-H) + u, \quad (6a)$$

$$\Phi_p(L)u = \Theta_q(L)e. \quad (6b)$$

Es decir, se asume una regresión lineal donde el error tiene una estructura autorregresiva y de medias móviles (ARMA), de tal manera que los órdenes  $p$  y  $q$  se determinan al minimizar el error de predicción en los datos de prueba; en nuestro caso, la media absoluta del error, actualizando los *nowcasts* un paso hacia adelante. Al modelo de las expresiones (6) puede considerarse regresión con errores ARMA.

Para el número de datos de prueba, usamos la recomendación empírica de Corona *et al.* (2021), es decir, los últimos 36 meses; lo que cubre un periodo de estabilidad macroeconómica y, también, los meses de la pandemia por COVID-19. La estimación de los parámetros de las expresiones (6) se obtiene por máxima verosimilitud. En consecuencia, los *nowcasts* se realizan como sigue:

$$\hat{y} = \hat{\alpha} + \hat{\beta} \hat{F}(T-H) + \hat{u}, \quad (7a)$$

$$\hat{\Phi}_{p^*}(L)\hat{u} = \hat{\Theta}_{q^*}(L)\hat{e}. \quad (7b)$$

Un caso particular, cuando  $p$  y  $q$  son iguales a 0, es el modelo que proponen Giannone *et al.* (2008), obra seminal en lo que se refiere a la literatura de *nowcasting*, mientras que en este trabajo se consideran diferentes combinaciones de  $p$  y  $q$  y, después, se seleccionan los  $p^*$  y  $q^*$  que minimizan el error.

## Obteniendo los *nowcasts*

La estrategia empírica para obtener los *nowcasts* se resume en los siguientes pasos:

1. Seleccionar los tópicos relevantes de *Google Trends* mediante regresión LASSO. Se considera una ventana de tiempo expansiva (*rolling window*) para datos de entrenamiento que van desde el inicio de cobertura de la serie hasta  $T - (36 + i)$ , con  $i = \{1, 2, \dots, 36\}$ , y se mantienen solo aquellos tópicos cuyos coeficientes estimados sean diferentes de 0 en los últimos tres años; es decir, se realizan 36 estimaciones actualizando un dato nuevo a la vez. Por último, se consideran como tópicos relevantes aquellos que resultaron diferentes de 0 en el percentil mayor a 90 % de las veces.
2. Realizar las transformaciones óptimas para las series de tiempo de acuerdo con la expresión (1).
3. Obtener los valores puntuales e intervalos de confianza para el factor dinámico y las contribuciones del factor sobre las variables del sistema. Se utilizan mil muestras para las estimaciones Monte Carlo de las cargas, una vez que el factor ha sido suavizado por Kalman.
4. Estimar los *nowcasts* para diferentes valores de  $p$  y  $q$  y rezagos en el factor dinámico.
5. Seleccionar, de entre todos los modelos de *nowcasting*, aquellos valores  $p^*$  y  $q^*$  que minimizan el promedio de las raíces del error cuadrático en los últimos 36 meses. Se utiliza, también, una campana expansiva como datos de entrenamiento para actualizar en cada estimación un nuevo dato.
6. Combinar modelos que, de acuerdo con la prueba de Diebold-Mariano, sean estadísticamente iguales, para lo cual se elige la mediana de las estimaciones realizadas en el paso 4 para los diferentes valores de  $p$  y  $q$ .
7. Por último, se considera el modelo de Giannone *et al.* (2008) y se promedian ponderadamente con los *nowcasts* estimados en el paso 6. Los pesos asigna-

dos ( $w_1$ ), para el modelo de *nowcasting* y  $w_2$  para el de Giannone *et al.* (2008),<sup>4</sup> se obtienen de acuerdo con la ponderación del error en datos de prueba, de tal manera que  $w_1 + w_2 = 1$ . Con frecuencia,  $w_1 > w_2$ , es decir, el modelo con menor error de predicción suele tener estructura ARMA.

Existen algunas consideraciones metodológicas; por ejemplo, se desea, por interpretabilidad, que el número de factores sea  $\hat{r} = 1$ , por lo que se verifica este supuesto con el criterio de Onatski (2010). También, se confirma que los errores idiosincráticos sean estacionarios con la prueba PANIC (Bai y Ng, 2004), de tal forma que se garantiza la consistencia estadística de la estimación de la componente común. Por último, se realiza la prueba Ljung-Box para corroborar que los errores del modelo de *nowcasting* ( $\hat{\varepsilon}_t$ ) no estén autocorrelacionados.

## Resultados

### Nowcasts para variables relevantes de la coyuntura económica de México

El corte de actualización de las fuentes de información se hizo al 13 de agosto de 2020. De esta manera, las estimaciones a realizarse serán para los meses de junio y julio del 2020 para las componentes del IGAE, el consumo y la inversión, mientras que, para las exportaciones e importaciones totales, ya se tienen cifras oficialmente publicadas para junio; es decir, en estos casos solo se realizarán los *nowcasts* para julio del 2020. Las variables por estimarse están expresadas como variaciones porcentuales anuales.

A partir del conjunto de tópicos de *Google Trends* considerados (ver *Anexo*), la metodología LASSO nos permite identificar solo aquellos que resultan

<sup>4</sup> Empíricamente se pudo verificar que combinar estos modelos genera ganancias en el error en el cambio de la variación porcentual anual del IGAE al representar la dinámica pura de las variables que integran al MFD. Se presume que esta misma ganancia continúa para las variables estimadas en este trabajo.

relevantes para cada una de las variables, los cuales se detallan en el cuadro 3.

De los 44 tópicos considerados, para cada variable solamente resultan significativos entre dos y cuatro de ellos. De hecho, en conjunto, solo hay nueve categorías relevantes, ya que algunos son comunes entre las diferentes variables; por ejemplo, en todas se encuentra, al menos, un tópico relacionado con la pandemia de COVID-19 (cuarentena, cubrebocas, mascarilla N95 y crisis sanitaria). Otro tópico que llama la atención es el de tipo de cambio, que es relevante para las variables de actividades secundarias, inversión y exportaciones. También, llama la atención cómo, para las actividades primarias, además de tener relación con el tópico crisis sanitaria, estas tienen relación con búsquedas de internet en otros temas, como inseguridad y PEMEX (ver cuadro 3).

Con ello, puede considerarse que la información de Google Trends refleja oportunamente el rumbo de la economía en el muy corto plazo y que la herramienta LASSO brinda flexibilidad al modelo para que las variables que se introducen en un nuevo *nowcast* se actualicen con aquellas que mejor reflejen las circunstancias actuales. No obstante, el conjunto de tópicos seleccionados en este ejercicio es estático y, por el momento, está sujeto al criterio del investigador, por lo que al cam-

biar las condiciones del contexto del momento se requiere actualizar este grupo de palabras, por ejemplo, en caso del surgimiento de desastres naturales catastróficos, como terremotos, huracanes o inundaciones, entre otros. Así, cobra relevancia el rol de la información alternativa a los indicadores económicos tradicionales y, más aún, el uso de métodos estadísticos apropiados que sustenten su incorporación al modelo de *nowcasting* conforme cambien las condiciones socioeconómicas. Si bien el procedimiento estadístico es consistente, las variables que se incorporan a los modelos podrían variar entre periodos, lo que podría limitar comparaciones entre ellos.

Las transformaciones realizadas para cada conjunto de datos, de acuerdo con cada una de las variables de actividad económica, se describen en el cuadro 4.

Es de llamar la atención cómo para las actividades primarias las variables están levemente correlacionadas, no así para las otras dos grandes actividades económicas. El cálculo de las dependencias efectivas muestrales por sector de actividad es de 0.64, 0.81 y 0.79 para las actividades primarias, secundarias y terciarias, respectivamente; es decir, se encuentran dependencias más altas en las secundarias. Además, se puede ver que las transformaciones que dominan son las variaciones anuales

**Cuadro 3**

**Variables relevantes de Google Trends**

Variable	Actividades primarias	Actividades secundarias	Actividades terciarias	Consumo	Inversión	Exportaciones	Importaciones
Tópicos		Cuarentena	Cuarentena	Cuarentena	Cuarentena	Cuarentena	Cuarentena
		Cubre bocas	Cubre bocas	Cubre bocas	Cubre bocas	Cubre bocas	Cubre bocas
	Crisis sanitaria						Crisis sanitaria
			Mascarilla N95	Mascarilla N95			
					AH1N1		
		Tipo de cambio			Tipo de cambio	Tipo de cambio	
	Inseguridad						
	PEMEX						

Cuadro 4

## Transformaciones para variables de actividad económica

Variable	Actividades primarias		Actividades secundarias		Actividades terciarias	
	Trans.	Correl.	Trans.	Correl.	Trans.	Correl.
IAI	VA	0.06	VA	1.00	VA	0.85
ISBSVM	N	0.13	VA	0.77	VA	0.77
TDU	VA	-0.09	VA	-0.48	VA	-0.60
M	N	0.02	VA	0.79	VA	0.84
CONF_CONS	VM	0.03	N	0.63	N	0.56
CONF_MAN	N	0.12	N	0.62	N	0.64
CONF_COM	N	0.02	N	0.65	N	0.56
CONF_SERV	N	-0.06	N	0.73	N	0.73
T_EMP_MAN	VA	0.21	VA	0.62	VA	0.72
IPC	N	0.03	VA	0.51	VA	0.43
TC	VA	0.02	VA	-0.42	VA	-0.47
TIIE_28	VM	0.10	VM	0.14	VM	0.21
SP_500	VA	0.04	VA	0.35	VA	0.34
IPI_EUA	N	0.04	VA	0.62	VA	0.67
ANTAD	VA	0.02	VA	0.62	VA	0.54
PROD_VEH	N	0.05	VA	0.65	VA	0.69
OCUP_HOT	VA	0.13	VA	0.72	VA	0.73
GASOLINAS	VM	0.05	VA	0.55	VA	0.54
IMSS	VM	0.06	VM	0.69	VA	0.77
REMESAS	VA	0.09	VA	0.18	VA	0.08
MOVILIDAD	N	0.11	N	0.74	N	0.78
M4	VM	0.12	VA	0.11	VA	0.14
X	VM	0.03	VA	0.46	VA	0.55
PEDIDOS_MANU	N	0.03	N	0.77	N	0.78
AH1N1 Cuarentena			R	-0.73	R	-0.66
Cubrebocas			N	-0.73	R	-0.68
Mascarilla N95					R	-0.67
Crisis sanitaria	N	-0.14				
Inseguridad	N	-0.15				
PEMEX	R	-0.14				
Tipo de cambio			R	-0.50		

VA: variación anual.

VM: variación mensual.

N: ninguna.

R: rezago.

(VA), principalmente porque las variables objetivo están expresadas de esa forma. Es interesante ver que las variables de opinión empresarial (CONF\_CONS, CONF\_MAN, CONF\_COM y CON\_SERV) y el indicador de movilidad, la transformación óptima es ninguna (N), que puede ser por la naturaleza estacionaria de los indicadores; mientras que para los tópicos de *Google Trends*, la transformación más común es el rezago (R); es decir, los agentes económicos reaccionan con mayor prontitud que la economía.

De manera similar, el cuadro 5 detalla los resultados de las transformaciones previas y sus correlaciones con respecto a las componentes del PIB.

Para las componentes del PIB, podemos apreciar correlaciones altas, con dependencias efectivas muestrales de 0.76, 0.79, 0.75 y 0.73, respectivamente, dominando también las variaciones porcentuales anuales como tipo de transformación. A diferencia de las variables de actividad económica, las transformaciones óptimas para las variables de

Cuadro 5

Continúa

### Transformaciones para las variables de componentes del PIB

Variable	Consumo		Inversión		Exportaciones		Importaciones	
	Trans.	Correl.	Trans.	Correl.	Trans.	Correl.	Trans.	Correl.
IAI	VA	0.84	VA	0.89	VA	0.46	VA	0.79
ISBSVM	VA	0.81	VA	0.73	VA	0.38	VA	0.37
TDU	VA	-0.57	VA	-0.45	VA	-0.49	VA	-0.54
M	VA	0.77	VA	0.71	VA	0.77		
CONF_CONS	VM	0.46	N	0.59	VA	0.51	VA	0.62
CONF_MAN	N	0.61	N	0.55	VA	0.70	VA	0.65
CONF_COM	VM	0.54	N	0.53	VA	0.67	VA	0.70
CONF_SERV	N	0.74	N	0.64	N	0.75	N	0.73
T_EMP_MAN	VA	0.70	VA	0.52	VA	0.63	VA	0.70
IPC	VA	0.41	VA	0.47	VA	0.44	VA	0.56
TC	VA	-0.44	VA	-0.57	N	-0.44	VA	-0.42
TIIE_28	VM	0.20	N	-0.23	N	0.37	VM	0.15
SP_500	VA	0.32	VA	0.19	VA	0.51	VA	0.45
IPI_EUA	VA	0.66	VA	0.41	VA	0.79	VA	0.77
ANTAD	VA	0.57	VA	0.63	VA	0.45	VA	0.47
PROD_VEH	VA	0.59	VA	0.50	VA	0.62	VA	0.71
OCUP_HOT	VA	0.74	N	0.54	VA	0.53	VA	0.56
GASOLINAS	VA	0.59	VA	0.49	VA	0.25	VA	0.40
IMSS	VM	0.66	VA	0.64	VA	0.63	VA	0.69
REMESAS	VA	0.25	VA	0.07	VA	0.10	VA	0.12
MOVILIDAD	N	0.80	N	0.69	N	0.61	N	0.60



## Transformaciones para las variables de componentes del PIB

Variable	Consumo		Inversión		Exportaciones		Importaciones	
	Trans.	Correl.	Trans.	Correl.	Trans.	Correl.	Trans.	Correl.
M4	VM	0.00	VA	0.29	VA	0.10	VA	0.13
X	VA	0.48	VA	0.24			VA	0.77
PEDIDOS_MANU	N	0.77	N	0.64	VA	0.64	N	0.61
IGAE	VA	0.91	VA	0.87				
AH1N1			N	-0.27				
Cuarentena	R	-0.69	R	-0.55	R	-0.43	R	-0.40
Cubre bocas	R	-0.70	N	-0.58	R	-0.44	R	-0.43
Mascarilla N95	R	-0.69	R	-0.55				
Crisis sanitaria							N	-0.46
Inseguridad								
PEMEX								
Tipo de cambio					R	-0.41	R	-0.42

VA: variación anual.  
 VM: variación mensual.  
 N: ninguna.  
 R: rezago.

opinión empresarial varían según el tipo de variable, aunque también, los tópicos de *Google Trends* suelen expresarse en rezagos.

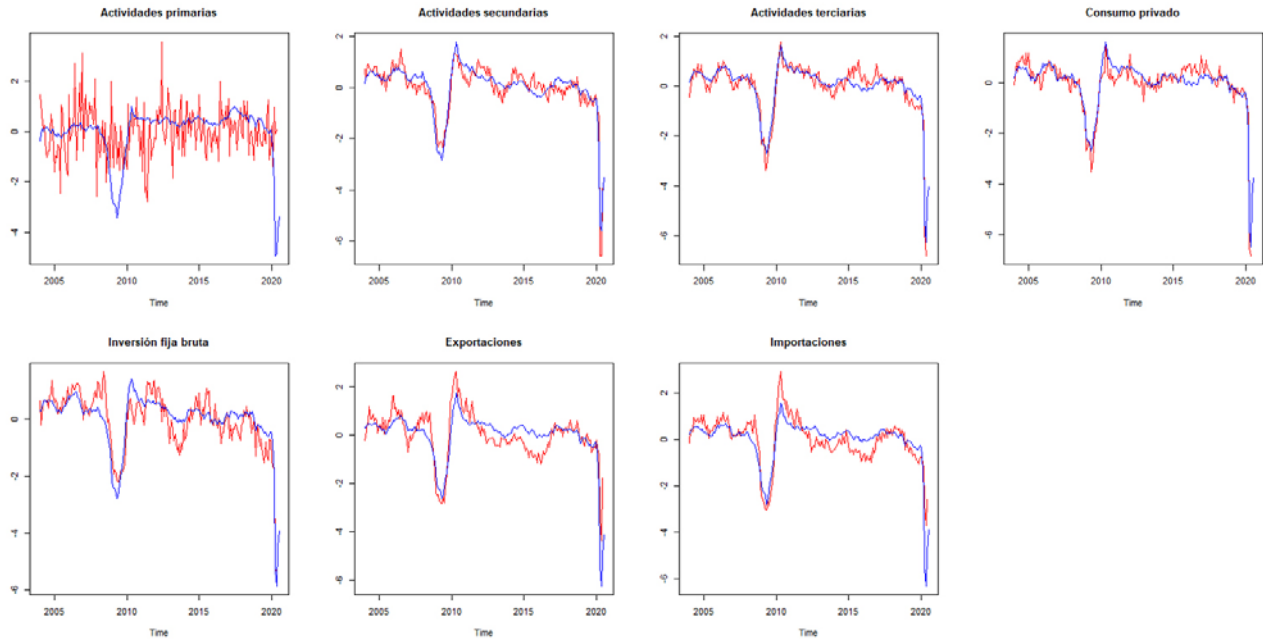
Las gráficas 1 resumen las estimaciones del factor dinámico para cada una de las variables.

Se puede apreciar que, en todos los casos, se estima un factor altamente correlacionado con la variable de interés, con excepción de las actividades primarias; de esta forma, los *nowcasts* para esta variable pueden ser no confiables. Las correlaciones contemporáneas entre el factor y las variables son 0.14, 0.95, 0.95, 0.94, 0.85, 0.83 y 0.82 para las actividades primarias, secundarias y terciarias; consumo; inversión; exportaciones e importaciones totales, respectivamente. Esto corrobora la esencia del ejer-

cicio, que es generar un factor dinámico altamente correlacionado con la variable de interés, situación conseguida sobre todo para los sectores industrial y de servicios, además del consumo; medianamente para la inversión, las exportaciones e importaciones; y, de forma muy débil, para las actividades primarias. Claro está, este sector se relaciona con otra dinámica, quizá algunas de ellas más de carácter climático o factores intrínsecos a la producción y el abastecimiento de recursos. Los intervalos de confianza del factor estático no se presentan en este trabajo, pero están disponibles bajo petición.

Las contribuciones del factor (*loadings*) sobre las variables, que también pueden interpretarse como coeficientes estandarizados de la regresión, están denotadas por  $\hat{P}$  (ver cuadro 6).

### Estimación de factores dinámicos



Notas: escala normalizada; la línea azul representa al factor dinámico y la roja, a la serie de tiempo por estimar.

Se puede apreciar que las variables tienen signos esperados de acuerdo con la teoría económica; por ejemplo, la tasa de desocupación y el tipo de cambio tienen un rol inverso en el factor. Recordando la expresión (5), podemos interpretar al factor como una función de las variables, lo cual quiere decir que estas

contribuyen de manera inversa en el factor, mientras que el resto lo hace de manera directa. Los intervalos de estimación no se presentan para ahorrar espacio, pero se pudo constatar que todas las variables son significativas a 95 % de confianza. Los resultados completos están disponibles bajo petición.

Cuadro 6

### Estimación Monte Carlo de la contribución del factor sobre las variables

Continúa

Variable	Actividades primarias	Actividades secundarias	Actividades terciarias	Consumo	Inversión	X	M
AH1N1					-0.25		
ANTAD	0.94	0.90	0.99	0.89	0.84	1.00	0.91
CONF_COM	-0.08	0.65	0.59	0.51	0.51	0.63	0.84
CONF_CONS	0.63	0.75	0.49	0.37	0.61	0.52	0.52
CONF_MAN	1.31	1.25	1.29	1.06	1.17	0.99	0.95
CONF_SERV	1.15	0.60	0.78	0.77	0.41	0.76	0.75
Crisis sanitaria	-1.35						-1.20
Cuarentena		-1.12	-1.34	-1.08	-1.37	-1.13	-1.42
Cubrebocas		-1.03	-1.40	-1.45	-0.96	-1.53	-0.92
GASOLINAS	0.94	0.92	1.01	1.02	1.01	1.20	1.02

**Estimación Monte Carlo de la contribución del factor sobre las variables**

Variable	Actividades primarias	Actividades secundarias	Actividades terciarias	Consumo	Inversión	X	M
IAI	1.56	1.50	1.52	1.43	1.53	1.56	1.50
IGAE				1.49	1.51		
IMSS	1.42	1.33	1.36	1.18	1.38	1.38	1.38
Inseguridad	0.03		0.64				
IPC	0.68	0.82	1.48	0.88	0.74	0.87	0.74
IPI_EUA	1.14	1.22	0.71	1.05	1.38	1.28	1.51
ISBSVM	0.87	0.62	1.13	0.87	0.48	0.88	1.04
M	0.96	1.17	0.13	1.40	1.36	1.30	
M4	-0.07	0.24		-0.03	0.10	0.10	0.11
Mascarilla N95			-1.16	-1.50			
MOVILIDAD	0.90	0.91	0.73	1.15	0.92	0.96	1.05
OCUP_HOT	1.46	1.15	1.14	1.23	1.25	1.29	1.35
PEDIDOS_MANU	1.42	1.28	1.32	1.29	1.35	1.11	1.36
PEMEX	0.23						
PROD_VEH	1.13	1.26	1.17	1.15	1.15	1.37	1.17
REMESAS	0.69	0.47	0.34	0.53	0.60	0.57	0.60
SP_500	0.98	0.51	0.89	0.65	0.63	0.73	1.11
T_EMP_MAN	1.51	0.86	0.69	0.65	0.71	1.07	0.95
TC	-0.81	-0.95	-0.99	-0.98	-0.82	-0.67	-0.75
TDU	-1.04	-1.07	-1.14	-0.66	-1.14	-0.84	-0.75
TIIE_28	0.95	0.71	0.54	0.76	0.04	-0.10	0.82
Tipo de cambio		-0.89			-0.88	-0.72	-0.70
X	0.79	1.34	1.18	1.24	1.39		1.41

Una vez estimados los factores y las cargas asociadas a las variables, se realizan los *nowcasts* para cada una de las variables consideradas junto con sus intervalos de confianza. En el cuadro 7 se muestran los resultados de los *nowcasts* para la actividad económica con sus respectivos intervalos de confianza a 95 por ciento.

En este sentido, se estiman variaciones del IGAE con respecto al mismo mes del año anterior de -15.2 % para junio y -13.2 % para julio del 2020. Considerando las grandes actividades del IGAE se tiene que, para las actividades primarias, se espe-

ran crecimientos anuales de 3.4 % en junio y 0.3 % en julio. En cuanto a las secundarias, se estiman caídas anuales de -15.7 % para julio. Finalmente, para las terciarias, las variaciones esperadas son -12.9 y -10.7 % para junio y julio del 2020, respectivamente.

En el cuadro 8 se presentan los resultados de las estimaciones para el consumo, la inversión, las exportaciones y las importaciones totales.

Para el consumo, se estima que las variaciones anuales de junio y julio son -15.1 y -13.0 %, respectivamente; para la inversión, se prevén de -29.0 %

Cuadro 7

### Nowcasts del IGAE y sus actividades económicas (variación % real respecto al mismo mes del año anterior)

Fecha	Actividades primarias			Actividades secundarias			Actividades terciarias		
	LI	Nowcasts	LS	LI	Nowcasts	LS	LI	Nowcasts	LS
2020/06	-3.2	3.4	9.4		-17.5*		-14.4	-12.9	-11.3
2020/07	-7.5	0.3	6.1	-17.5	-15.7	-14.2	-11.6	-10.7	-9.5

LI: límite inferior.

LS: límite superior.

\* Valor observado con la variable IAI, publicado antes de la estimación.

Cuadro 8

### Nowcasts de variables seleccionadas (variación % real respecto al mismo mes del año anterior)

Fecha	Consumo			Inversión			Exportaciones			Importaciones		
	LI	Nowcasts	LS	LI	Nowcasts	LS	LI	Nowcasts	LS	LI	Nowcasts	LS
2020/06	-16.7	-15.1	-13.5	-31.8	-29.0	-25.5		-18.3*			-28.2*	
2020/07	-14.5	-13.0	-11.4	-28.4	-25.8	-23.1	-30.0	-15.1	-9.8	-29.0	-20.3	-15.6

LI: límite inferior.

LS: límite superior.

\* Valor observado, publicado antes de la estimación.

en junio y -25.8 % en julio. En cuanto a exportaciones e importaciones, se calculan caídas anuales de -15.1 y -20.3 % para julio. Cabe aclarar que, para las variaciones porcentuales anuales de las exportaciones e importaciones totales de junio del 2020, los datos reportados en el cuadro corresponden a las cifras oficiales previamente dadas a conocer por el INEGI.

## Pruebas de validación

De acuerdo con Corona *et al.* (2021), el modelo de *nowcasting* que aquí se presenta genera una mediana del error absoluto (MEA) de 0.65 y los intervalos de confianza capturan a la variable en 92 % de los casos para el IGAE. Además, ahí se pueden ver, también, las correlaciones del factor estimado a lo largo del tiempo, las cuales son más altas en periodos de incertidumbre (0.98) y, en contexto de menos volatilidad, disminuye ligeramente la correlación hasta 0.95 en el 2016. También, para verificar la utilidad de incluir las variables no tradicionales,

en Corona *et al.* (2020) se realiza una comparación del MEA entre tres modelos: el DFM que aquí se presenta, uno DFM pero que asigna pesos iguales dentro del factor y otro DFM sin la información de *Google Trends* y la variable de movilidad. Se obtiene que el MEA para estos tres modelos es de 0.65, 1.02 y 0.74, respectivamente, lo que corrobora la utilidad tanto del modelo actual como de la información de *Google Trends*.

## Comentarios sobre el error de estimación

Al momento de realizar las estimaciones aquí mostradas (13 de agosto de 2020) no se contaba aún con los datos del IGAE para junio, los cuales fueron publicados el 25 de agosto, lo cual permite comparar los *nowcast* con respecto a las cifras observadas. Así, las variaciones porcentuales anuales observadas en junio fueron -1.5 y -13.6 % para las actividades primarias y terciarias, respectivamente, mientras que las estimaciones para julio fueron 3.4 y -12.9 por ciento. Se puede observar que la esti-

mación fue fiable para las actividades terciarias; en cuanto a las primarias, se observa que la estimación es poco certera dada la poca relación que se tiene con el factor dinámico (ver gráficas 1). Nótese que no se hace comparación para las actividades secundarias de dicho mes, ya que el dato de la actividad industrial (IAI) se puede considerar prácticamente un reflejo de la componente de actividades secundarias en el IGAE.

Para las exportaciones de julio, el dato observado (publicado el 27 de agosto) fue de -8.8 % y para las importaciones, de -26.3 %, mientras que sus *nowcasts* respectivos fueron de -15.1 y -20.3 por ciento. Nótese que, para el caso de las exportaciones, aunque se capta la caída, esta no cubre el intervalo superior, no así para las importaciones, siendo la desviación respecto al real de 6 por ciento. Estos resultados llevan a plantear que el modelo de *nowcasting* es más certero para estimar la actividad económica, que es la naturaleza propia de estos modelos, que para las componentes del PIB donde, incluso, podemos ver que los intervalos de confianza son más amplios.

Para el consumo y la inversión no se puede hacer una comparación en este sentido dado que, a la fecha de escribir estas líneas, no había cifras oficiales publicadas con las cuales hacer la comparación.

### Escenarios económicos de corto plazo

Para ilustrar la utilidad de la metodología empleada en este trabajo, en esta sección presentamos dos entornos de crecimiento económico para lo que resta del 2020. En el primero, realizamos los *nowcasts* del IGAE (o, en este caso, predicciones), asumiendo que las variables del MFD tendrían los mismos valores hasta dicha fecha, según su última observación, denominado *ceteris paribus*. En el segundo, al que llamamos *V*, asumimos que las variables recuperarían para diciembre los mismos niveles de febrero. La selección de los escenarios como se presentan obedece a que, al ser opuestos entre sí, nos permitiría imaginar un continuo de posibles perspectivas, entre los cuales se vis-

lumbraría la economía mexicana hasta diciembre del 2020. Uno de particular interés es el punto medio de ellos, el cual se presenta al final de este apartado.

### Escenario *ceteris paribus*

Este asume que para cada una de las variables que integran al MFD, sus valores a diciembre del 2020 son los mismos que el último observado, con lo cual se anticipa que la situación económica al final del año sería muy similar a la que ocurrió en mayo, junio y julio del 2020. Las gráficas 2 muestran los resultados esperados bajo este escenario.

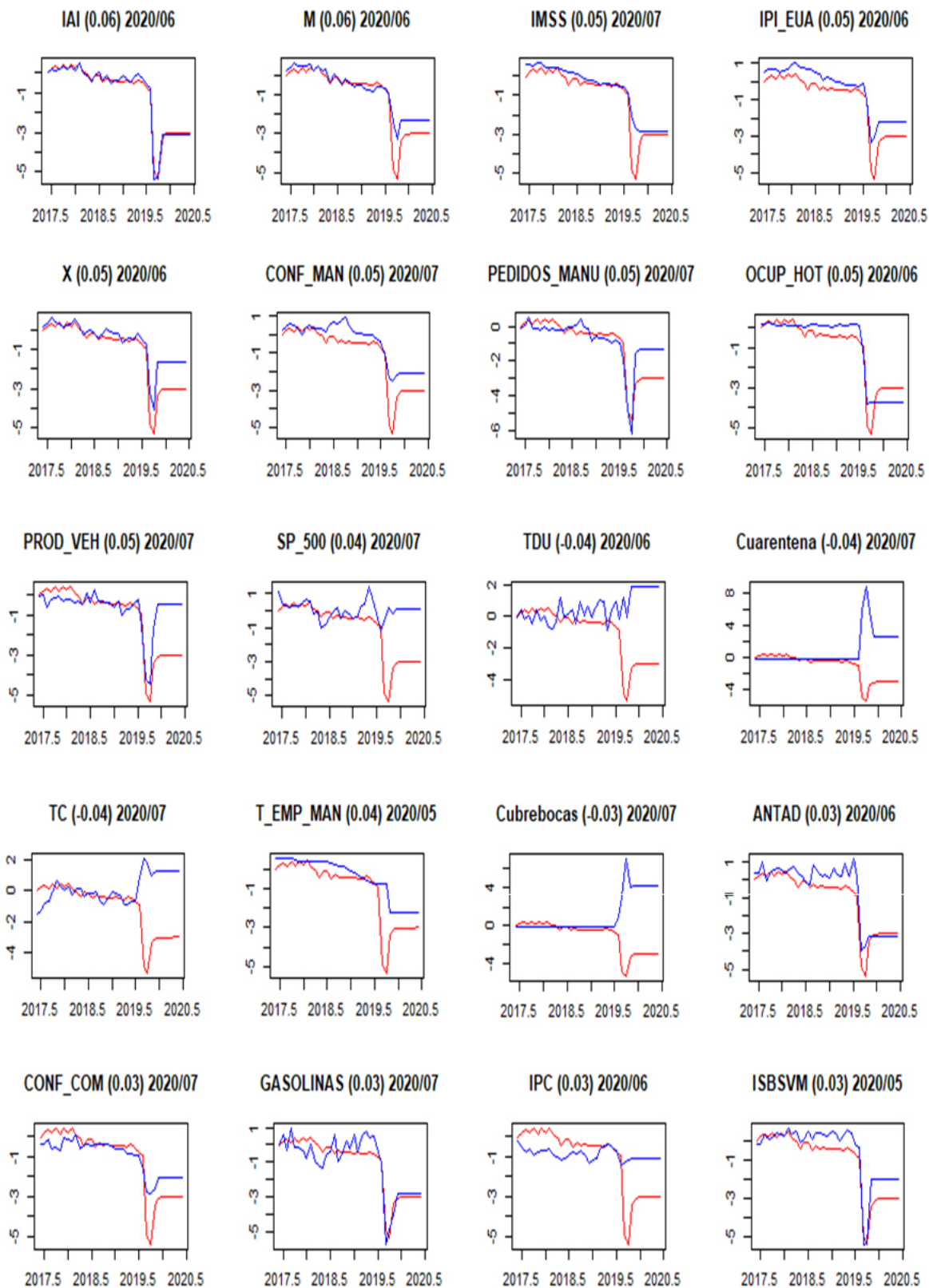
Se puede apreciar que, si las variables del MFD mantienen los mismos niveles de crecimiento, los incrementos estimados rondan sobre el último *nowcast* realizado, es decir, julio del 2020, calculando valores alrededor de -13.5 % y, puntualmente, para diciembre del 2020, una caída de -13.8 por ciento. Anualizando los resultados, el escenario de crecimiento económico para México en el 2020 genera un intervalo a 95 % de -12.7, -12.2, -11.7, es decir, se esperaría un decremento alrededor de -12.2 por ciento.

### Escenario *V*

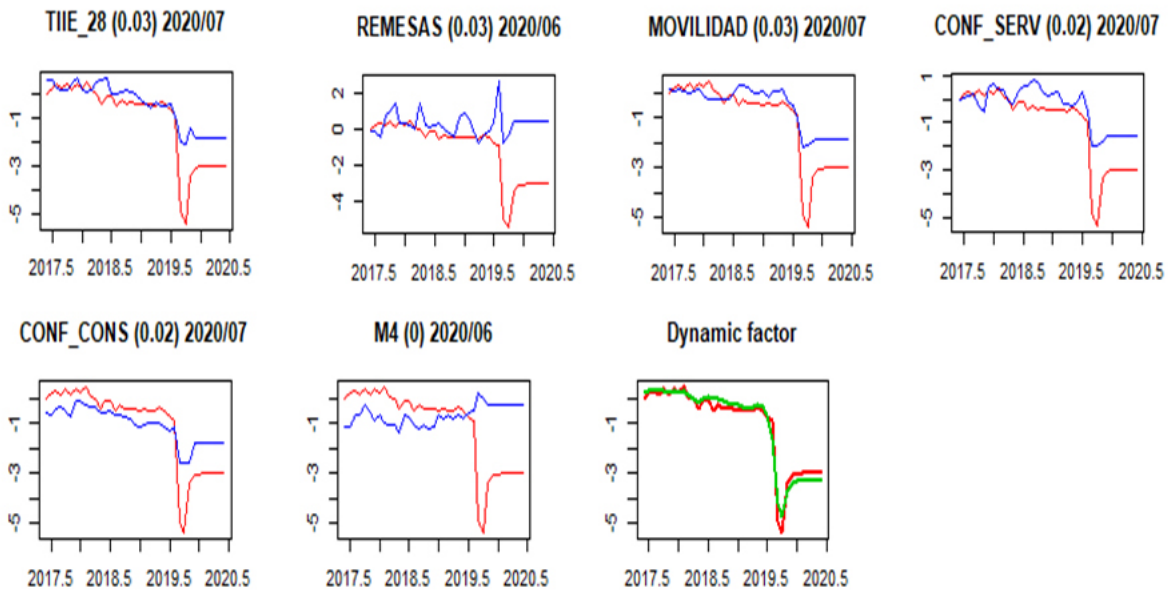
Considera una recuperación en forma de *V*, es decir, asume una mejoría gradual de la economía reflejada, donde las variables del MFD regresan a su valor prepandemia para diciembre del 2020 (ver gráficas 3).

Nótese cómo, en este escenario, las series de tiempo se recuperan en forma de *V*, llegando a los niveles que se habían suscitado con anterioridad, específicamente, a febrero del 2020. Si ocurriese esto, las tasas de crecimiento esperadas son de -15.7 % en junio del 2020 a -4.4 % en diciembre del mismo año, lo que genera un intervalo a 95 % anualizado al 2020 de -9.2, -8.8, -8.3, es decir, un decremento alrededor de -8.8 por ciento.

**Predicciones a diciembre del 2020 bajo el escenario *ceteris paribus***

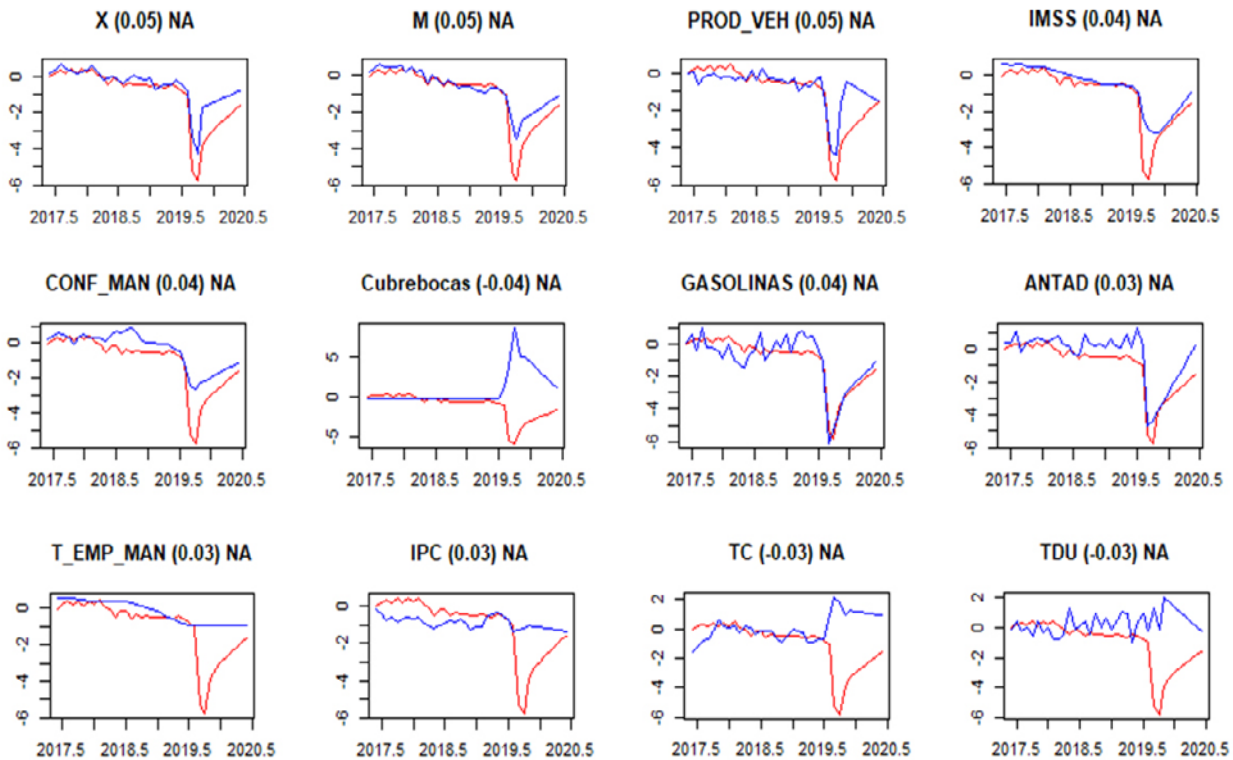


**Predicciones a diciembre del 2020 bajo el escenario *ceteris paribus***

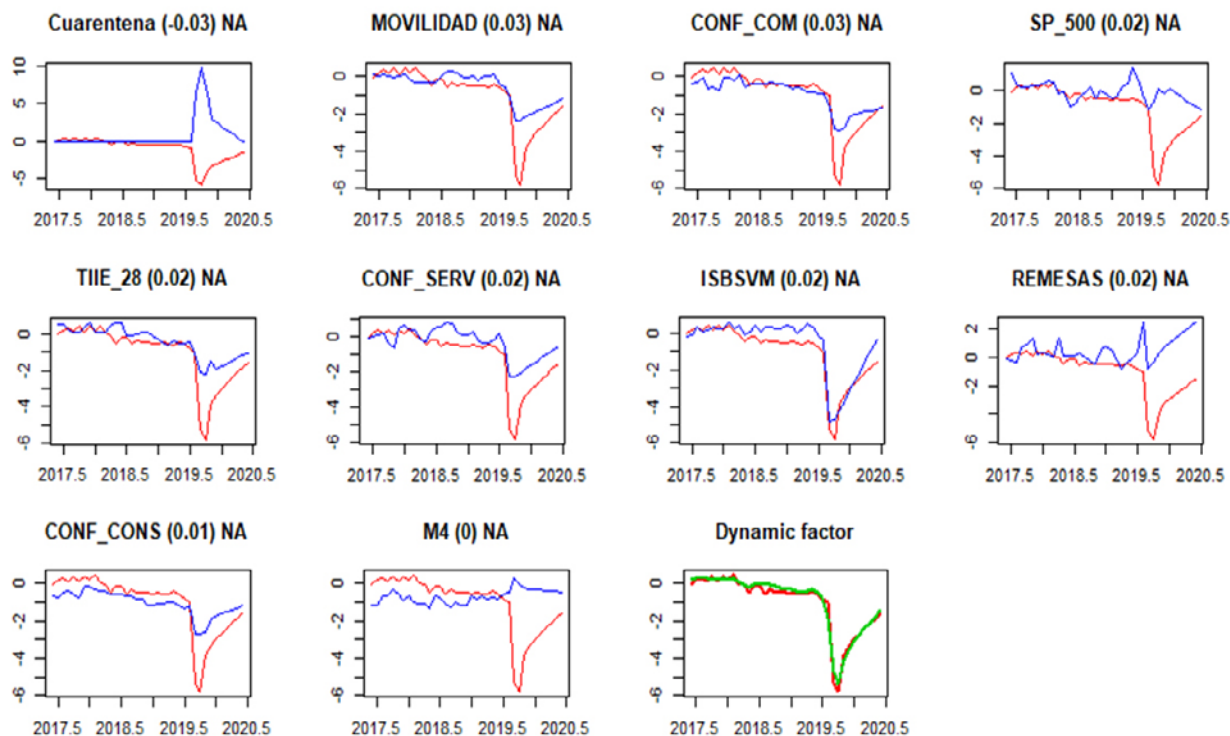


**Notas:** las líneas azules corresponden a cada una de las variables del modelo; la roja, al IGAE; y la verde es el factor dinámico; entre paréntesis indica la contribución de la variable en el factor y la fecha corresponde al último periodo de actualización de las variables.

**Predicciones a diciembre del 2020 bajo el escenario V**



### Predicciones a diciembre del 2020 bajo el escenario V



**Notas:** las líneas azules corresponden a cada una de las variables del modelo; la roja, al IGAE; y la verde es el factor dinámico; entre paréntesis indica la contribución de la variable en el factor y la fecha corresponde al último periodo de actualización de las variables.

Considerando ambos escenarios como igualmente probables y calculando el promedio de ambos intervalos de confianza nos genera un nuevo intervalo de -11, 10.5, -10, es decir, el crecimiento esperado de México al 2020 estaría alrededor de -10.5 por ciento.

## Conclusiones

Siguiendo a Corona *et al.* (2021), en este trabajo se generan *nowcasts* o estimaciones oportunas durante el periodo junio y julio del 2020 para variables relevantes de la economía mexicana, como las tres grandes actividades económicas del IGAE y algunas componentes del PIB, en particular el consumo, la inversión, las exportaciones e importaciones totales.

La principal característica de estas es su oportunidad, ya que se anticipan hasta 66 días a la publicación del dato oficial. Esta metodología nos permite, también, hacer análisis de política económica, para lo cual se consideraron dos escenarios extremos para la economía mexicana en lo que restaba del 2020.

La principal aportación de esta investigación consiste en validar y brindar certeza al funcionamiento de la metodología propuesta al abarcar una mayor cantidad de series de tiempo y no solo enfocarnos a agregados. Se encontró que las estimaciones son más cercanas a las observadas para el sector terciario, el consumo y la inversión, mientras que para las exportaciones e importaciones, los resultados de las primeras no caen en el intervalo estimado, pero sí para las segundas, aunque este es



relativamente amplio. De esta forma, se concluye que para estas dos variables es necesario generar modelos con variables específicas que capturen de mejor manera sus dinámicas particulares.

En lo que respecta a los escenarios de crecimiento económico para el 2020, el *ceteris paribus* indica que se esperaría, en promedio, una tasa de crecimiento anual de -12.2 %, mientras que el de forma en V indica una tasa de crecimiento anual de -8.8 por ciento. Promediando ambos, el resultado muestra que la tasa de crecimiento anual del 2020 rondaría en -10.5 por ciento.

Como futura línea de estudio, se considera conveniente incorporar más series de tiempo relacionadas con el sector externo, similar a lo que propone Caruso (2018) o, en su caso, otra metodología en específico. Una aportación importante es que las estimaciones derivadas de los modelos de *nowcasts* pueden combinarse para formular posibles escenarios para la recuperación de la economía mexicana, de las cuales se eligen dos, que posteriormente se combinan, y se concluye que, si los asumimos como igual de probables, la tasa de crecimiento económica esperada para el 2020 sería de -10.5 por ciento. Otra línea de investigación abierta es analizar la conveniencia de incorporar una metodología que permita incorporar tópicos relevantes de *Google Trends* de manera dinámica, que capturen la coyuntura del acontecer socioeconómico de México, para lo cual son relevantes herramientas de procesamiento de lenguaje natural.

## Fuentes

- Bai, J. & S. Ng. *Large dimensional factor analysis*. Now Publishers Inc., 2008.
- \_\_\_\_\_. "A panic attack on unit roots and cointegration", en: *Econometrica*. 72(4). 2004, pp. 1127-1177.
- \_\_\_\_\_. "Principal components estimation and identification of static factors", en: *Journal of Econometrics*. 176(1). 2013, pp. 18-29.
- Breitung, J. e I. Choi. "Factor models", en: Hashimzade, N. y M. Thornton (eds.). *Handbook of research methods and applications in empirical macroeconomics*. Cheltenham, Edward Elgar, 2013, pp 249-265.
- Caruso, Alberto. "Nowcasting with the help of foreign indicators: The case of Mexico", en: *Economic Modelling*. 69. 2018, pp. 160-168.
- Corona, Francisco, G. González-Farías y J. López-Pérez. *A nowcasting approach to generate timely estimates of Mexican economic activity: An application to the period of COVID-19*. 2021. arXiv:2101.10383 [stat. AP].
- Corona, Francisco, Graciela González-Farías y Pedro Orraca. "A dynamic factor model for the Mexican economy: are common trends useful when predicting economic activity?", en: *Latin American Economic Review*. 26(1). 2017, pp. 1-35.
- Delajara, Marcelo, Federico Hernández y Abel Rodríguez. "Nowcasting Mexico's Short-Term GDP Growth in Real-Time: A Factor Model versus Professional Forecasters", en: *Economía*. 17(1). 2016, pp. 167-182.
- Doz, C., D. Giannone y L. Reichlin. "A two step estimator for large approximate dynamic factor models", en: *Journal of Econometrics*. 164(1). 2011, pp. 188-205.
- \_\_\_\_\_. "A quasi maximum likelihood approach for large, approximate dynamic factor models", en: *The Review of Economics and Statistics*. 94(4). 2012, pp. 1014-1024.
- \_\_\_\_\_. "A two-step estimator for large approximate dynamic factor models based on Kalman filtering", en: *Journal of Econometrics*. 164(1). 2011, pp. 188-205.
- Galvez-Soriano, Oscar de Jesús. "Nowcasting Mexico's quarterly GDP using factor models and bridge equations", en: *Estudios Económicos*. 35(2). 2020, pp. 213-265.
- Geweke, J. "The dynamic factor analysis of economic time series", en: Aigner, D. J. y A. S. Goldberger (eds.). *Latent variables in socio-economic models*. North-Holland, Amsterdam, 1977.
- Giannone, Domenico, Lucrezia Reichlin y David Small. "Nowcasting: The real-time informational content of macroeconomic data", en: *Journal of Monetary Economics*. 55(4). 2008, pp. 665-676.
- Graff, M., D. Moctezuma, S. Miranda-Jiménez y E. S. Téllez. *A Python Library for Exploratory Data Analysis and Knowledge Discovery on Twitter Data*. Working paper. 2020 (DE) <https://arxiv.org/pdf/2009.01826.pdf>
- Guerrero Víctor M. y F. Corona. "Retropolación hasta 1980 de algunas series del Sistema de Cuentas Nacionales de México", en: *Realidad, Datos y Espacio Revista Internacional de Estadística*. 9(3). 2018, pp. 98-119.
- Kuiper, M. & F. P. Pijpers. *Nowcasting GDP growth rate: a potential substitute for the current flash estimate*. Reporte técnico. Statistics Netherlands. Mayo del 2020.
- Lenza, M. y G. E. Primiceri. *How to Estimate a VAR after March 2020. Technical report*. National Bureau of Economic Research, 2020.
- Onatski, Alexei. "Determining the number of factors from empirical distribution of eigenvalues", en: *The Review of Economics and Statistics*. 92(4). 2010, pp. 1004-1016.
- Sargent, T. J. y C. A. Sims. "Business cycle modeling without pretending to have too much a priori economic theory", en: Sims, C. A. (ed.). *New methods in business cycle research Minneapolis*. Minneapolis, Federal Reserve Bank of Minneapolis, 1977.

Stock, J. y M. Watson. M. "Dynamic factor models". en: Clements, M. y D. Hendry (eds.). *Oxford handbook of economic forecasting*. Oxford, Oxford University Press, 2011.

Tibshirani, Robert. "Regression shrinkage and selection via the LASSO", en: *Journal of the Royal Statistical Society. Series B (Methodological)*. 58(1). 1996, pp. 267-288.

## Anexo

### Tópicos de Google Trends considerados

Tópicos			
AH1N1	Crisis sanitaria	Inseguridad	PEMEX
AMLO	Cuarentena	Mascarilla N95	Peso
Ayotzinapa	Cubrebocas	Medidas económicas	Petróleo
Calderón	Desempleo	Migración	PRI
Cártel	Dólar	Migrantes	Recesión
Casa Blanca	Elecciones	Morena	Reformas
Chapo	EPN	Muertos	Salario
China	Gasolina	Muro	Sismo
Coronavirus	Homicidios	Pacto	Tipo de cambio
Corrupción	Huachicol	PAN	Trump
Crisis económica	Inflación	Pandemia	Violencia

# *Movilidad:* *edad, sexo y partición modal* **en la Zona Metropolitana de Saltillo**

## *Mobility:* *Age, Sex, and Modal Transport* **Share in Saltillo's Metropolitan Area**

**Ignacio Javier Cruz Rodríguez\***

Incidir sobre las políticas de movilidad requiere de disponibilidad de datos estadísticos y del análisis de los mismos. El principal objetivo de este artículo es caracterizar la movilidad en la Zona Metropolitana de Saltillo, Coahuila de Zaragoza a través de diversas variables que la literatura muestra que son relevantes, como: sexo, edad, motivo de viaje y partición modal. Se busca probar que algunos aspectos de la movilidad se ajustan a los reportados en la literatura expresados en 16 proposiciones, para lo cual se utilizó la Encuesta Origen Destino Saltillo realizada en el 2009 por el Consejo Estatal de Transporte y Vialidad. Los resultados indican que las premisas establecidas son correctas.

**Palabras clave:** movilidad urbana; Encuesta Origen Destino; distribución modal; Saltillo; México.

Recibido: 27 de noviembre de 2020.

Aceptado: 16 de marzo de 2021.

\* Universidad Autónoma de Coahuila, rodriguez.ignacio@uadec.edu.mx

Mobility policies require data and analysis. The main objective of this paper is to characterize the mobility of Saltillo city according to some relevant variables as sex, transport modal share, age and motive. I used 2009 Origin Destination Survey in order to demonstrate that some aspects of mobility fits in revisited literature expressed in 16 proposals. Results suggest that established proposals are correct.

**Key words:** urban mobility; Origin Destination Survey; transport modal share; Saltillo; Mexico.



Una vista de la Catedral de Saltillo, José Arturo Narro Pinares

## Introducción

El concepto de movilidad es amplio y, dependiendo del enfoque que se busque adoptar, se pueden hallar diversas definiciones. Cuando se trata de un ambiente urbano, se encuentran acepciones como la de Jaramillo *et al.* (2012), que concentran su definición en el espacio y la relación de este con las modalidades transportistas usadas por las personas. Otra se encuentra en Miralles-Guasch y Cebollada (2003), que se basan en los requerimientos de desplazamiento, focalizando las mismas por el destino del viaje, es decir, hace énfasis en las necesidades que cubren los ciudadanos al mo-

verse. Otras se asocian con la calidad de vida o, incluso, la infraestructura de transporte existente en las ciudades (Negrete y Paquette, 2011). En este artículo se busca caracterizar la movilidad de la Zona Metropolitana<sup>1</sup> de Saltillo (ZMS), Coahuila de Zaragoza, utilizando algunas variables que la influyen, según la literatura al respecto, para luego presentar evidencia estadística sobre su comportamiento en esta área. Las principales variables de interés son la relación de la movilidad con el sexo, la edad, el motivo de viaje y la partición modal. Existen otras que pueden ser relevantes en su relación con la movilidad, pero se ha decidido

<sup>1</sup> Se reconoce que existen diferencias entre zona metropolitana y ciudad, pero se utilizarán como sinónimos para facilitar la lectura del documento.

dejarlas fuera del análisis porque la estadística disponible no permitió su contrastación.

Este texto está organizado de la siguiente manera: en el segundo apartado se realiza la revisión bibliográfica, de la que se desprenden proposiciones que luego se contrastan en el tercero, que es donde se revisa la estadística disponible, para presentar las conclusiones en la última parte.

## Revisión bibliográfica

Antes de iniciar con la revisión teórica, se considera necesario ofrecer información que sirva de contexto respecto a la ciudad de Saltillo, que puede servir como escenario en el cual se desarrolló la movilidad urbana en el 2009, año en el que se levantó la Encuesta Origen Destino Saltillo (EODS) por parte del Consejo Estatal de Transporte y Vialidad.

La ZMS se encuentra localizada en el sureste del estado de Coahuila de Zaragoza, entidad federativa fronteriza con Texas, Estados Unidos de América. Está formada por tres municipios: Saltillo, Arteaga y Ramos Arizpe. El Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) reportó, en el Censo de Población y Vivienda 2010, que tenía 709 671 habitantes. De acuerdo con la Encuesta Nacional de Ocupación y Empleo (ENOE) 2009 (también realizada por el INEGI), la población ocupada representó 51.8 por ciento. De este total, 62.5 % correspondía a hombres y 37.5 %, a mujeres; si se divide por grupos de edad, las personas menores a 25 años representaron 18.2 %; entre 25 y 35 años fueron el porcentaje más alto con 28.4%; de 36 a 45, 25.7 %; entre 46 y 55, 16.5 %; de 56 a 65, 8 %; y mayores a 65, solo 2.8 por ciento.

De acuerdo con la Dirección de Desarrollo Económico del gobierno municipal de Saltillo (2015, 35), esta ciudad participó con 35 % del Producto Interno Bruto (PIB) del estado en el 2009, siendo la fabricación de equipo de transporte la actividad económica que aportó mayor valor agregado al PIB metropolitano (39 %).

Según Casado (2008), la movilidad de la población se divide en dos: 1) la de carácter migratorio o residencial, que es permanente y 2) la cotidiana, pendular; esta última se compone de varios elementos (también llamados motivos) de los que usualmente el más importante es el trabajo. Por su parte, Galindo *et al.* (2020, 2) señalan que, en los viajes urbanos, hay relaciones de atracción-expulsión entre el lugar de origen del viaje y su destino. A nivel teórico, la economía urbana indica que cada viaje está motivado por una fuerza de tipo atrayente de manera que, para los desplazamientos por motivo de empleo, el traslado está motivado por el ingreso; los viajes a la escuela, por la promesa de un futuro mejor; los desplazamientos al médico, por motivos de salud, etcétera. Cada uno implica una distancia a recorrer donde el viajero debe estar dispuesto a gastar tiempo y dinero para recorrerla y tiene asociada una modalidad de transporte por utilizar. Antes de empezar a mencionar las proposiciones que luego se buscará probar, es necesario decir que la mayoría de ellas (que se busca se ajusten a la literatura reportada) provienen de ciudades de países en desarrollo. Se considera conveniente comparar la movilidad de la ciudad de Saltillo con otras urbes de países no desarrollados, pues hacerlo con ciudades de naciones desarrolladas (donde las condiciones de institucionalidad, tecnología y hábitos difieren mucho) podría sobre o subdimensionar los resultados.

De acuerdo con Alcántara (2010, 22), los principales agentes que explican la relación de una sociedad con el transporte y el tránsito urbano son: 1) el sistema político y económico, donde resalta la existencia de propiedad privada que involucra empresas y personas que poseen medios por los cuales se ofertan y se demandan servicios, en particular los de transporte; 2) los individuos que tienen objetivos diversos que se manifiestan en su movilidad diaria, según sus intereses específicos; 3) sistemas instalados de transporte que tienen sus propias características físicas y su propio nivel de oferta, que condicionan las decisiones de movilidad de las personas; y 4) el valor del suelo, que condiciona la ubicación de las actividades económicas

y de la población. En este contexto, hay variables que dan forma a la movilidad al interior de una ciudad o zona metropolitana, como la edad o el sexo de las personas, entre otras.

Como se expuso en párrafos anteriores, las variables de importancia en esta investigación son edad, sexo, motivo de viaje y partición modal. Algunas de ellas no involucran relaciones con otras variables, pero hay otras proposiciones que requieren utilizar una mezcla de dos variables. En lo sucesivo se expondrán tanto las que no mezclan estas como las que sí lo hacen, pero se subrayarán cuando se tenga una mezcla de ellas.

De acuerdo con Alcántara (2010), existen patrones de movilidad, a los que el autor se refiere como regularidades, entre los que se encuentran:

- a). Las personas en edad productiva son más móviles, es decir, adultos tienden a desplazarse más que los jóvenes y, en general, más que los individuos de cualquier otra edad (Proposición 1). El hecho de que se desplacen más implica tanto distancia en cada viaje como en el número de viajes. Esto es investigado por Kleasson *et al.* (2018), quienes utilizan la distancia recorrida en viajes urbanos para mostrar que esta se encuentra asociada a dos variables: sexo y edad. Respecto a la segunda, los autores indican que las personas en edad productiva recorren mayores distancias, mientras que, a mayor edad, disminuyen. También, se desprende que los ancianos son las personas menos móviles (Proposición 2).
- b). Si se toma la clasificación según sexo, los hombres en edad laboral son más móviles que las mujeres (Proposición 3). En este sentido, Kleasson *et al.* (2018) encuentran que esa mayor movilidad de ellos se expresa en que están dispuestos a recorrer mayores distancias que ellas en sus viajes cotidianos, incluyendo casi todos los motivos de viaje.
- c). Las personas con alguna discapacidad física se mueven menos (Proposición 4).

El ingreso tiene un papel fundamental para entender las regularidades presentadas, pues las personas con empleo son las que mayoritariamente se encuentran en edad productiva y, por lo tanto, tienen un ingreso que les permite tener una mayor movilidad hacia diversas actividades que requieren de desplazamientos, tales como viajes de esparcimiento o de cualquier otro tipo. De acuerdo con Rodríguez (2016, 245), las ciudades de países desarrollados tienen más movilidad personal (viaje/persona/día) porque tienen mayores ingresos; por ejemplo, Chicago y Londres registraron 4 y 2.8 viajes diarios por habitante en comparación con 2.5 de la Ciudad de México y 2 de Buenos Aires, mientras que, según la misma autora, Ciudad Obregón obtuvo un índice de 1.8 viajes. En este sentido, Alcántara (2010) cita a Díaz Olvera *et al.* (1997) e indica que la movilidad aumenta de acuerdo con el ingreso en diversos porcentajes, por ejemplo, en la ciudad de Ouagadougou, Burkina Faso, el incremento de viajes por persona derivado del aumento en el ingreso fue de 3.5 a 4.5.

Resulta claro que un mayor ingreso permite una mayor cantidad de desplazamientos. Lo que guía a estos depende fundamentalmente de las necesidades de traslado que se asocian a los llamados motivos de viaje, los cuales suelen ser una de las clasificaciones más comunes al momento de analizar la movilidad de una urbe; dentro de ellos, los de tipo laboral y educacional (también conocidos como *mandatory trips*<sup>2</sup>) suelen ser los que presentan un mayor porcentaje en el total de los viajes (Proposición 5).

Se podría esperar que una ciudad que ostente altos niveles de desempleo tenga una proporción menor de viajes realizados por motivo laboral y, caso contrario, en una con altos niveles de empleo, el porcentaje de traslados laborales podría ser más alto. Según Alcántara (2010, 162), si la movilidad se clasifica exaltando la variable *motivo*, entonces solo el laboral llega a representar hasta 75 % de los viajes (Proposición 6).

<sup>2</sup> En adelante, serán mencionados como *vijajes obligatorios*.

Si se profundiza en el impacto del ingreso y su relación con otras variables, la literatura reporta relaciones asociadas con la movilidad. Tal es el ejemplo de la de sexo que, según Peters (1998), se ve afectada por la división del trabajo. Esta es una de las variables que condiciona la movilidad entre sexos, pues las actividades externas al hogar son atribuidas, en muchos de los casos, a hombres adultos, mientras que las que se realizan dentro de casa, a las mujeres, generándose una situación en la que los varones tienden a trabajar en mayor porcentaje, lo cual tiene como consecuencia que sean ellos quienes llevan a cabo más traslados respecto a ellas. Esta afirmación se generalizó en la Proposición 3, en la que no se habló de las razones por las cuales los varones son más móviles.

Por otra parte, la partición modal se encuentra muy asociada a las decisiones que toman los ciudadanos al momento de transportarse. Los medios públicos tienen, a diferencia de los privados, características que los pueden hacer más atractivos para la movilidad. De acuerdo con Figueroa (2005, 42), lo deseable que deben tener los primeros para poder competir con los segundos por la preferencia de los usuarios son: integrarse con rapidez a los cambios que se definen para las políticas; habituarse a nuevas estructuras de viajes y a la cobertura de áreas urbanas más extensas, pero con menor densidad de demanda; así como considerar la racionalidad del viajero en las decisiones de los medios que puede utilizar.

En ciudades donde la actividad industrial es predominante, se puede esperar que el transporte de personal juegue un rol importante, dado que este tipo de modalidad es utilizado por una gran cantidad de empresas, cuyos procesos de producción y operación, en general, necesitan de puntualidad por parte de sus trabajadores (que suelen ser aquellos que no ocupan altos cargos), por lo cual, las empresas se muestran dispuestas a realizar el gasto del transporte de sus empleados y cuyo impacto se puede esperar en un porcentaje significativo de personas que se movilizan por este medio (Proposición 7).

Una característica de la movilidad urbana en buena parte de las ciudades de América Latina (que presentan constante crecimiento) es que el automóvil gana terreno frente al peatón y otras modalidades (Acosta y Covarrubias, 2018, 3), por lo que puede presentarse la situación de que en cierto porcentaje de los desplazamientos no se utilice ninguna modalidad de transporte, sino que se lleve a cabo caminando. De acuerdo con Boisjoly *et al.* (2018), las personas pueden tomar la decisión de caminar por tres motivos: salud, barrio caminable y distancia corta de viaje. Por el primero, los habitantes pueden andar durante una cierta cantidad de tiempo, mientras que, si su barrio es seguro y agradable, pueden decidir recorrerlo caminando; por último, si las distancias por recorrer entre su origen y destino son cortas, por ejemplo, al ser una ciudad pequeña, las personas se pueden inclinar por hacerlo en lugar de usar algún otro medio de transporte. Por lo anterior, un porcentaje importante respecto al total de viajes reflejaría la preferencia de los ciudadanos por la caminata (Proposición 8).

La variable sexo puede requerir especial énfasis, pues las desigualdades existentes entre hombres y mujeres también se expresan en temas de transporte. De acuerdo con Hanson (2010), el género<sup>3</sup> modifica a la movilidad urbana, pues las diferencias entre sexos a veces crean, cambian o fuerzan los patrones existentes de movilidad. Si, además, a la partición modal se le introduce la variable sexo, se tiene que, de acuerdo con investigaciones como la de Cusset (1997), las mujeres tienden a caminar más que los hombres, es decir, utilizan menos el transporte motorizado (Proposición 9). La explicación se puede derivar de la división del trabajo ya mencionada, pues ellas, al quedarse en casa, realizan viajes a lugares que son cercanos en los que se realizan actividades propias del hogar como, por ejemplo, ir a los supermercados, donde se compran los insumos para la vida diaria, que tienden a estar localizados cerca de su vivienda. Al hablar de viajes cortos se puede introducir un aspecto que relaciona la partición modal y el sexo: el uso de la

<sup>3</sup> Se reconoce que género y sexo no son lo mismo, pero se usarán como sinónimo con el objetivo de simplificar.

bicicleta, pues las mujeres suelen no usarla mucho. Según Hierli (1993), es más complicado que ellas la utilicen, pues la mecánica de su uso no es compatible con vestimenta tradicional femenina como falda o vestido, por lo cual es de esperarse que un menor porcentaje la use en sus viajes y, en particular, en los mismos con motivo laboral (Proposición 10).

Existen algunos fenómenos que se deben analizar tomando en cuenta varias de las características que se han apuntado en párrafos anteriores. Un primer ejemplo es la introducción de los motivos de viaje. Los traslados realizados por el empleo pueden verse afectados por la división del trabajo y llevar a que una mayor cantidad de hombres use un automóvil al ir a laborar (Proposición 11); sin embargo, también se espera que, conforme aumente la presencia femenina en el mercado de trabajo, el porcentaje de mujeres que usan un automóvil con motivos laborales se incremente.

En este punto se puede introducir la variable edad, pues las personas más jóvenes que laboran pueden tener puestos en los que su salario no sea alto (entre otras situaciones, por poseer menos experiencia), llevándolos a que, dentro de la clasificación de los viajes por motivo laboral, tengan un menor porcentaje de movilidad en automóvil, mientras que los adultos (con más experiencia laboral y, por ello, mayor salario) presentan un mayor porcentaje de viajes laborales usando un automóvil (Proposición 12). Para analizar la situación de los desplazamientos con motivo laboral, tanto entre sexos como entre edades, se puede recurrir a las afirmaciones de Alcántara (2010, 31), quien enuncia que los adultos involucrados en actividades laborales se desplazan más que los jóvenes (Proposición 13).

Antes de pasar al siguiente punto, se considera necesario resaltar dos aspectos, uno asociado a la variable edad y otro, a la estructura familiar. El primero es referente al motivo de viajes por escolaridad, que también se puede ver influenciado por diferencias de sexo asociadas a condiciones culturales y/o religiosas. Es bien sabido que existen sociedades en las cuales se considera que la inversión en educación masculina es más rentable que

su contraparte, hasta llegar al punto en que hay familias, por ejemplo en zonas rurales de Irán, que no permiten que sus hijas asistan a la escuela donde laboran profesores masculinos (Alcántara, 2010, 36), por lo que también en este sentido se puede esperar encontrar una mayor movilidad de jóvenes varones, es decir, que en los viajes por motivo de escuela exista un mayor porcentaje de personas masculinas (Proposición 14).

El segundo aspecto gira en torno a la toma de decisión sobre con quién se viaja, en particular cuando se posee y utiliza un automóvil. De acuerdo con Alcántara (2010, 32), hay una dependencia mutua en el seno familiar que se da para elegir quiénes van a desplazarse y el momento en que lo harán. De acuerdo con este autor, en términos de los viajes en automóvil, existe una división de tareas a llevar a cabo en el seno familiar que, al momento de desplazarse, se expresa en el hecho de que una persona maneja y las otras viajan como pasajeros. Esto significa que hay viajes en automóvil que no tienen pasajero único (Proposición 15).

Los viajes en automóvil no deben dejarse de lado al momento de hacer análisis de movilidad, pues esta modalidad ha tomado cada vez mayor relevancia en los traslados urbanos. Fuentes (2001) reporta que el uso de autos se elevó en Ciudad Juárez, Chihuahua, al pasar de 35 % del total de viajes en 1989 a 51 % en 1997. Estos datos se relacionan con la afirmación de Alcántara (2010, 73), en la que dice que la mayor parte de los desplazamientos motorizados se realiza en automóviles (Proposición 16).

Existen muchas afirmaciones en la literatura relacionadas con la movilidad urbana que se pueden enunciar como proposiciones, no obstante, la información disponible solo permitió investigar las que se han mencionado (ver cuadro).

## Evidencia empírica

En este apartado se analizará cómo los patrones mencionados en párrafos anteriores se replica-



ron en la ZMS en el 2009. Se utilizará la EODS ya mencionada, la cual tiene representatividad a nivel zona metropolitana y una cobertura de 32 mil registros. Cabe mencionar que los datos obtenidos por la Encuesta no son de acceso público.

Primero, se ofrecerá evidencia para las proposiciones cuyo análisis se refiere a una sola variable; el paso inicial es presentar la que prueba las proposiciones relacionadas con la edad. Es prudente anotar que la EODS no menciona la edad específica de las personas entrevistadas, solo se refiere a ellas como adultos, jóvenes, niños o tercera edad (ver gráfica 1).

Como se puede ver en la gráfica 1, la mayoría de los viajes realizados en el 2009 (casi 60 %) fueron hechos por personas en edad adulta (agregados hombres y mujeres) y, si se suman las

personas jóvenes, el porcentaje se eleva hasta 92 del total. La proposición asociada a este hecho afirma que los individuos en edad productiva (es decir, adultos y jóvenes) son los que tienen mayor movilidad, por lo que se considera evidencia que confirma la Proposición 1. Este grupo es el que realiza viajes que primordialmente son originados por motivos de empleo o educación; el porcentaje restante lo llevan a cabo ancianos y personas con alguna discapacidad, lo cual sugiere que la población de la tercera edad es menos móvil, confirmando las proposiciones 2 y 4. En el patrón que emerge al dividir la totalidad de los viajes según sexo (sin importar la edad ni el motivo), resulta claro que los hombres llevan a cabo poco más de 56 % de ellos contra 43.4 % de las mujeres, por lo que se puede decir que la Proposición 3 se cumple.

#### Cuadro

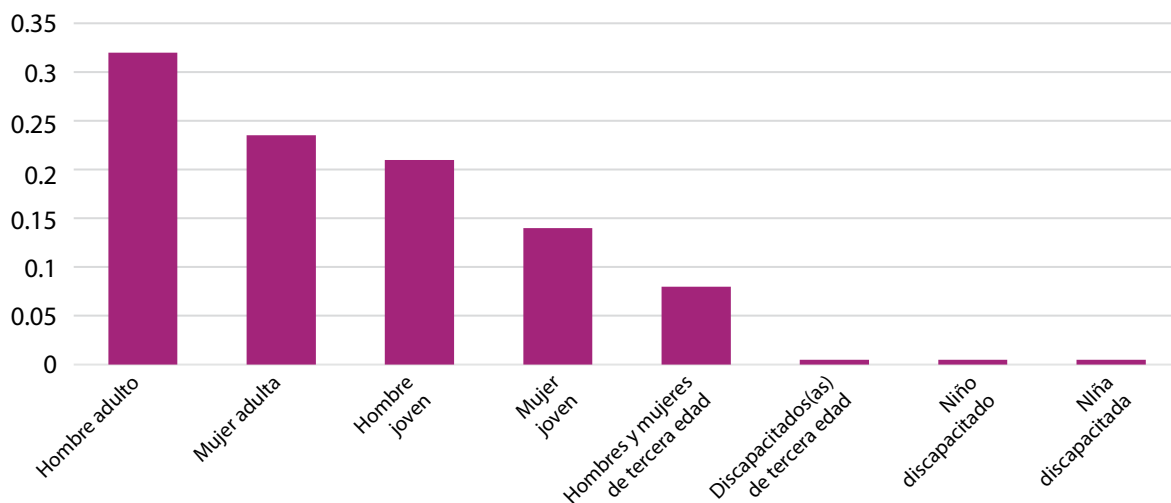
### Resumen de las proposiciones por cuantificar

Número	Proposición
1	Los adultos se desplazan más que los jóvenes
2	Ancianos son menos móviles
3	Hombres en edad laboral son más móviles que mujeres
4	Discapacitados son menos móviles
5	Motivos laboral y escolar son mayoría en el total de viajes
6	El motivo laboral no sobrepasa 75 % del total
7	Ciudades industriales tienen alta movilidad en transporte de personal
8	Caminar tiene un alto porcentaje en ciudades pequeñas
9	Mujeres caminan más que hombres
10	Hombres usan más la bicicleta que mujeres
11	Hombres usan más el auto en viajes laborales
12	Jóvenes en viajes laborales usan menos auto
13	Adultos se desplazan más en auto para viajes laborales
14	Varones tienen más porcentaje de viajes escolares
15	Alto porcentaje de viajes en auto no tienen pasajero único
16	Mayor porcentaje de desplazamientos motorizados son autos

Fuente: elaboración propia con datos de la EODS 2009.

Gráfica 1

### Distribución porcentual por edad según sexo



Fuente: elaboración propia con base en la EODS 2009.

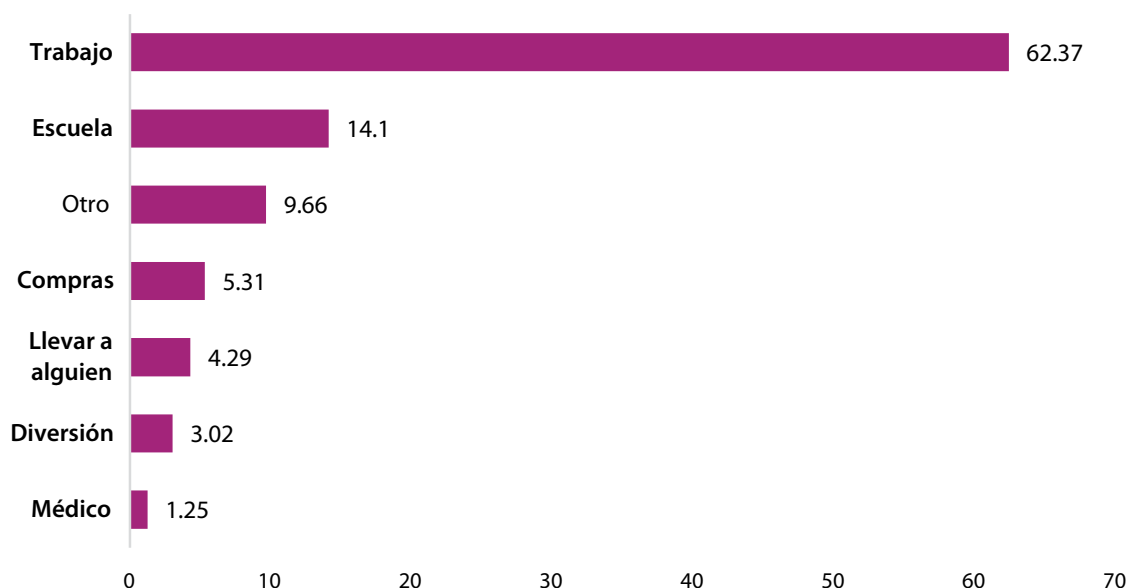
Respecto a los ancianos, cabe mencionar que existe evidencia que indica una subclasificación de personas de esa edad que puede determinar su movilidad. De acuerdo con Martín (2005 y 2007), la gente en esa etapa de la vida se puede subclasificar en tres grupos de tercera edad: joven, vieja y muy vieja. Se caracterizan, en términos de movilidad, porque en el primer subgrupo todavía hay

quienes se encuentran activas laboralmente y, por ello, continúan demandando viajes, mientras que en el tercero es difícil encontrar personas que laboren y la mayor parte de su movilidad requiere de ayuda de alguien más.

La gráfica 2 muestra la distribución porcentual de los principales motivos por los cuales se despla-

Gráfica 2

### Distribución porcentual de los motivos de viaje



Fuente: elaboración propia con base en la EODS 2009.

zaron las personas en la ZMS. Resulta claro que el principal es el laboral (que representa poco más de 62 % del total de viajes), con lo cual se puede considerar que cumple con la Proposición 6, mientras que si se agrupan los viajes obligatorios, representan 76.5 %, por lo que se considera que se cumple la Proposición 5.

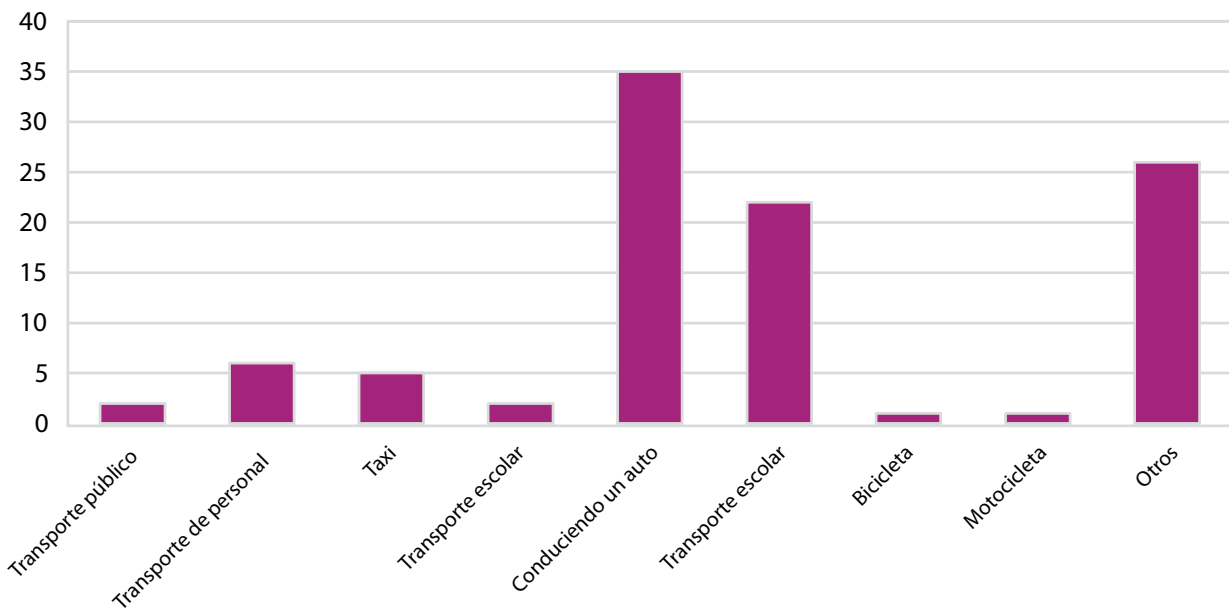
Al combinar los motivos de viaje según sexo, se encuentran los siguientes porcentajes: por razones escolares, 59 % fue realizado por hombres y 41 %, por mujeres, indicando que se cumple lo postulado en la Proposición 14. En el apartado de revisión de literatura se formuló en la Proposición 3 que la división del trabajo propiciaba una mayor movilidad de ellos que de ellas; se puede profundizar esa proposición contrastando los porcentajes de quienes se movilizan por motivo laboral, cuyo cálculo indica que 57 % son hombres y 43 %, mu-

jes; es decir, la división de trabajo no solo afecta al total de viajes sino, también, a los generados por motivo laboral.

En la gráfica 3 se observa la repartición modal del total de desplazamientos. En la Proposición 7 se afirmó que podrían resultar relevantes los traslados llevados a cabo por empresas para transportar a su personal. Un alto porcentaje de este tipo de modalidad podría ser el reflejo del nivel de industrialización de una urbe. Para el caso de la ZMS, este tipo de transporte representó 6 % del total, considerándose una cifra importante. Para dimensionar el dato, se puede comparar con el que fue calculado para la Ciudad de México en el 2007 donde, según Lozano et al. (2018), 0.1 % del total de viajes se llevó a cabo mediante transporte de personal.

Gráfica 3

### Distribución porcentual por partición modal en desplazamientos



Fuente: elaboración propia con base en la EODS 2009.

Salta a la vista que la categoría *Otro* representa 27 % del total de viajes. Dentro de ella se encuentra caminar.<sup>4</sup> En la Proposición 8 se indicó que un porcentaje alto de la partición modal utilizada podría ser esta opción; el dato mencionado al inicio de este párrafo se considera importante.

La estadística arroja, también, que 35 % de los viajes se realizaron conduciendo un auto y 22 % también en auto, pero como pasajero, sumando 57 por ciento. El transporte público motorizado que se llevó a cabo en camión tuvo un valor de 2 %, que se puede considerar bajo si se contrasta con 74.1 % del mismo rubro para la Ciudad de México en el 2017 (INEGI, 2017). La Proposición 16 indica que la mayor parte de los desplazamientos motorizados son realizados utilizando un automóvil. Esta se puede comprobar con el simple hecho de cuantificar el total de viajes en algún vehículo motorizado para, luego, obtener el porcentaje de autos. La totalidad de viajes que realizó el transporte motorizado fue de 77 % y por automóvil, 63 %, con lo que claramente se cumple la proposición.

Una vez que se ha mostrado la evidencia respecto a las proposiciones que implicaban una sola variable, se continúa con aquellas que relacionaron dos o más.

Del total de viajes por motivo de empleo, se cuantificó el porcentaje que realizaron ambos sexos en automóvil, obteniendo que las mujeres llevaron a cabo 41 % y los hombres, 59 %, con lo que se cumple la Proposición 11.

En este orden de ideas, la edad es muy importante, porque del 41 % mencionado del total hecho por mujeres, 78 % fueron adultas, mientras que el porcentaje de hombres adultos fue 59. Estos datos confirman la Proposición 12.

Algo que se considera importante resaltar es que, del total de viajes que se realizaron al trabajo, solo 1.3 % se llevó a cabo en bicicleta y la totalidad

la hicieron hombres. Esta información es suficiente para cumplir con la Proposición 10.

Otra cifra importante que se observa en la gráfica 2 es la del total de viajes que se realizó en auto privado como pasajero (22 %), que se encuentra muy ligada a la variable *estructura familiar* que se mencionó en la Proposición 15, en la que se habló de dependencia mutua, la cual se refleja en el momento en que la estadística de la EODS revela que, al decidir trasladarse como pasajero, las personas toman en cuenta a algún miembro de su familia para conducir el automóvil, por lo que se considera que se cumple dicha proposición.

Por su parte, la 16 indica que el mayor porcentaje de los desplazamientos motorizados es realizado utilizando un automóvil. Esta se puede comprobar con el simple hecho de cuantificar el total de viajes en algún vehículo motorizado y obteniendo la cantidad de autos. El total fue 77 % y el de viajes por automóvil, 63 %, con lo que claramente se cumple la proposición. Este valor resulta alto comparado con el de otras ciudades latinas; Aón *et al.* (2017, 121) indican que urbes del sur del continente americano como Buenos Aires, Montevideo y Rosario tienen cifras de viajes en auto de 50, 35 y 40 %, respectivamente.

La combinación entre sexo y motivos de viaje arroja que del total de viajes que realizaron los hombres adultos (32 %) (ver gráfica 1), 65 % se hicieron por motivo de empleo; 7 %, por el escolar; y 28 %, por otras razones; mientras tanto, para las mujeres adultas, los porcentajes fueron 42, 3 y 55; por su parte, para los hombres jóvenes, las cifras resultaron 27, 58 y 15 %; y para las mujeres jóvenes, 20, 36 y 44 %, respectivamente. Estos datos corroboran la Proposición 13, pues los adultos se desplazan en mayor porcentaje que los jóvenes por motivos laborales. Cabe destacar que esta situación es válida tanto para ellos como para ellas.

Otra combinación fue sexo y partición modal para la Proposición 9, según la cual las mujeres tienden a caminar más que los hombres, para lo que se dividió el total de los registros de la EODS

<sup>4</sup> De acuerdo con el documento de especificaciones técnicas asociado a la EODS.

en viajes realizados por unos y otras, sin importar su edad ni el motivo, contando los viajes que se realizaron a pie. Los resultados indican que solo 8 % del total de los viajes que realizaron ellos fue caminando, mientras que el porcentaje para ellas fue 15, es decir, casi el doble, confirmándose la proposición mencionada. Estas cifras parecen bajas respecto a la evidencia internacional, como la que reporta Cusset (1997), quien encuentra que en Hanói, Vietnam, del total de viajes realizados por mujeres, 54 % fueron a pie, mientras que el porcentaje para hombres fue 38; y en Ouagadougou, los resultados fueron 56 y 33 %, respectivamente. La explicación del porqué son tan diferentes respecto a Saltillo puede radicar en el hecho de que los lugares mencionados (en los años a los que se refiere el estudio) eran rurales, donde el nivel de ingreso y el tamaño del lugar pueden explicar la falta de transporte motorizado pues, como lo menciona Alcántara (2010, 162), cuando se analiza la movilidad entre sectores de actividad económica, resulta que el agrícola tiene menores niveles que el industrial y el comercial.

Antes de pasar a las conclusiones, es necesario discutir un apartado en el que se comenten recomendaciones de política de transporte. En primer lugar, se debe tomar en cuenta que la estadística derivada de la EODS no es reciente, las implicaciones de tener un dato de varios años atrás pueden no ser objetivas. No obstante, se considera que sí es posible recomendar políticas. Una cifra actual, a nivel nacional, es que el parque vehicular ha crecido de forma constante; según Cruz (2018, 201), la posesión de vehículos entre 1997 y el 2014 se triplicó, de manera que es difícil afirmar que la ZMS no haya tenido un comportamiento diferente. Este hecho afecta varias de las proposiciones, como la del mayor porcentaje del total de traslados motorizados y, también, que los viajes laborales de los hombres son, en su mayoría, hechos en auto, por lo cual se puede sugerir la revisión de la parte administrativa para mejorar su funcionamiento, como la expedición de licencias de manejo o tarjetas de circulación de los autos, pues estas aumentarán su demanda. Dado el bajo porcentaje de viajes hechos en bicicleta, es fácil observar

que hay un gran potencial que existe para estimular los viajes por este medio.

Otra recomendación que se puede desprender de los hallazgos de este estudio se basa en las proposiciones que indicaron que un buen porcentaje del total de viajes se realiza caminando y que las mujeres caminan más que los hombres. De continuar este patrón, la política sugerida radicaría en incentivar esta actividad con políticas de seguridad en las calles, por ejemplo: endureciendo las penas de los delitos que se cometen contra transeúntes pues, si la gente se siente insegura, puede dejar de transitar a pie. También, se puede recomendar que las políticas busquen generar un entorno estético en las calles para estimular la caminata.

## Conclusiones

El objetivo de este artículo fue caracterizar la movilidad en la ZMS, Coahuila de Zaragoza, en el 2009, para lo cual se utilizó la EODS. Esto se llevó a cabo cuantificando la relación de la movilidad de las personas con diferentes variables, como edad, sexo, motivo de viaje y partición modal. Se investigaron un total de 16 proposiciones que fueron las que la literatura demostró tener un marco de referencia y que, a la vez, la estadística disponible permitió contrastar. Esta permitió determinar que la movilidad en la ciudad se ajusta a la evidencia que reporta la literatura respecto a otras ciudades, en su mayoría de países en desarrollo.

Se considera que se cumplió el propósito mencionado, ya que se aportó evidencia, por primera vez desde la óptica académica, respecto a las características de la movilidad urbana para la ciudad de Saltillo. La principal aportación es que dicha movilidad se comportó, al menos en cuanto a las variables de interés, de manera parecida a lo reportado en la literatura.

Dentro de las proposiciones más importantes se pudo corroborar que los adultos en edad productiva se desplazan en mayor porcentaje que los jóvenes y que los hombres (en cualquier edad) son

más móviles que las mujeres, tanto en el total de desplazamientos como en los asociados al motivo de empleo. Cuando se dividen por razones del viaje, el grueso de estos se debe a los laborales, en primer lugar y, en segundo, a los escolares. Por el lado de la relación según el sexo, se constató que las mujeres son menos móviles que los hombres a cualquier edad.

## Fuentes

- Aón, Laura., María Giglio y Cristian Cola. "Patrones modales de movilidad y desarrollo urbano no planificado en la ciudad de La Plata", en: *Revista Transporte y Territorio*. 17. 2017, pp. 117-144.
- Acosta, Sandra y Alex Covarrubias. "La gobernanza del transporte urbano en México. Un comparativo de las localidades de Hermosillo, Sonora y León, Guanajuato", en: *Estudios Sociales*. Vol. 28, núm. 52. 2018, pp. 1-28.
- Alcántara, Eduardo. *Análisis de la movilidad urbana. Espacio, medio ambiente y equidad*. Bogotá, 2010.
- Boisjoly, G., R. Wasfi y A. El-Genaidy. "How much is Enough? Assessing the Influence of Neighborhood Walkability on Undertaking 10-minute Walks", en: *Journal of Transport and Land Use*. 11(1). 2018, pp. 143-151.
- Cussett, Jean-Michel. *Mobilité deux roues et politique de transport á Ouagadougou et á Hanoi. Mobilité et politiques de transport dans les villes en developpment*. Paris, INRETS, 1977, pp. 119-134.
- Cruz, Ignacio. "Determinantes de la posesión de automóviles en los municipios de México. Iztapalapa", en: *Revista de Ciencias Sociales y Humanidades*. Núm. 84, año 39. 2018, pp. 191-212.
- Díaz Olvera, L., D. Plat y P. Pochet. *Les mobilités quotidiennes deux pauvres á Bamako et Ouagadougou. Mobilité et politiques de transport dans les villes en developpment*. Paris, INRETS, 1997, pp. 119-134.
- Dirección de Desarrollo Económico del gobierno municipal de Saltillo. *Indicadores Socio-económicos de la Zona Metropolitana de Saltillo, Coahuila*. Gobierno Municipal de Saltillo, 2015.
- Fuentes Flores, César. "Los cambios en la estructura intraurbana de Ciudad Juárez, Chihuahua, de monocéntrica a multicéntrica", en: *Frontera Norte*. Vol. 13, núm. 25. 2001, pp. 95-118.
- \_\_\_\_\_. "La estructura urbana y las diferencias espaciales en el tiempo de traslado del viaje al trabajo en Ciudad Juárez, Chihuahua", en: *Estudios Demográficos y Urbanos*. Vol. 23, núm. 1. 2008, pp. 55-81.
- Galindo, M., E. Pérez y M. Suárez. "Movilidad intrarregional en la región centro de México 2000-2015", en: *Investigaciones Geográficas*. Núm. 2. Agosto del 2020, pp. 1-17.
- Gordon, P., H. Richardson y J. Myung-Jim. "The Commuting Paradox: Evidence from the Top Twenty", en: *Journal of the American Planning Association*. Vol. 57, núm. 4, 1991, pp. 416-420.
- Hanson, Susan. "Gender and Mobility: new Approaches for Informing Sustainability", en: *Gender, Place and Culture: a Journal of Feminist Geography*. Vol. 17, núm. 1. 2010, pp. 5-23.
- Hierli, U. *Environment Limits to Motorization-nonmotorised Transport in Developed and Developing Countries*. Swiss, SKAT, 1993.
- INEGI. *Encuesta Origen Destino en Hogares de la Zona Metropolitana del Valle de México*. 2017.
- \_\_\_\_\_. *Encuesta Nacional de Ocupación y Empleo*. 2009.
- Jaramillo, Ciro., Carmen Lizárraga y Alejandro Grindlay. "Spatial Disparity in Transport Social Need and Public Transport Provision in Santiago de Cali (Colombia)", en: *Journal of Transport Geography*. XXIV (1). 2012, pp. 340-357.
- Kleasson, J., E. López y O. Oner. "Who Works Longer and Why? Regional and Individual Characteristics in the Timing of Retirement" en: *Journal of Economic and Social Geography*. Vol. 109, núm. 3. 2018, pp. 350-370.
- Lozano, A., A. Guzmán, G. Camacho y M. Miranda. *Herramienta 1 para identificar la relevancia de cada modo de transporte*. Instituto de Ingeniería de la UNAM. 2018 (DE) <http://gitral.iingen.unam.mx/Estudios/EOD-Estadísticas-03.html>
- Martín, J. F. "Los factores definitorios de los grandes grupos de edad de la población: tipos, subgrupos y umbrales", en: *Scripta Nova*. Vol IX, núm. 190. 2005.
- \_\_\_\_\_. "Edades", en: Rodríguez, R. y G., Lazzano. *Práctica de geriatría*. McGraw Hill, 2007.
- Miralles-Gausch, Carme y Cebollada i Frontera. "Movilidad cotidiana y sostenibilidad. Una interpretación desde la geografía humana", en: *Boletín de la A.G.E.* 50. 2009, pp. 193-216.
- Negrete, María Eugenia y Catherine Paquette. "La interacción entre transporte público y urbanización en la Zona Metropolitana de la Ciudad de México: un modelo expansivo que llega a sus límites", en: *Territorios XXV*. 15. 2011, pp. 15-33.
- Peters, D. "Bradwinners, Homemakers and Beasts of Burden", en: *Habitat Debate*. Vol. 4, núm. 2. Nairobi, The United Nations Centre for Human Settlements, 1998, pp. 12-14.
- Rodríguez, Liz. "Demanda y provisión de transporte público en Ciudad Obregón, Sonora", en: *Región y Sociedad*. XXVIII, núm. 67. 2016.
- Turner, J. y E. Kwakye. "Transport and Survival Strategies in a Developing Economy: Case Evidence from Accra, Ghana", en: *Journal of Transport Geography*. Vol. 4, núm. 3. 1996, pp. 161-168.

# Efecto de las variables geo-climáticas sobre el rendimiento de los principales cultivos de temporal primavera-verano del estado de Aguascalientes

*Effect of Geo-Climatic Variables on the Yield of the Main Spring-Summer Seasonal Crops of the State Of Aguascalientes*

**Dora Elena Ledesma Carrión, Amós Antonio Pérez Hernández y Lidia Hernández Hernández\***

\* Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), [dora.ledesma@inegi.org.mx](mailto:dora.ledesma@inegi.org.mx), [amos.perez@inegi.org.mx](mailto:amos.perez@inegi.org.mx) y [lidia.hernandezh@inegi.org.mx](mailto:lidia.hernandezh@inegi.org.mx), respectivamente.

Sembradío de maíz en Aguascalientes/Amós Pérez Hernández



El inminente cambio climático global ha llevado a cuestionarnos: ¿se pueden observar sus efectos a nivel de zonas de tamaño pequeño comparada con la nacional? y ¿qué cultivos son los más afectados? Para poder contestarlas, se evaluó el efecto de las principales variables climáticas y factores no climáticos sobre los rendimientos de cultivos seleccionados del estado de Aguascalientes con modelos multirregresivos y simulación. Con las metodologías de detección de picos en comportamientos no lineales se encontró el corrimiento del inicio de la temporada de lluvias primavera-verano y el acortamiento-reajuste del semiciclo de calentamiento 1976-2007. Se encontraron zonas donde se conserva el equilibrio entre temperaturas-precipitaciones con mejores rendimientos. Se calcularon algunos indicadores de sostenibilidad. En general, algunos cultivos mostraron estrés hídrico, y para el 2030 se agregarán otros si no se toman medidas que resuelvan problemas específicos.

**Palabras clave:** factor de respuesta del cultivo; región; rendimientos; cambio climático.

Recibido: 5 de noviembre de 2020.  
Aceptado: 7 de abril de 2021.

## 1. Introducción

Los rendimientos de los cultivos ( $Y$ ) dependen, principalmente, de la tasa y magnitud del cambio en los atributos climáticos (McCarl *et al.*, 2001). Encontrar correspondencia entre el cambio climático (CC) global con los regionales depende, sobre todo, de la orografía, cercanía a grandes masas de agua, temperatura(s) ( $T$ ), precipitación(es) ( $P$ ),  $CO_2$ , entre otros factores. Estos CC son más evidentes en zonas alejadas de los trópicos (Prakash, 2011; Kunah *et al.*, 2018; McCarl *et al.*, 2001).

Al no disponer de riego, los cultivos de temporal son los más sensibles al cambio climático. En el estado de Aguascalientes (la región de estudio), los hay de temporada primavera-verano ( $P-V$ ), otoño-invierno y perennes. Los dos últimos

The imminent global climate change has led us to ask ourselves: can its effects be observed at the level of small areas compared to the national level, and which crops are the most affected? In order to answer these questions, the effect of the main climatic variables and non-climatic factors on the yields of selected crops in the state of Aguascalientes was evaluated with multi-regressive models and simulation. With the methodologies of peak detection in non-linear behaviors, the shift of the onset of the spring-summer rainy season and the shortening-adjustment of the 1976-2007 warming half-cycle were found. Zones where the temperature-precipitation balance is preserved were found with better yields. Some sustainability indicators were calculated. In general, some crops showed water stress, and by 2030 others will be added if no measures are taken to solve specific problems.

**Key words:** crop-response factor; region; yields; climate change.

carecen de suficientes datos, por lo que se trabajó con los de temporal  $P-V$ .

Se sabe que la  $T$  global se incrementará entre 0.3 y 1.7 °C en el escenario óptimo y de 2.6 a 4.3 °C en el pésimo (WMO, 2011; IPCC, 2013). Además, se reportaron periodos de calentamiento (*cal*) (1910-1945 y 1976-2007) y enfriamiento (*enf*) (1945-1976 y 2007-a la fecha) global. Estos son lapsos tradicionales de 31 años, incluyendo los ciclos de radiación solar (Hu *et al.*, 2013; Valdes *et al.*, 2014; Svalgaard *et al.*, 2005; SWL, 2020). Por ello, la alteración de estos ciclos es evidencia del CC. Estos fenómenos se deben, primordialmente, a los gases de efecto invernadero, cuyo principal compuesto es el  $CO_2$  en la atmósfera. Este y la  $T$  afectan los suelos y los cuerpos masivos de agua que están en la zona de influencia, con la consecuente alteración del ciclo



del agua y, con ello, la intensidad, frecuencia e inicio de la temporada de  $P$  (Hawkins & Sutton, 2011; Vörösmarty & Sahagian, 2000; Conceição *et al.*, 2003; Jokić *S et al.*, 2012; entre otros).

Lo anterior es una extrema simplificación de los complejos mecanismos que conforman el engranaje del clima. En el periodo 1945-1976 se presentaron subciclos *enf-cal-enf* como un reajuste térmico. Para analizar el comportamiento de estos ciclos en la región de estudio, se adaptaron técnicas de análisis espectroscópicas a  $T$  y  $P$  diarias, ampliamente usadas en otras áreas de estudio. El análisis aparece en el *Anexo*, sección A.1. Los resultados se utilizaron como insumos del modelo, en el cual se vincularon variables climáticas (*vc*) —radiación solar, punto de rocío,  $T$  y  $P$ — y geográficas —altitud ( $Alt$ ), latitud ( $Lat$ ), longitud ( $Lon$ ), etc.— con económicas — $Y$  y *factores*— (ver figura 1 más adelante).

El objetivo de este trabajo fue estudiar la interacción entre dichas variables tomando en cuenta las características de la región. La Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (SAGARPA) clasificó estos factores de mejora (*factores*) no climáticos como sigue: uso de semilla mejorada o criolla, tecnología mecanizada, sanidad, suelo fertilizado y asistencia técnica en volumen de producción (Ton) y las hectáreas cosechadas (ha). Las hectáreas cosechadas son la diferencia entre las sembradas menos las siniestradas. Los *factores* están en unidades de hectáreas sometidas a mejora.

Para construir un buen modelo, se depuraron y ensamblaron las diferentes bases de datos aportando consistencia y congruencia a las relaciones funcionales. Por lo general, se evalúa una región autosustentable comparando las tasas de crecimiento de su población con la de otras variables, en este caso, de  $Y$  y emisiones de  $CO_2$  (*indicadores*) (Prakash, 2011). Otros parámetros son la productividad del agua ( $m$ ) y evaporación media del suelo ( $b$ ) con supuesto estrés hídrico ( $EH$ ), relacionados íntimamente con  $Y$  y la evapotranspiración de la planta ( $ET$ ); esto es, el balance entre agua-calor o  $T-P$  (FAO, 1990; Steduto *et al.*, 2012).

El trabajo está ordenado de la siguiente manera: en la sección 1, *Introducción*, se presenta una visión general de este. En la 2 se hizo la revisión de estudios de otros autores sobre el tema. La metodología con el modelo general y los resultados-discusión aparecen en las secciones 3 y 4, respectivamente. Por último, la 5 es el cierre o conclusiones. En el *Anexo* se hicieron diferentes análisis y cálculos de otros cultivos (cacahuete, camote, cebada y trigo grano), así como el análisis de las  $T$  y  $P$ .

Como ya se mencionó, se escogió al estado de Aguascalientes para la investigación. La entidad se encuentra a una  $Alt$  entre 1 580 y 3 050 metros sobre el nivel del mar (m s. n. m.), entre las  $Lat$  Oeste 101.837235 y 102.878667 y las  $Lon$  Norte 21.625435 y 22.459416; la  $T$  media ( $Tp$ ) es de 17-18 °C y una  $P$  promedio anual ( $Pp^{anual}$ ) de 526 mm; los suelos son apropiados para maíz, nopal, guayule y forrajes de temporal con agricultura mecanizada con limitaciones de: pendientes entre 2-10 %, profundidad 25-50 cm, sin o con pedregosidad (10-20 %) (INEGI, 1981); tiene clima semiseco (86 % de su territorio) y templado subhúmedo (14 %) (INEGI, 2020; García & Lugo, 2003). Los principales cultivos de temporal  $P-V$  son avena forrajera, maíz grano blanco, maíz forrajero, frijol flor de mayo, así como sorgo y triticale forrajeros, los cuales se siembran en la mayoría de los municipios (SAGARPA, 2020a). Respecto al uso de suelo, se ha perdido 42.24 % para la agricultura de temporal entre el 2014 y 2016 (SAGARPA, 2017).

El Foro Global de Soluciones 2020 hizo énfasis en la importancia de generar proyectos que solucionen problemas locales específicos vinculados con los Objetivos de Desarrollo Sostenible, de la Organización de las Naciones Unidas (ONU), cuyas metodologías sean transferibles y escalables.

## 2. Breve estado del arte

En los distritos de riego de México, el valor máximo de  $m$  fue de 1.6 kg/m<sup>3</sup> de 1994-2008 (CONAGUA, 2010). En el caso del maíz, fue de 4 kg/m<sup>3</sup> (Monte-

mayor *et al.*, 2007 y 2010) dentro del límite inferior al promedio global (ver cuadro 3); *m* varía según la región y está directamente influenciada por varios indicadores, como fertilidad y variedad del suelo, fechas de siembra, densidad de población, prácticas culturales, sistema de riego y clima. Este valor se debe incrementar porque el agua es el recurso más limitante en la agricultura (Colaizzi *et al.*, 2004; Afzal *et al.*, 2013). Existen diversas investigaciones al respecto en otros países que muestran la relevancia del tema.

Nepal es un país con marcada dependencia agrícola. Su situación geográfica reveló la importancia de este tipo de estudios para la toma de decisiones preventivas-reactivas. En el caso de esta nación, Prakash aplicó modelos regresivos lineales en primeras diferencias para probar la relación entre las *vc* y los *Y*, obteniendo resultados estadísticamente significativos. Los modelos fueron aplicados a cultivos de arroz, trigo, maíz, mijo, cebada y papa con datos meteorológicos de 1978 al 2008. Su territorio se encuentra, aproximadamente, entre las *Lat* 26.1° y 31° N, *Lon* 80° y 89° E, *Alt* 100 a 7 000 m s. n. m. con clima desde tropical a frío polar, donde se registraron aumentos de *T* de 0.7 °C y *P* en verano. Estas condiciones favorecieron la *ET* del arroz, ya que requiere de grandes cantidades de agua para mantener el equilibrio *T-P*. Aun así, resultó no ser suficiente para alimentar a la futura población, ya que su tasa de crecimiento poblacional es mayor que la de *Y* (Prakash, 2011). Hay que hacer notar que el clima en Nepal marca claramente las estaciones en el año.

Desde 1990 se publicaron trabajos que expusieron el efecto devastador de los cambios en los patrones de *P*, por ejemplo, la concentración intensiva en un mes, el cambio en frecuencia e intensidad, desfasamiento de temporal, entre otros (Abrol *et al.*, 1996; Adams *et al.*, 1998; McCarl *et al.*, 2001; Kumar *et al.*, 2019); existe un acuerdo general de que el calentamiento global (CG) será mayor en *Lat* más altas que en los trópicos —en la región del presente estudio, el incremento de las *T* máximas diarias (*Tmax*) resultó de 0.00008 °C/día,

*Tp* de -0.000065 °C/día y mínima (*Tmin*) de -0.00017 °C/día, ver Anexo—; diferentes modelos de circulación global predijeron que los efectos del CG variarán durante el día, estacionalmente y con la *Alt*: los bioquímicos del sistema enzimático de las plantas predijeron la tolerancia a las altas *T*, 40-45 °C y los de Abrol *et al.* (1996) mostraron que una de las plantas más resistentes es el trigo Sonora en la India.

Otros estudios relacionados con el riesgo de hambre fueron hechos para la República de Malí por Butt *et al.* (2005), donde las medidas de mitigación solo cubrieron 28 de 34 % de la reducción de alimentos después del CC en escenarios a largo plazo. Sus *Y* cubrieron únicamente 17 % de lo esperado en sus simulaciones. Este país se encuentra entre las *Lat* 10° a 25° N, *Lon* 4° E a 12° O y *Alt* 250 a 500 m s. n. m. con montañas de hasta 1 000 m s. n. m.; su clima varía de semitropical a árido; la temporada de *P* es de junio a septiembre y con *Tmax* entre marzo y mayo. La agricultura es su principal actividad económica seguida de los servicios. Presenta tasas de crecimiento poblacional mayores a las de sus *Y*, sobre todo en trigo.

Investigaciones similares hacen especial énfasis en la depuración de datos meteorológicos de las *P*. Laghari *et al.* (2014) utilizaron la técnica de la curva de masa doble para verificar la consistencia de la información respecto a otras fuentes. Esto equivaldría a contar con las suficientes estaciones meteorológicas para tener un buen muestreo. En su trabajo se hizo pretratamiento de datos y se calculó la *ET* de referencia (*ET<sub>0</sub>*) siguiendo la metodología de Penman-Monteith original sin modificaciones. En su caso, *ET<sub>0</sub>* fue mayor entre abril y septiembre por el incremento de *T* teniendo el máximo en mayo. Se calcularon los requerimientos de agua y se compararon con los de riego. Lo importante de sus resultados fue encontrar valores comparativos entre las reacciones de los cultivos. Esta información alimentó la base de datos de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, por sus siglas en inglés) para la región euroasiática.

Otro estudio interesante fue el realizado por Kuhn *et al.* (2018) en Ucrania. En ese país se cultiva, principalmente, trigo, maíz, cebada y arroz. Por su orografía se aplicaron modelos de conglomerados. Utilizaron datos anuales de  $Y$  (granos y leguminosas), cuya fuente fueron registros administrativos de 1966-2016. Identificaron cuatro conglomerados relacionados de manera geográfica y conectados espacialmente. Los  $Y$  variaron de 24.3 a 33.4 CWT/ha<sup>1</sup> en el distrito de Dnipropetrovsk, con evidencia de que, en toda la región, las variaciones están en el rango de 9.9 a 27.7 por ciento. Esta nación se encuentra en una zona climática entre mediterránea y continental templada, con  $T$  en verano entre 17 a 25 °C, con registros máximos en julio de 33 °C; las  $P$  oscilan de Este a Oeste de 300 a 1 500 mm anuales y de Norte a Sur de 400 a 1 200 milímetros. Se localiza entre las  $Lat$  43 y 55° N,  $Lon$  entre 22 y 40° E y  $Alt$  entre -1 y 2 061 m s. n. m., donde sobresalen las llamadas zonas agroecológicas, que son únicas y están caracterizadas por su capacidad de producción, y presentan un patrón invariable de respuesta a diversos factores climáticos, ambientales y agroeconómicos. Lo notable de su trabajo fue identificar zonas con condiciones similares de producción en una región fuera de los trópicos (similar a la Comarca Lagunera de México). Los factores de la  $ET$  mostraron el equilibrio  $T-P$  en verano usando tecnologías adecuadas de riego.

En tanto, los resultados de las simulaciones de McCarl *et al.* (2001) sobre los  $Y$  en tierras secas bajo condiciones de CC para el 2030 fueron cuantificados en porcentajes, "... cultivo (% de cambio en los  $Y$ 's respecto a los que habría si no hubiera cambio climático)": maíz (11-19 %), trigo (15-20 %), sorgo (15-17 %) y pasturas (3-22 %). Aspectos que afectaron los  $Y$  fueron la tasa y magnitud del cambio en los atributos climáticos y la capacidad de enfrentarlos. Los agricultores adoptaron para mejorar sus  $Y$  semillas mejoradas, fertilizantes específicos y técnicas innovadoras según el cultivo, pero aun así, para cambios a mediano plazo de los patrones de  $P$  y rangos de temperatura diaria ( $\Delta Td$ ), mostró la necesidad de tomar decisiones más drásticas.

1 Hundredweight, CWT = 20 toneladas.

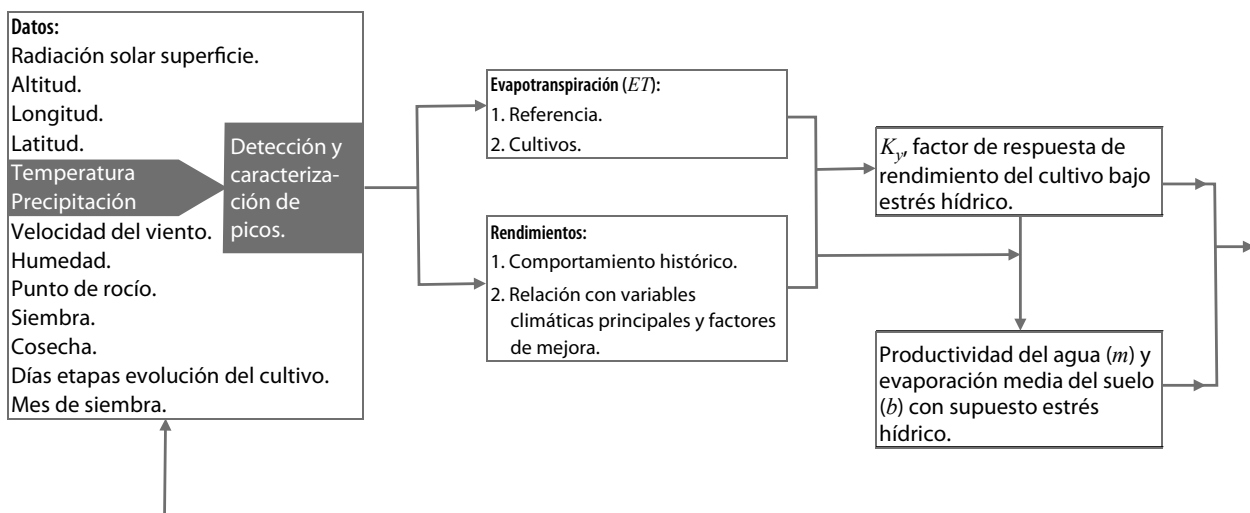
A principios del 2000 se llevó a cabo un estudio exploratorio sobre los recursos naturales en África. Se detectaron cinco problemas prioritarios a enfrentar: sequía, inundaciones, tormentas, reducción de costas y agricultura (Boko *et al.*, 2007; McKinnon *et al.*, 2009), los cuales se encontraron también en Latinoamérica, zona intertropical sobre todo (CEPAL, 2015). En Tanzania, el principal impacto del CC fue en la agricultura y la vida silvestre que dependen fuertemente de las  $P$ . Este país se localiza entre las  $Lat$  1 y 12° S,  $Lon$  29 y 41° E y  $Alt$  0 y 5 892 m s. n. m. (Kilimanjaro) con una gran meseta a 1 000 m s. n. m., con  $P$  entre 1 200 y 1 400 mm de marzo a junio y  $T$  entre 26 y 32 °C; su clima varía de semiárido a templado. Sus cultivos principales son maíz, mandioca, batatas, frijoles, bananos, arroz y mijo. Antes, los importantes eran azúcar, algodón, anacardos, tabaco, café, sisal y té. El sistema de alerta temprana sobre riesgos de hambruna, sequía e inundaciones, llevado a cabo por varias organizaciones no gubernamentales (ONG) y la ONU, generó información inconsistente, inaccesible e inapropiada para los agricultores (Kipkorir *et al.*, 2011), por lo que se mostró la prioridad de generar datos estadísticos confiables. Para enfrentar las necesidades alimentarias a futuro, Kumar *et al.* (2019) y Olowa *et al.* (2011) establecieron los requisitos de respuesta temprana, fomentadas por organismos internacionales: construir un sistema de respuesta a la propagación de riesgos, modificar prácticas tradicionales y actuales, crear especies resistentes al estrés ambiental, fomentar la cooperación entre gobiernos a todos los niveles y financiar proyectos a nivel local que resuelvan problemas específicos. Esto podría ser considerado entre zonas de influencia.

### 3. Metodología

Del Sistema Meteorológico Nacional (SMNM, 2020) y de las agroestaciones del Laboratorio Nacional de Modelaje y Sensores Remotos (LNMYSR, 2020) del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) se descargaron los datos:  $T$ ,  $P$ , velocidad del viento, humedad re-

Figura 1

### Esquema del modelo general para obtener el factor de respuesta de rendimiento del cultivo ( $K_y$ ), productividad del agua ( $m$ ) y evaporación media del suelo ( $b$ ) esperados



Fuente: elaboración propia.

lativa, punto de rocío, radiación, azimut,<sup>2</sup> *Lat*, *Lon* y *Alt*. Los datos climáticos se encontraron de 1926 al 2018 en 58 estaciones meteorológicas y de 2017 al 2018, en agroestaciones ubicadas estratégicamente para muestrear la región. Para obtener  $Y$ , se consideraron datos de siembra, siniestro, cosecha y volumen de producción de cultivos de  $P-V$  y temporal de 1980 al 2018. Se hicieron varios procedimientos previos (ver apartado 3.1 y *Anexo*).

Primero se analizó el comportamiento de las variables para aplicar la metodología de la FAO a la región. En el caso de  $T$  y  $P$  se ajustaron modelos polinomiales y senoidales para explorar los posibles picos y luego se utilizaron los *softwares* Originlab y Fullprof para identificarlos y caracterizarlos. Así se identificó la frecuencia de  $P$  y su intensidad relacionados con los ciclos de *cal-enf* global. Paralelamente, para los datos históricos de  $Y$ , se ajustaron modelos lineales, potenciales, logarítmicos y

2 La distancia angular generalmente medida en el sentido de las agujas del reloj desde el punto Norte del horizonte hasta la intersección con el horizonte del círculo vertical que atraviesa un cuerpo celeste. Se usa para calcular la radiación solar neta que llega al suelo.

exponenciales ( $Y$  vs. año). Este análisis estableció el inicio de siembras para calcular los  $ET_0$  y  $ET$ .

Como un segundo paso se calculó la radiación solar superficial según ubicación de las estaciones meteorológica y día del año. Esto se incorporó al procedimiento de obtención de  $ET$  junto con otras variables, como punto de rocío, azimut, calendario del cultivo (SAGARPA, 2020c; ver *Anexo*, sección A.3), según el método de Penman-Monteith modificado de la FAO (Steduto, 2012) usando pasto como cultivo de referencia,  $ET_0$  (SIAP, 2019). En el tercero, las  $ET$  se vincularon a los  $Y$  en forma de tasas, ecuación (1), para obtener la pendiente  $K_y$ , factor de respuesta de  $Y$  con características de la región. En el cuarto se modeló el comportamiento de  $Y$  incorporando variables geográficas, climáticas y *factores* principales. En el quinto, con base en los  $Y$  y  $ET$ , se ajustaron modelos regresivos para obtener  $m$  y  $b$ , (FAO, 1990). Finalmente, se procedió a hacer simulaciones bajo escenarios de cambio de las variables. El modelo general se presenta en el diagrama de la figura 1.

### 3.1. Comportamiento histórico de temperaturas, precipitaciones y rendimientos

A nivel global,  $T$  se incrementó  $0.6\text{ }^{\circ}\text{C}$  ( $\pm 0.2\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) (WMO, 2011; IPCC, 2013). Para asociar los efectos del CC global a la región, se ordenaron  $T$  y  $P$  respecto al número del día del año (*espectro*). Para la temporada  $P$ - $V$ , hay 184 días, correspondiendo el día 1 al 1 de marzo y el 184 al 31 de agosto con un desfase de  $\pm$  dos semanas. A cada año se ajustaron modelos polinomiales de hasta orden 7 o senoidal orden 5. Sabiendo el número aproximado de picos, se afinó el *espectro* definiendo la línea base o de referencia para detectar un *tren* de  $P$  o  $T$ . En el caso de las  $P$ , la línea base es  $0\text{ mm}$  ( $\sin P$ ) y en  $T$ ,  $T_p$  histórica, esto último para  $T_{max}$  y  $T_{min}$ . Se usaron los *softwares* OriginLab versión 8.0 y FullProof para detectar finalmente todos los picos (estos se caracterizaron) o *trenes*. En el caso de  $P$ , por ejemplo, el área del pico corresponde a  $P_{acumulada}$ ,  $Alt$  máxima en el día en que llovió más intensamente, el día en que comenzaron las  $P$ , el rango de días que llovió consecutivamente, etc.; para  $T$  se determinaron los días atípicos (mayor a 2 desviaciones estándar). En el caso de  $Y$  se analizó su historial. Se buscó asociar  $Y$  con los patrones de  $T$  y  $P$  y los semiciclos de *cal-enf* global (ver Anexo).

### 3.2. Estrés hídrico

Se calculó el  $EH$  para cultivos con base en la metodología de la FAO (Steduto, 2012; FAO, 2012). La relación entre las  $ET$  real y esperada (máxima) es:

$$\left(1 - \frac{Y_{cultivo_a}}{Y_{cultivo_x}}\right) = K_y \left(1 - \frac{ET_a}{ET_x}\right) \quad (1)$$

donde  $Y_{cultivo_x}$  y  $Y_{cultivo_a}$  son  $Y$  máximos y reales,  $ET_x$  y  $ET_a$  son  $ET$  máxima y real y  $K_y$  es un factor de respuesta de  $Y$  que representa el efecto de la reducción  $ET$  en pérdidas de  $Y$ . La ecuación (1) es una función de producción de agua y se puede aplicar a todos los cultivos agrícolas.  $K_y$  captura la esencia de los complejos vínculos entre la producción y el uso del agua por parte de un cultivo,

donde intervienen muchos procesos biológicos, físicos y químicos. Los valores de  $K_y$  son específicos del cultivo y varían durante la temporada de crecimiento según la etapa:

- $K_y > 1$ : la respuesta del cultivo es muy sensible al déficit hídrico.
- $K_y < 1$ : el cultivo es más tolerante al déficit hídrico y se recupera parcialmente del estrés.
- $K_y = 1$ : la reducción del rendimiento es directamente proporcional al uso reducido de agua.

Cuando no hay datos para calcular  $K_y$  respecto a la región de estudio se utilizan los valores de la FAO (1990).

### 3.3. Uso del agua y productividad

La pendiente de la curva  $Y_{cultivo}$  vs.  $ET$  se puede considerar como la productividad del agua en términos de  $Y$  y su uso consuntivo. Si la intersección con el eje se interpreta como una medida de la evaporación acumulativa del suelo o  $b$ , entonces la pendiente se puede interpretar como  $m$  en términos de transpiración. Los valores de  $K_y$  varían a medida que se desarrolla la planta, por eso se calcularon los  $ET$  propios de cada cultivo y condiciones climáticas de la región tomando en cuenta el análisis de la subsección 3.1.

### 3.4. Modelos

Se probaron varios, sobresaliendo cuatro. Los que relacionan los cambios anuales de  $Y_{cultivo}$  con las  $vc$ , geográficas,  $CO_2$  y *factores* se expresan en la ecuación (2); las relaciones lineales, en la (3); el tipo Log-log, en la (4); y el lineal-logarítmica, en la (5). A continuación, se presentan las formas funcionales.

Sean:

- $Y_{cultivo}(t)$  es el rendimiento del cultivo.
- $\Delta Y_{cultivo}(t)$ , la diferencia entre periodos del rendimiento del cultivo.

- $T_{min}(t)$ , la temperatura mínima.
- $T_{max}(t)$ , la temperatura máxima.
- $\Delta T_{min}^d$ , el rango de temperatura mínima diaria.
- $\Delta T_{max}^d$ , el rango de temperatura máxima diaria.
- $P_{min}(t)$ , la precipitación mínima.
- $P_{max}(t)$ , la precipitación máxima.
- $\bar{P}(t)$ , la precipitación promedio.
- $CO_2(t)$  son las emisiones de dióxido de carbono.

$Factores(t)$  son mecanismos de apoyo para mejorar el rendimiento del cultivo.

$$\Delta Y_{cultivo}(t) = c_0 + c_1 T_{max}(t) + c_2 T_{min}(t) + c_3 \Delta T_{max}^d(t) + c_4 \Delta T_{min}^d(t) + c_5 P_{max}(t) + c_6 P_{min}(t) + c_7 \bar{P}(t) + c_8 Altitud(t) + c_9 Latitud(t) + c_{10} Factores(t) + c_{11} CO_2(t) \dots \quad (2)$$

$$Y_{cultivo}(t) = c_1 T_{max}(t) + c_2 T_{min}(t) + c_3 \Delta T_{max}^d(t) + c_4 \Delta T_{min}^d(t) + c_5 P_{max}(t) + c_6 P_{min}(t) + c_7 \bar{P}(t) + c_8 Altitud(t) + c_9 Latitud(t) + c_{10} Factores(t) + c_{11} CO_2(t) \dots \quad (3)$$

$$\ln(Y_{cultivo})(t) = c_0 + c_1 \ln(T_{max})(t) + c_2 \ln(T_{min})(t) + c_3 \ln(\Delta T_{max}^d)(t) + c_4 \ln(\Delta T_{min}^d)(t) + c_5 \ln(P_{max})(t) + c_6 \ln(P_{min})(t) + c_7 \ln(\bar{P})(t) + c_8 \ln(Altitud)(t) + c_9 \ln(Latitud)(t) + c_{10} \ln(Factores)(t) + c_{11} CO_2(t) \dots \quad (4)$$

$$Y_{cultivo}(t) = c_1 \ln(T_{max})(t) + c_2 \ln(T_{min})(t) + c_3 \ln(\Delta T_{max}^d)(t) + c_4 \ln(\Delta T_{min}^d)(t) + c_5 \ln(P_{max})(t) + c_6 \ln(P_{min})(t) + c_7 \ln(\bar{P})(t) + c_8 \ln(Altitud)(t) + c_9 \ln(Latitud)(t) + c_{10} \ln(Factores)(t) + c_{11} CO_2(t) \dots \quad (5)$$

## 4. Resultados y discusión

Los resultados del comportamiento histórico de  $Y$ ,  $T$  y  $P$  se presentan a continuación. En las subsecciones 4.2 a 4.3 aparecen los resultados del modelo tomando en cuenta los de la 4.1. Análisis y resultados sobre  $T$ ,  $P$  y  $Y$ , así como  $m$ ,  $b$  e indicadores de autosustentabilidad de otros cultivos aparecen en el Anexo, secciones A.2 a A.4.

### 4.1 Rendimientos, temperaturas y precipitaciones

La metodología de detección de picos aporta una medida más precisa de los corrimientos en  $P$  y ciclos de  $T$  que los modelos ANOVA de Kunah *et al.* (2018). La caracterización del espectro es completa sin importar la forma funcional de los desfases. La calidad de la información es crucial, por eso se depuraron los registros excluyendo los incompletos y/o nulos. A diferencia del proceso seguido por Laghari *et al.* (2014), no se necesitó validar diferentes fuentes de información. Se construyó un procedimiento general que puede aplicarse a cualquier región aprovechando la idea de conglomerados de Kunah *et al.* (2018).

En la región, el semiciclo de CG 1976-2007 se recortó-reajustó en subciclos 1976-1984, 1984-1994 y 1994-2007. En 1984 y 1994 disminuyeron  $P_{max}$ ,  $T_{max}$  y  $\Delta T_{max}^d$ , mientras que  $T_{min}$  y  $\Delta T_{min}^d$  se incrementaron respecto a los años 2004 y 2008. Esto es, se corrigió naturalmente  $T$ , ocasionando el corrimiento de  $P$  a los primeros días de marzo, ver gráfica 2. Estas condiciones afectaron las  $ET$  ocasionando cosechas inferiores a las esperadas (SAGARPA, 2020a), ver cuadro 1 y gráficas 1.  $T_{max}$  y  $P_{max}$  presentaron tendencia positiva con pendientes de 0.0363 °C/año y 0.5637 mm/año, respectivamente. En el periodo 1976-2007,  $P_{anual}$  presentó caídas notorias en 1979, 1982, 1989, 1996, 1998 y 2005, y repuntes en el 2001 y 2004. Del 2007-a la fecha de estudio, la peor caída histórica se presentó en el 2011. Los cultivos estudiados son tolerantes al incremento de temperatura hasta los 45 °C, pero no

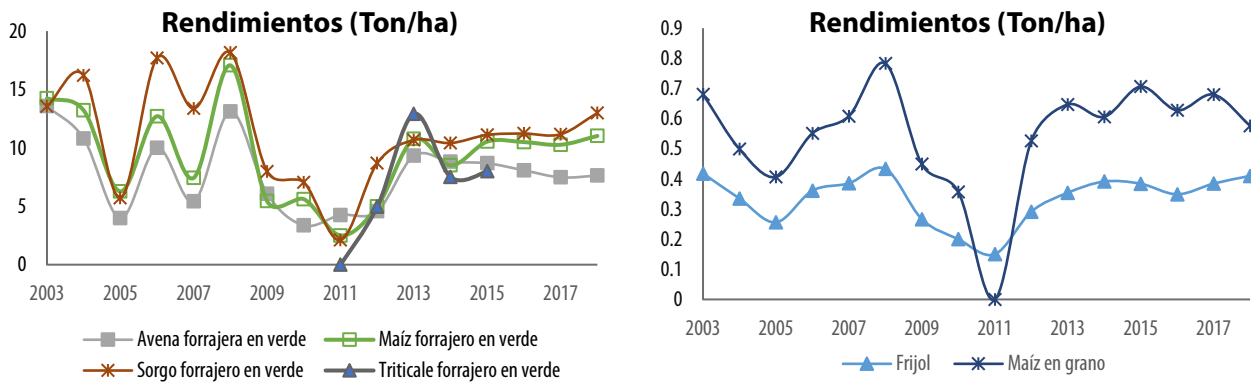
a la falta de agua. Esta región es afortunada por su ubicación geográfica, resguardada por un sistema montañoso que atrapa la humedad proveniente del mar y, por su orografía, las emisiones de CO<sub>2</sub> se dispersan fácilmente, caso similar al de Ucrania (Kunah *et al.*, 2018).

En los países africanos, por su ubicación cercana a cuerpos masivos de agua, los efectos del cambio climático son más drásticos (Kipkorir *et al.*, 2011; Kumar *et al.*, 2019; Olowa *et al.*, 2011). Las grandes masas de agua causan más desequilibrio en los ciclos del carbono y agua debido al CC. Se calcularon  $Y_{cultivo}^{2019}$  y no presentaron diferencias significativas con los valores medidos, por lo que es un indicio de estabilidad a corto plazo.

De las gráficas 1, el triticale forrajero pasó a ser cultivo de riego para aumentar su producción, ya que no hubo siniestro por *EH* (SAGARPA, 2020). En el 2004 y 2008 se presentaron los mayores *Y* en la mayoría de los cultivos (sin *EH*), mientras que en el 2011 fueron los peores. Después de la caída en el 2011, los *Y* volvieron a incrementarse sin llegar a los niveles antes mencionados. En el cuadro 1 se observa que el factor decisivo que afectó a los *Y* fue *P* en el 2011. En el 2004 y 2008 hubo buenas condiciones para el balance *T-P* reflejado en *ET* y de ahí los mejores *Y*. Los años 2008 y 2011 están dentro del periodo de *enf* global, lo cual coincide con los datos del cuadro 1, *T* no afectó los *Y* y permaneció dentro de los límites tolerables de los cultivos, 45 °C (Abrol *et al.*, 1996).

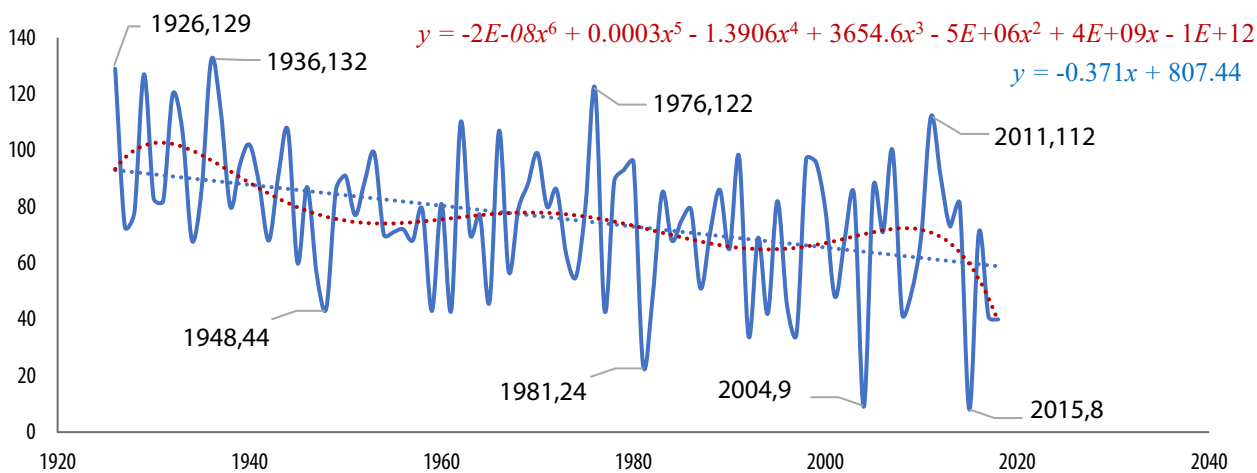
Gráficas 1

**Rendimientos de los principales cultivos en el estado de Aguascalientes, 1980-2018**



Gráfica 2

**Número de día para el inicio de temporada de *P* en primavera-verano (1 de marzo corresponde al día 1 y el 31 de agosto, al 184)**



**Comparativo de variables climáticas, estado de Aguascalientes**

Año	Precipitación máxima [mm]	Precipitación promedio [mm]	Temperatura máxima [°C]	Temperatura mínima [°C]	Rango temperatura diaria máxima [°C]	Rango temperatura diaria mínima [°C]
1984	12.18	2.07	32.2	4.4	23.8	10.1
1994	11.15	1.62	31.8	5.5	23.2	11.1
2004	16.64	2.61	33.3	3.7	25.9	10.3
2008	17.55	2.98	35.2	4.1	28.3	10.2
2011	7.44	0.80	35.0	3.8	26.7	6.3

Las tasas de crecimiento de los  $Y$  no se recuperaron a partir del 2012 a los niveles que se tuvieron en el 2004 y 2008.

**4.2. Estrés hídrico**

Se hicieron los ajustes multirregresivos y de ellos se dedujeron los  $K_y$ , reacción del cultivo, que sirve

para valorar si la planta padeció  $EH$  dadas las condiciones de  $P$  y  $T$  a lo largo de su desarrollo hasta la cosecha. Se simuló estableciendo escenarios de  $T$  y  $P$ . El cuadro 2 muestra los resultados proyectando al 2030. Se consideraron los cambios globales esperados (de 0.3 y 2.6 °C, cota inferior IPCC) que corresponden a 9.73 y 17.84 % de cambios en la región (usando resultados del Anexo, sección A.1). Se simularon dos escenarios para  $T$

Cuadro 2

 **$K_y$  factor de respuesta de rendimiento del cultivo bajo estrés hídrico**

Año	Avena forrajera en verde	Frijol	Maíz forrajero en verde	Maíz grano	Sorgo forrajero en verde	Triticale forrajero en verde
2003	s/e	0.04	0.07	0.12	s/e	
2004	0.10	0.30	0.15	0.23	s/e	
2005	1.06	0.99	0.33	1.42	0.17	
2006	s/e	0.18	0.13	0.44	s/e	
2007	1.42	1.98	0.73	1.82	0.17	
2008	0.03	0.55	0.04	0.08	0.04	
2009	2.42	2.53	2.13	2.55	1.36	
2010	0.82	1.27	0.58	1.79	0.02	
2011	2.39	2.52	2.71	s/e	2.67	
2012	1.47	1.13	0.68	1.70	0.80	1.73
2013	s/e	0.40	0.11	0.28	s/e	s/e
2014	0.04	0.14	0.09	0.45	0.30	s/e
2015	0.13	0.36	0.05	0.51	s/e	s/e
2016	s/e	0.20	s/e	0.20	s/e	
2017	s/e	s/e	s/e	s/e	s/e	
2018	s/e	s/e	s/e	s/e	s/e	
2019 medido	0.11	0.60	0.35	1.07	0.15	N/A
2019 <sup>†</sup>	0.09 ± 0.03	0.59 ± 0.11	0.21 ± 0.14	0.94 ± 0.16	0.13 ± 0.09	s/e
2030 <sup>†</sup>	0.25 óptimo 2.61 catastrófico	0.70 óptimo 2.73 catastrófico	0.41 óptimo 3.01 catastrófico	0.74 óptimo 2.83 catastrófico	0.15 óptimo 1.97 catastrófico	s/e óptimo 2.01 catastrófico

**Nota:** s/e sin  $EH$ ; el valor 0 indica pérdida total de la siembra; N/A, no aplica;  $y^†$ , modelado.



**Productividad del agua (*m*) y evaporación media del suelo (*b*) con supuesto *EH***

Parámetros con <i>EH</i>	Avena forrajera en verde	Frijol	Maíz forrajero en verde	Maíz grano	Sorgo forrajero en verde	Triticale forrajero en verde*
<i>m</i> (kg/ha/mm)	2.492	0.528	40.771	0.792	19.444	2.837
<i>b</i> (mm)	3 520.47	4 106.17	3128.95	7 186.54	3 361.49	3 784.51
<i>Y</i> (kg/ha)	7 820.094 (4 418-9 000 <sup>g</sup> )	335.401 (600-2 000 <sup>g</sup> )	9 439.701 (9 000-50 000 <sup>g</sup> )	543.816 (1 000-10 000 <sup>g</sup> )	11 129.6 (11 000-27 000 <sup>g</sup> )	6 672.1 (3 000-10 500 <sup>g</sup> )

\* Comparando con otros lugares no presenta *EH*. Se calcula con base en los rendimientos reportados. La <sup>g</sup> denota el valor promedio mundial de la temporada y clima árido-semiárido.

y *P* en *P-V*: ± 9 y ± 18 % en *T*, ± 10 y ± 20 % en *P*. Pueden establecerse otros escenarios. El resto de las variables permanecen constantes. Se probó un escenario catastrófico tomando como ejemplo lo ocurrido en el 2011.

**4.3. Uso del agua y productividad**

Se obtuvieron la productividad del agua por cultivo de temporal *P-V* de 1980 al 2018 y los rendimientos promedio comparados con los globales (ver cuadro 3).

**4.4. Modelos**

A continuación, los mejores ajustes que se obtuvieron del comportamiento de *Y* respecto a las variables geo-climáticas y *factores* para la región. Las emisiones de CO<sub>2</sub> no fueron estadísticamente significativas. Para variables climáticas, remitirse a la subsección 4.1 y el Anexo. Los modelos son particulares de la región, con *p*-valor menores que las obtenidas por Prakash y Kunah *et al.* en sus respectivos modelos.

$$\Delta Y_{avena\ forrajera\ en\ verde}(t) = -2.37T_{min}(t) + 1.14\Delta T_{min}^d(t) \quad (6)$$

(0.0081)      (0.0084) ...

$$Y_{avena\ forrajera\ en\ verde}(t) = -1.38T_{min}(t) + 1.29\Delta T_{min}^d(t) + 0.001Factores(t) \quad (7)$$

(0.0303)      (0.0001) ...  
(0.0806) ...

$$Y_{frijol}(t) = 0.032\Delta T_{max}^d(t) + 0.026P_{max}(t) - 0.039Altitud(t) \dots \quad (8)$$

(0.0000)      (0.0000)      (0.0001)

$$Y_{frijol}(t) = 0.004466T_{max}(t) + 0.018987P_{max}(t) - 0.000032Factores(t) \quad (9)$$

(0.0451)      (0.0003) ...  
(0.0001) ...

$$\ln(Y_{maiz\ forrajero\ en\ verde})(t) = 0.8638\ln(\bar{P})(t) + 0.0749\ln(Latitud)(t) \quad (10)$$

(0.0071) ...  
(0.0000) ...

$$Y_{maiz\ grano}(t) = 0.472\ln(P_{max})(t) + 0.065\ln(Factores)(t) \quad (11)$$

(0.0000)      (0.0069) ...

$$\ln(Y_{maiz\ grano})(t) = 0.618\ln(P_{max})(t) - 0.106\ln(Latitud)(t) \quad (12)$$

(0.0451)      (0.0033) ...

$$\ln(Y_{sorgo\ forrajero\ en\ verde})(t) = 1.0123\ln(\bar{P})(t) + 0.074\ln(Latitud)(t) \quad (13)$$

(0.0013) ...  
(0.0000) ...

$$Y_{\text{triticale forrajero en verde}}(t) = -0.27\Delta T_{\text{max}}^d(t) + 1.68\bar{P}(t) + 0.07\text{Factores}(t)$$

$$(0.0049) \quad (0.0176)$$

$$(0.0039) \dots$$
(14)

Del cuadro 3 se encontró *EH* en avena, maíz forrajero y frijol. El triticale, más resistente, pasó a cultivo de riego desde el 2016. De las ecuaciones (6 y 7), la avena dependió directamente del  $\Delta T_{\text{min}}^d$  e inversamente de *Tmin sin factores*. Con *factores*, el impacto de *Tmin* disminuyó 41.77 %, mientras  $\Delta T^d$  aumentó 13.16 por ciento. El frijol, más versátil y adaptable por ser una especie endémica, depende de manera directa de *Tmax* y *Pmax* e inversamente a la altitud. Estas dependencias son aminoradas, en gran medida, por el uso de *factores*, sobre todo en lo referente a la altitud, ecuaciones (8 y 9). El maíz forrajero dependió fuertemente de  $\bar{P}$ . El uso de *factores* y  $\Delta T^d$  no fueron estadísticamente significativas. Además, mostró una ligera relación directa con la latitud, ecuación (10). El maíz grano fue directamente proporcional a *Pmax* e inversa a la latitud. Con el uso de *factores*, la latitud no constituyó un obstáculo para su desarrollo, y disminuyó el efecto de las precipitaciones en 31 %, ecuaciones (11 y 12). Al igual que el maíz forrajero, el sorgo forrajero dependió fuertemente de las precipitaciones y ligeramente de su latitud independientemente del uso de *factores*, ecuación (13). Los cultivos forrajeros mostraron ser más adaptables a climas semiáridos (SIAP, 2019). El triticale resultó ser más resistente y adaptable que la cebada y el trigo (*Anexo*, sección A.4; SIAP, 2019); como todos estos, dependió directamente de *P* y *factores* y mostró una relación inversa con  $\Delta T_{\text{min}}^d$ , ecuación 14.

Los cambios en  $Y_{\text{maíz grano}}$  para el 2030, en el escenario óptimo, resultaron menores a los esperados en países fuera de los trópicos (Kunah *et al.* 2018). Se obtuvieron cambios alrededor de 21 % para el maíz blanco, y la productividad del agua actual resultó baja comparada con el estándar nacional medidos por Montemayor *et al.* (2007 y 2010). De los registros, los cultivos mostraron una presión

histórica de *EH*, con excepción del 2017-2018, caso análogo para los demás cultivos por el aumento de intensidad en *P*.

Históricamente, la productividad del agua ha estado por debajo de los estándares nacionales (ver cuadros 2 y 3). El promedio nacional de maíz grano blanco fue de 9.8 Ton/ha y el máximo, de 9.9 Ton/ha en el 2013 (Aguirre *et al.*, 2016). De las gráficas 1, para el caso de Aguascalientes en el 2013, los rendimientos fueron de 0.65 y 10.49 Ton/ha y, en promedio (del 2003 al 2018), de 0.5 y 9.4, respectivamente.

En San Luis Potosí, para el maíz grano y el forrajero, *Y* promedio ( $\bar{Y}_p$ ) en producción intensiva mejorada de temporal fue de 5.4-6.2 y 10.9-12.2 Ton/ha, respectivamente, arriba de los obtenidos. Como se observa en el cuadro 3, las *m* se encontraron por debajo de los *Y* reportados en esa entidad con condiciones de *Tp* de 21 °C,  $Pp^{\text{anual}}$  de 500 mm y *Alt* de 900 metros sobre el nivel del mar. A nivel global, estaban por debajo del máximo registrado hasta el 2008. Con las variaciones en *Y* obtenidas por Kunah *et al.*, para el escenario pésimo simulado, se encontró que el maíz grano y el frijol son los más sensibles al CC; resultado similar encontraron McCarl *et al.*

El estudio de Montemayor *et al.* (2015) sobre *EH* del triticale forrajero en la Comarca Lagunera de Coahuila de Zaragoza y Durango reportó *m* entre 1.08 y 1.3 g/m<sup>2</sup>/mm; aplicaron entre 520 y 620 mm de agua en cada ciclo y obtuvieron *Y* de 566 y 807 g/m<sup>2</sup>; de los cuadros 2 y 3. En nuestro caso, se calculó 0.4314 g/m<sup>2</sup>/mm, dato que corresponde al 2012 con  $Pp^{\text{anual}}$  de 10 331.1 mm y *Y* de 495 g/m<sup>2</sup>, por debajo de los resultados de Montemayor,<sup>3</sup> por lo que el siniestro no fue causado por *EH*; 100 % de  $Y_{\text{triticale}}$  del 2013 al 2015 con  $Pp^{\text{anual}}$  de 345.5 mm y  $\bar{Y}_p^{\text{triticale}}$  de 947 g/m<sup>2</sup>; el triticale se dejó de producir en el 2016 y pasó a ser un cultivo de riego para optimizar su producción.

3 El experimento de Montemayor se llevó a cabo en una de las regiones con más altos *Y* (SAGARPA 2020a).

El modelo de estudio reflejó condiciones propias de la región en particular importancia de la *Alt* en los  $Y_{frijol}$  y *Lat* en  $Y_{avena\ forrajera}$ ,  $Y_{maíz\ grano}$ ,  $Y_{maíz\ forrajero}$  y  $Y_{sorgo\ forrajero}$  como los cálculos de Kunah *et al.* para una zona geográfica con 10 °C más alta y *Alt* 1 000 m s. n. m. menor.

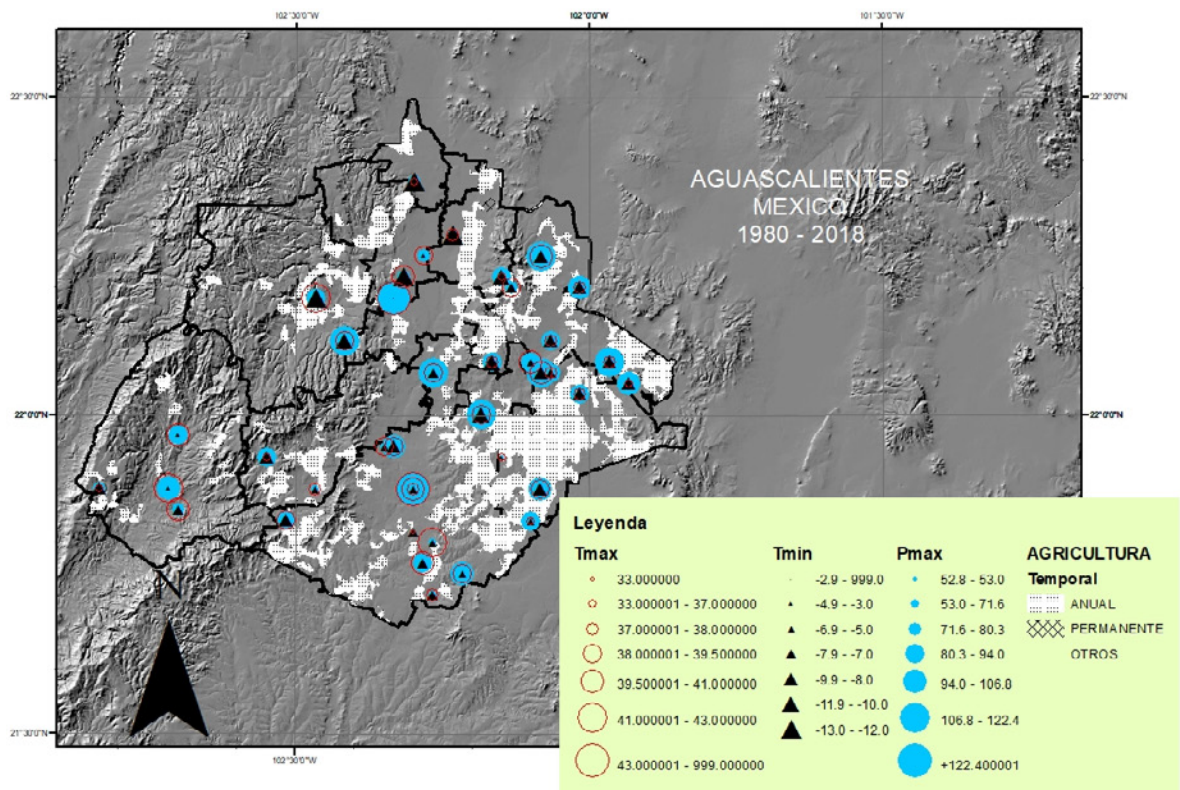
Se calcularon los indicadores de autosustentación: tasa de crecimiento de la población, 2.2 % (INEGI, 2015), y emisiones de CO<sub>2</sub> de la industria manufacturera, 5.5 % (RETC, 2020; Ledesma-Carrión *et al.*, 2020). En la región, estas fueron estadísticamente no significativas en los modelos prototipos. Aunque se integran al sistema mundial contribuyendo al aumento de *T* esperada. Además, tasa de *Y*: avena forrajera (3.6 %), frijol (0.6 %), maíz grano (0.7 %), maíz forrajero (1.8 %), sorgo forrajero (2.3 %) y triticale forrajero (2.4 %), por lo que no contribuyen a la sustentabilidad a largo plazo en la región de estudio los cultivos de temporal *P-V* de frijol, maíz grano, maíz forrajero.

Una representación visual para la región de las áreas de cultivo aparece en el mapa. Los diferentes tamaños de los símbolos están asociados a escalas, ya sean en °C o mm, y son los promedios en el periodo 1980-2018. Se encontró que *Tmax* extremas se presentan en el norte, en los municipios de Calvillo y Aguascalientes. Las *Tmin* altas están en el primero. Al sur del segundo, en el extremo oriental del municipio de El Llano y en el centro del de Asientos se observó mayor equilibrio entre *T* y *P*.

### 5. Conclusiones

El modelo permitió observar los efectos del CC global en la región geográfica de estudio y puede replicarse a otras regiones siempre y cuando se cuente con suficientes datos. Los resultados sobre los rendimientos señalan a los cultivos de maíz grano y frijol como los más sensibles a estos

Mapa



Se muestran las zonas de cultivo (puntos negros sobre blanco) y las posiciones de estaciones meteorológicas principales donde se escalan los promedios de 1980 al 2018 de las siguientes variables: precipitación máxima *Pmax* (círculos rellenos azules), temperaturas máximas *Tmax* (círculos rojos) y temperaturas mínimas *Tmin* (triángulos negros).

cambios, además de la influencia de la altitud en el primero, y que para el 2030 no contribuirán a la autosustentabilidad.

En el 2011, el estrés hídrico afectó a todos los cultivos con rendimientos mínimos históricos. La adaptación de la teoría espectroscópica a datos de temperatura y precipitación permitieron observar el acortamiento-reajuste del semiciclo de calentamiento 1976-2007, el corrimiento del inicio de temporada de *P* y los periodos con mayor intensidad. Las plantaciones son impactadas, principalmente, por la precipitación, siendo tolerantes al aumento de temperaturas. Se localizaron zonas donde, de manera histórica, presentan equilibrio temperatura-precipitación y se refleja en mejores rendimientos de estas.

## Fuentes

- Abrol, Y. P. & K. T. Ingram. "Effects of higher day and night temperatures on growth and yields of some crop plants", en: Bazzaz, F. y W. Sombroek (Eds.). *Book Global climate change and agricultural production: direct and indirect effects of changing hydrological, pedological and plant physiological processes*. Wiley, West Sussex, 1996, pp. 123-140.
- Adams, R. M., B. H. Hurd, S. Lenhart y N. Leary. "Effects of global climate change on agriculture: an interpretative review", en: *Clim Res.* 11: 1998, pp. 19-30 (DE) <http://www.hpccc.gov.in/PDF/Agriculture/Effects%20of%20Global%20Climate%20Change%20on%20Agriculture.pdf>
- Afzal, M., M. N. Sharif y M. Aslam. "Correlation and regression analysis of morphological traits in *Rumex dentatus*", en: *Bulletin of Biological and Allied Sciences Research Section Plant Sciences*. Vol.1, artículo 2, 002, 2013:1-5 (DE) consultado el 12 de enero de 2021 en: [https://www.researchgate.net/publication/329885325\\_Bulletin\\_of\\_Biological\\_and\\_Allied\\_Sciences\\_Research\\_Section\\_Plant\\_Sciences](https://www.researchgate.net/publication/329885325_Bulletin_of_Biological_and_Allied_Sciences_Research_Section_Plant_Sciences)
- Aguirre-Rivera, J. R., H. Charcas-Salazar y H. M. Durán-García. "Productividad de elote en Rioverde, SLP, México", en: *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. Vol.7, Núm.7, 28 de septiembre-11 de noviembre, 2016, pp. 1563-1573.
- Boko, M. e I. Niang. "Africa. Climate change 2007: impacts, adaptation and vulnerability", en: Parry, M. L., O. F. Canziani, J. P. Palutikof, P. J. Linden y C. E. Hanson (Eds.). *Contribution of working Group II to the fourth assessment report of the intergovernmental panel on climate change*. Cambridge, Cambridge University Press, 2007, pp. 433-467.
- Butt, T. A., B. A. McCarl, J. Angerer, P. T. Dyke y J. W. Stuth. "The economic and food security implications of climate change in Mali", en: *Climate Change*. Vol. 68. Springer, 2005, pp. 355-378.
- CEPAL. "Efectos del cambio climático en la costa de América Latina y el Caribe: Dinámicas, tendencias y variabilidad climática", en: *UN*. 2015 (DE) consultado el 25 de octubre de 2020 en: <https://www.cepal.org/es/publicaciones/3955-efectos-cambio-climatico-la-costa-america-latina-caribe-dinamicas-tendencias>
- CONAGUA. "Estadísticas del agua en México" (ediciones 2010-2017), en: CONAGUA, SEMARNAT. *Distritos y unidades de riego (nacional)*. México, SINA, 2010-2017 (DE) <http://sina.conagua.gob.mx/sina/index.php?publicaciones=1>
- Colaizzi, P. D., A. D. Schneider, S. R. Evett y T. A. Howell. "Comparison of SDI, LEPA, and spray irrigation performance for grain sorghum", en: U.S. Department of Agriculture: Agricultural Research Service, Lincoln, Nebraska. *Trans. ASAE*. 47(5), 2004, pp. 472-492.
- Conceição-Rezende, F., J. A. Frizzone, R. Ferraz de Oliveira y A. Soares Pereira. "CO<sub>2</sub> and irrigation in relation to yield and water use of the bell pepper crop", en: *Scientia Agrícola*. Vol. 60, Núm. 1, Jan./Mar., 2003, pp.7-12,
- FAO. "Evapotranspiración del cultivo. Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos", en: *Estudio FAO riego y drenaje*. 56, 1990, ISSN 0254-5293.
- FullProf Suite. *Software libre para análisis espectroscópico*. 2020 (DE) consultado el 3 de marzo de 2020 en: <https://www.ill.eu/sites/fullprof/>
- García-Arizaga, M. T. y J. Lugo-Hubp. *El relieve mexicano en mapas topográficos*. México, Universidad Autónoma de México, Instituto de Geografía. ISBN-UNAM 968-36-7398-8, ISBN 970-32-0512-7.
- Hawkins, E. & R. Sutton. "The potential to narrow uncertainty in projections of regional precipitation change", en: *Climate Dynamics*. 37, 407, 2011, doi: 10.1007/s00382-010-0810-6.
- Hu, A. et al. (2013). "Mitigation of short-lived climate pollutants slows sea-level rise", en: *Nature Climate Change*. 3, 2011, pp. 730-734 (DE) consultado el 8 de mayo de 2020 en: <https://doi.org/10.1038/nclimate1869>
- INEGI. *Síntesis geográfica de Aguascalientes*. 1981 (DE) consultado el 3 de enero de 2020 en: [http://internet.contenidos.inegi.org.mx/contenidos/productos/prod\\_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/historicos/2104/702825220563/702825220563\\_3.pdf](http://internet.contenidos.inegi.org.mx/contenidos/productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/historicos/2104/702825220563/702825220563_3.pdf)
- \_\_\_\_\_. *Cuéntame... de México*. 2015 (DE) consultado el 20 de junio del 2020 en: <http://cuentame.inegi.org.mx/monografias/informacion/ags/poblacion/dinamica.aspx?tema=me&e=01>
- \_\_\_\_\_. *Cuéntame... de México. Territorio*. 2020 (DE) consultado el 20 de junio del 2020 en: <http://cuentame.inegi.org.mx/monografias/informacion/ags/territorio/clima.aspx?tema=me&e=01>
- IPCC. "Cambio climático, bases físicas. Resumen para responsables de políticas", en: *Informe del Grupo de Trabajo I*. 2013. ISBN 978-92-9169-338-2.
- Jokić, S., B. Nagy, Z. Zeković, S. Vidović, M. Bilić, D. Velić y B. Simándi. "Effects of supercritical CO<sub>2</sub> extraction parameters on soybean oil yield", en: *Food and Bioproducts Processing*. 90, 2012, pp. 693-699.
- Kipkorir-Songok, C., E. Chessum-Kipkorir, E. Musungu-Mugalavai, A. Chepkok-Kwonyike y C. Ng'weno. "Improving the Participation of Agro-

- Pastoralists in Climate Change Adaptation and Disaster Risk Reduction Policy Formulation: A Case Study from Keiyo”, en: *Experiences of Climate Change Adaptation in Africa*. Climate Change Management, Springer. ISSN 1610-2010 e-ISSN 1610-2002 ISBN 978-3-642-22314-3 e-ISSN 978-3-642-22315-0. DOI 10.1007/978-3-642-22315-0.
- Kumar, S., B. Anwasha, A. Arif, K. Gaurav y S. Pardeep. “Agriculture in the Era of Climate Change: Consequences and Effects”, en: Krishna Kumar Choudhary, Ajay Kumar, and Amit Kishore Singh (Eds). *Climate Change and Agricultural Ecosystems*, Woodhead Publishing. 2019, pp. 1-23. ISBN 978-0-12-816483-9 (DE) consultado el 4 de mayo de 2020 en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-816483-9.00001-3>
- Kunah, O. M., O.Y. Pakhomov, A. A. Zymaroleva, N. I. Demchuk, R. M. Skupskiy, L. S. Bezuhla & Y. P. Vladyka. “Agroeconomic and agroecological aspects of spatial variation of rye (secale cereale) yields with Polesia and the Forest-steppe zone of Ukraine: The usage of geographically weighted principal components analysis”, en: *Biosystems Diversity*. 26(4), 2018. ISSN 2519-8513 e-ISSN 2520-2529 (DE) consultado el 17 de mayo de 2020 en: <https://doi.org/10.15421/011842>
- Laghari, T.S., A. Khaliq, S.H. Hussain-Shah, S. Aliy H. Shahzad. “Analysis of rainfall data to estimate rain contribution towards crop water requirement using cropwat model”, en: *Russian Journal of Agricultural and Socio-economic Sciences*. 12(36), 2014, pp. 358-388 (DE) consultado el 8 de junio de 2020 en: [https://www.researchgate.net/publication/274076592\\_ANALYSIS\\_OF\\_RAINFALL\\_DATA\\_TO\\_ESTIMATE\\_RAIN\\_CONTRIBUTION\\_TOWARDS\\_CROP\\_WATER\\_REQUIREMENT\\_USING\\_CROPWAT\\_MODEL/link/55150f080cf283ee08398702/download](https://www.researchgate.net/publication/274076592_ANALYSIS_OF_RAINFALL_DATA_TO_ESTIMATE_RAIN_CONTRIBUTION_TOWARDS_CROP_WATER_REQUIREMENT_USING_CROPWAT_MODEL/link/55150f080cf283ee08398702/download)
- Ledesma-Carrión, D. E., A. Pérez-Hernández & L. Hernández-Hernández. “Status of the emission and transfer of pollutants in a medium-sized region”, en: *SN Applied Sciences*. 2:710, 2020 (DE) consultado el 5 de abril de 2020 en: <https://doi.org/10.1007/s42452-020-2437-5>.
- LNMYSR. *Datos de agroestaciones*. 2020 (DE) consultado desde el 1 de marzo de 2019 en: <https://clima.inifap.gob.mx/lnmysr/Estaciones>
- McCarl, B. A., R. M. Adams y B. H. Hurd. *Global climate change and its impact on agricultura*. Work Paper. Texas, Texas A&M University, 2001.
- McKinnon, K. y V. Hickey. “Convenient solutions to an inconvenient truth: ecosystem-based approaches to climate change”, en: *International Bank for Reconstruction and Development/The World Bank*. 2009, pp. 45-89. ISBN-13 : 978-0821381267 (DE) consultado el 9 de junio de 2020 en: <https://www.amazon.es/Convenient-Solutions-Inconvenient-Truth-Ecosystem-Based/dp/0821381261>
- Montemayor, T. J. A., M. A. Segura-Castruita, J. Munguía-López & J. L. Woo-Reza. “Productividad del agua en el cultivo de triticale (X. *Triticosecale* Wittmack) en la Comarca Lagunera de Coahuila, México”, en: *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. Vol. 6 Núm. 7, 28 de septiembre-11 de noviembre, 2015, pp. 1533-1541.
- Montemayor, T. J. A., J. A. Olague, H. M. Fortis, S. R. Bravo, R. J. A. Leos, S. E. Salazar, L. J. Castruita, R. J. C. Rodríguez y G. J. A. Chavaría “Consumo de agua en maíz forrajero con riego subsuperficial”, en: *Terra Latinoam*. 25(2), 2007, pp. 163-168. e-ISSN: 2395-8030.
- Montemayor, T. J. A., H. A. Walter, R. J. Olague, A. Román, G. L. M. Rivera, R. P. Preciado, T. I. R. Montemayor, C. M. A. Segura, V. J. A. Orozco y C. P. Yescas. “Uso del agua en la alfalfa (*Medicago sativa*) con riego por goteo subsuperficial”, en: *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*. 1(2), 2010, pp. 145-156.
- Olowa, O. W., O. A. Olowa & W. Leal-Filho. “Links Between Capacity and Action in Response to Global Climate Change: A Climate Response Shift at the Local Level”, en: “Book Experiences of Climate Change Adaptation in Africa”, en: *Climate Change Management*. Springer, 2011. ISSN 1610-2010 e-ISSN 1610-2002 ISBN 978-3-642-22314-3 e-ISSN 978-3-642-22315-0. DOI: 10.1007/978-3-642-22315-0.
- OriginLAB. Software ver. 8.0. 2020 (DE) consultado el 4 de abril de 2020 en: <https://my.originlab.com/forum/default.asp> y <https://www.originlab.com/fileExchange/details.aspx?fid=524>
- Prakash Niraj. “Effect of Climate Variables on Yield of Major Food-Crops in Nepal: A Time-Series Analysis”, en: *Journal of Contemporary India Studies: Space and Society*. Vol. 1, 2011, pp. 19-26 (DE) consultado el 9 de febrero de 2020 en: [https://ir.lib.hiroshima-u.ac.jp/en/list/HU\\_journals/hindas/--/1/item/31425](https://ir.lib.hiroshima-u.ac.jp/en/list/HU_journals/hindas/--/1/item/31425)
- RETC. *Registro de emisiones y transferencia de contaminantes*. 2020 (DE) consultado el 20 de junio 2020 en: <https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/retc/retc/index.php>
- SAGARPA. “Atlas Agropecuario y Pesquero Información del Sector Agroalimentario 2012”; en: *Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP)*. 2012 (DE) consultado el 3 de abril de 2020 en: [www.siap.gob.mx](http://www.siap.gob.mx)
- \_\_\_\_\_. *SIAP*. 2017 (DE) consultado el 7 de febrero de 2020 en: <https://www.gob.mx/siap/acciones-y-programas/informacion-geoespacial-32571>
- \_\_\_\_\_. *SIAP*. 2020a (DE) consultado el 7 de febrero de 2020 en: <https://www.gob.mx/siap/acciones-y-programas/informacion-geoespacial-32571>
- \_\_\_\_\_. *SIAP/Servicios de información agroalimentaria y pesquera*. 2020b (DE) consultado el 8 de febrero de 2020 en: <https://www.gob.mx/siap/documentos/tecnificacion> y [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/92738/Cuadros\\_tabulares\\_2014.compressed.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/92738/Cuadros_tabulares_2014.compressed.pdf)
- \_\_\_\_\_. *Aptitud agroclimática de México*. Varios meses y años, 2020c (DE) consultado el 10 de febrero de 2020 en: <https://www.gob.mx/siap/prensa/aptitud-agroclimatica-de-mexico?idiom=es>
- SIAP. *Datos cultivos y factores*. 2019 (DE) consultado el 16 de septiembre de 2020 en: <https://www.gob.mx/siap/acciones-y-programas/produccion-agricola-33119>
- Sistema Meteorológico Nacional de México (SMNM). *Datos*. 2020 (DE) consultado el 10 de marzo de 2020 en: <https://smn.conagua.gob.mx/es/climatologia/informacion-climatologica/informacion-estadistica-climatologica>

Steduto, P., T. C. Hsiao, E. Fereres & D. Raes. "Crop yield response to water", en: *Irrigation and drainage paper 66*. Rome, Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2012. ISSN 0254-5284. ISBN 978-92-5-107274-5.

Svalgaard, L., E. W. Cliver e Y. Kamide. "Sunspot cycle 24: Smallest cycle in 100 years?", en: *Geophysical Research Letters*. Vol. 32, L01104, 2005 (DE) consultado el 4 de junio de 2020, DOI: 10.1029/2004GL021664.

SWL. *Space Weather Live*. 2020 (DE) consultado el 23 de febrero de 2020 en: <https://www.spaceweatherlive.com/es/actividad-solar>

Valdes-Barrón, M., D. Riveros-Rosasa, C. A. Arancibia-Bulnes y R. Bonifaz. "The solar Resource Assessment in Mexico: State of the Art", en: *Energy*

*Procedia*. 57, 2014, pp. 1299-1308 (DE) consultado el 11 de mayo de 2020 en: <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/>, DOI: 10.1016/j.egypro.2014.10.120.

Vörösmarty, C. J. & D. Sahagian. "Anthropogenic disturbance of the terrestrial water cycle", en: *BioScience*. Vol. 50 (9), September, 2000, pp. 753-756.

World Meteorological Organization (WMO). "Space and climate change. Use of space-based technologies in the united nations system", en: WMO. *Weather, climate, wáter*. WMO-No. 1081, 2011. ISBN 978-92-63-11081-7.

## Anexo

A continuación, se expone el análisis de temperaturas y precipitaciones para relacionar el cambio climático global con cambios en la región.

### A.1 Rendimientos, temperaturas y precipitaciones

Tomando en cuenta que solo hay datos de rendimientos de 1980 al 2018, se estudió este periodo por separado. En la región, los datos diarios de temperatura ( $T$ ) se dividieron en temporadas, la de primavera-verano ( $P-V$ ) corresponde a los meses marzo-agosto y otoño-invierno ( $O-I$ ), a septiembre-febrero. El incremento en las temperaturas máximas diarias ( $T_{max}$ ) fue mayor en otoño-invierno (0.038) que en primavera-verano (0.012). Aquí solo se analizaron los datos de  $P-V$ , ya que reflejaron su impacto sobre los rendimientos ( $Y$ ) de los cultivos de temporal. Para los cultivos de  $O-I$  no hay suficientes datos. Se analizaron las variables climáticas principales para  $P-V$  y sus trimestres marzo-mayo ( $m-m$ ) y junio-agosto ( $j-a$ ). En términos generales, las temperaturas y precipitaciones máximas diarias ( $P_{max}$ ) de 1926 al 2018 presentaron tendencias positivas (ver gráficas A1a, A2a y A3a).

#### A.1.1. Análisis polinomial y senoidal

Enseguida se presentan los resultados del análisis exploratorio de temperatura y precipitación ( $P$ ).

##### A.1.1.1. Temperaturas

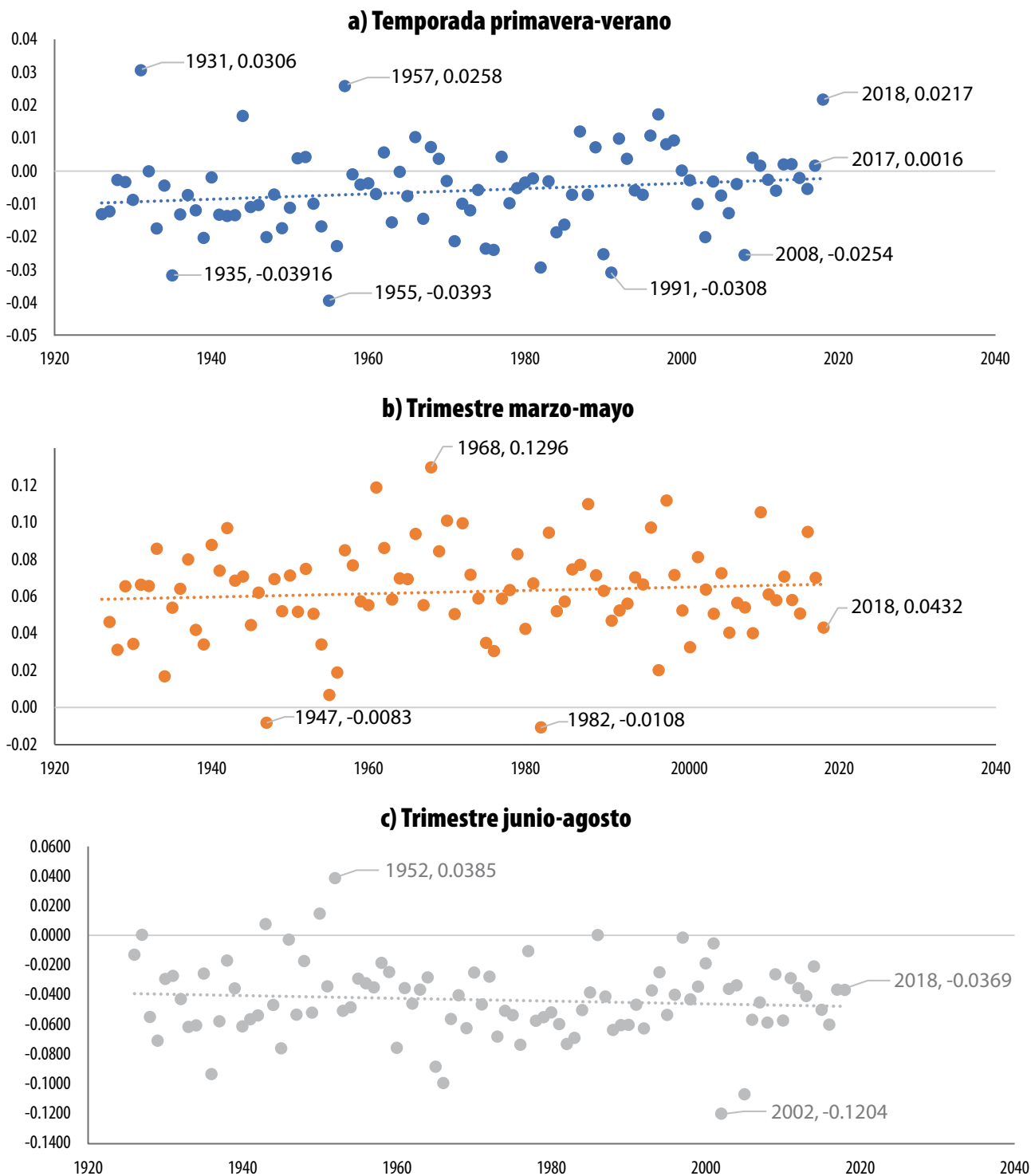
De las gráficas A1b y A1c, las pendientes anuales de  $P-V$  de las  $T_{max}$  mostraron que en  $j-a$  fueron negativas en su mayoría de 1926 al 2018, dándose en el 2002 el mayor decremento, mientras que el incremento más alto ocurrió en 1932 (ver gráfica A1c). Históricamente, en  $m-m$ , las pendientes anuales de  $T_{max}$  se han mostrado todas positivas:  $T_{max}$  cambió 0.0088 % ( $m-m$ ), -0.0074 % ( $j-a$ ) y, el total, 0.0078 % ( $P-V$ ). En los últimos 40 años, las pendientes anuales de  $m-m$  están balanceadas alrededor de la tendencia histórica, mientras que en los últimos 10 años ha predominado por abajo de ella. Para  $j-a$ , están claramente por arriba. De 1980 al 2018,  $T_{max}$  cambió 0.00996 % ( $m-m$ ), 0.024 % ( $j-a$ ) y 0.026 % ( $P-V$ ), lo que es un sutil cambio en la tendencia de una de las principales variables del clima, sobre todo en  $j-a$ . De manera análoga, de las gráficas A2a, A2b y A2c, las temperaturas diarias mínimas ( $T_{min}$ ), -0.0306 % ( $m-m$ ), 0.0127 % ( $j-a$ ) y -0.0135 % ( $P-V$ ). De 1980 al 2018, los cambios fueron -0.0386 % ( $m-m$ ), -0.0047 % ( $j-a$ ) y 0.0089 %

(*P-V*). La *T<sub>max</sub>* promedio histórica en *P-V* fue de 32.81 °C y *O-I* 28.7 °C, mientras que de 1980 al 2018 fueron 33.56 y 29.47 °C, respectivamente, lo que es un incremento de 0.77 °C para ambos se-

mestres, parecido al aumento reportado para Nepal (Prakash, 2011). De forma similar, para *T<sub>min</sub>* promedio históricas, se tienen 6.84, 2.38, 4.79 y 0.77 °C, respectivamente, lo que corresponde

Gráficas A1

### Cambios por año de la temperatura diaria máxima



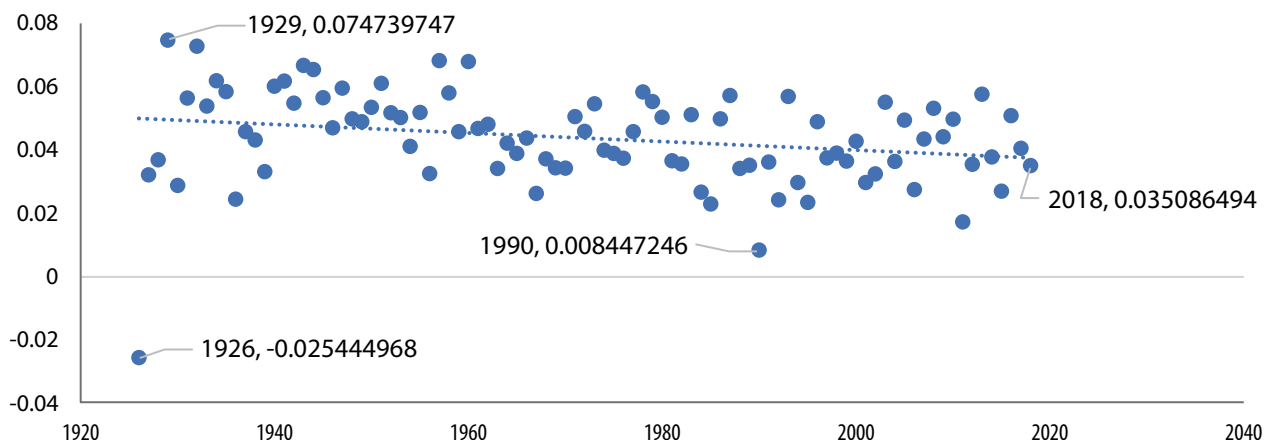
a un decremento de 2.05 °C en *P-V* y 1.61 °C en *O-I*. De las gráficas A3a, A3b y A3c, *Tmin* cambió -0.0306 % (*m-m*), 0.0127 % (*j-a*) y -0.0135 % (*P-V*).

De 1980 al 2018, los cambios fueron -0.0386 % (*m-m*), -0.0047 % (*j-a*) y 0.0089 % (*P-V*).

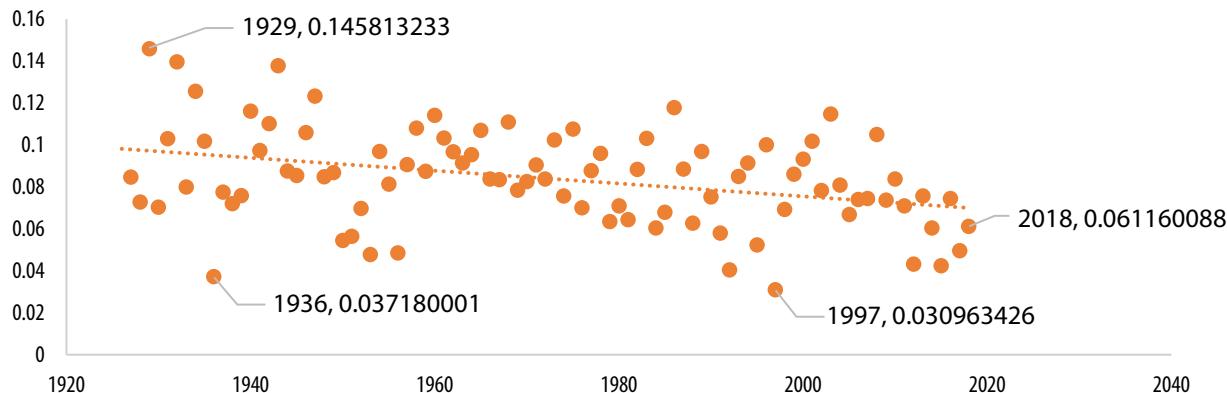
Gráficas A2

**Cambios por año de la temperatura diaria mínima**

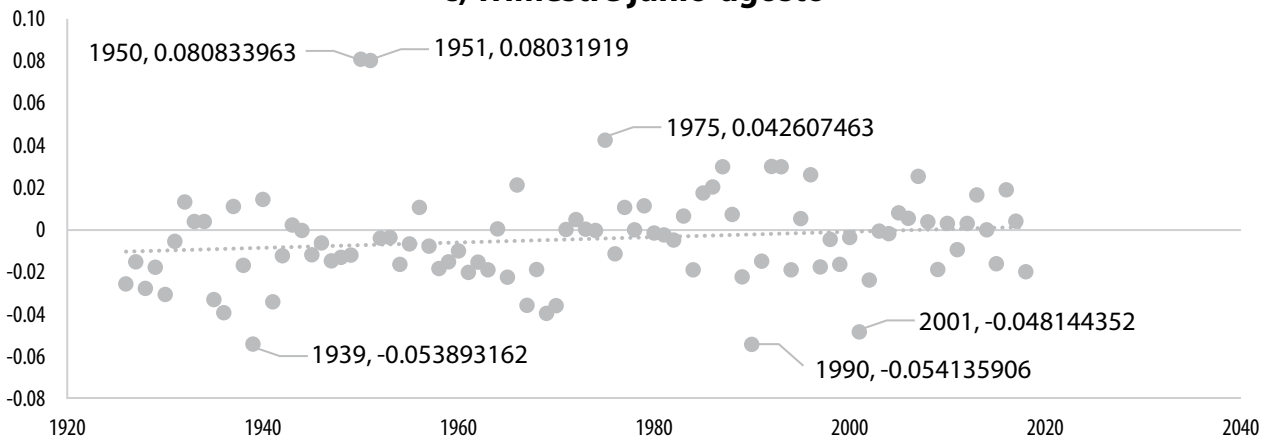
**a) Temporada primavera-verano**



**b) Trimestre marzo-mayo**



**c) Trimestre junio-agosto**





### A.1.1.2. Precipitación

En el caso de la  $P_{max}$ , la tendencia fue claramente positiva en  $P-V$  (ver gráfica A3a). Al hacer el análisis por trimestres (gráficas A3b y A3c), se observó que en  $m-m$  las pendientes anuales son más dispersas alrededor de la tendencia histórica teniendo años extremos en el 2015 (-0.069) y el 2000 (0.265); de 1927 a 1979, estas se concentran por debajo; al irse incrementando la dispersión indica lo volátil que es esta variable climática en la región; se presentaron pocos años con pendientes negativas, mientras que en  $j-a$  fueron más abundantes. Los años con tendencias negativas fueron pocos

en los últimos 40, aunque los que están por abajo de la línea de tendencia histórica son mayoría para todo el rango.

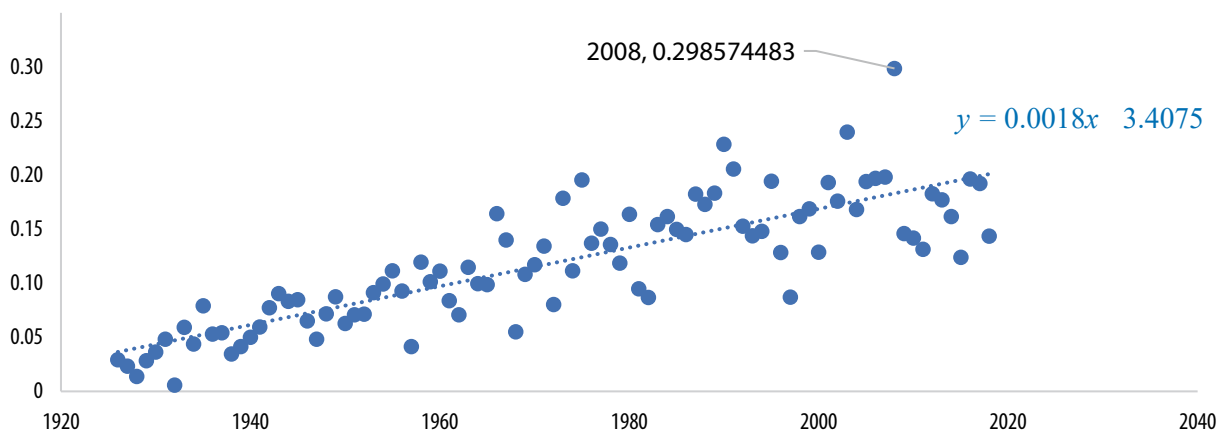
En el caso de  $j-a$ , también aumentó la dispersión, casos extremos ocurrieron en 1986 (-0.26), 2007 (-0.22), 2015 (-0.21), 1980 (0.31), 1989 (0.30), 2005 (0.34), 2006 (0.32) y 2008 (0.33). Se observó que estos se presentaron en los últimos 40 años.  $P_{max}$  cambió 0.0723 % ( $m-m$ ), 0.0697 % ( $j-a$ ) y 0.182 % ( $P-V$ ). De 1980 al 2018, los cambios fueron -0.0067 % ( $m-m$ ), -0.0544 % ( $j-a$ ) y 0.0825 % ( $P-V$ ), lo que es un cambio drástico en la tendencia de la variable

Gráficas A3

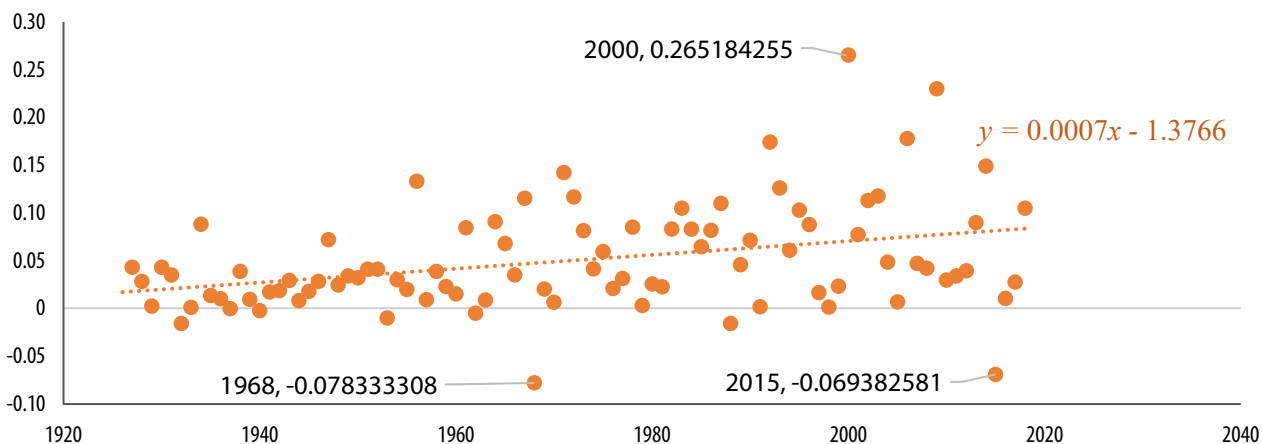
Continúa

### Cambios por año de la precipitación máxima diaria

#### a) Temporada primavera-verano

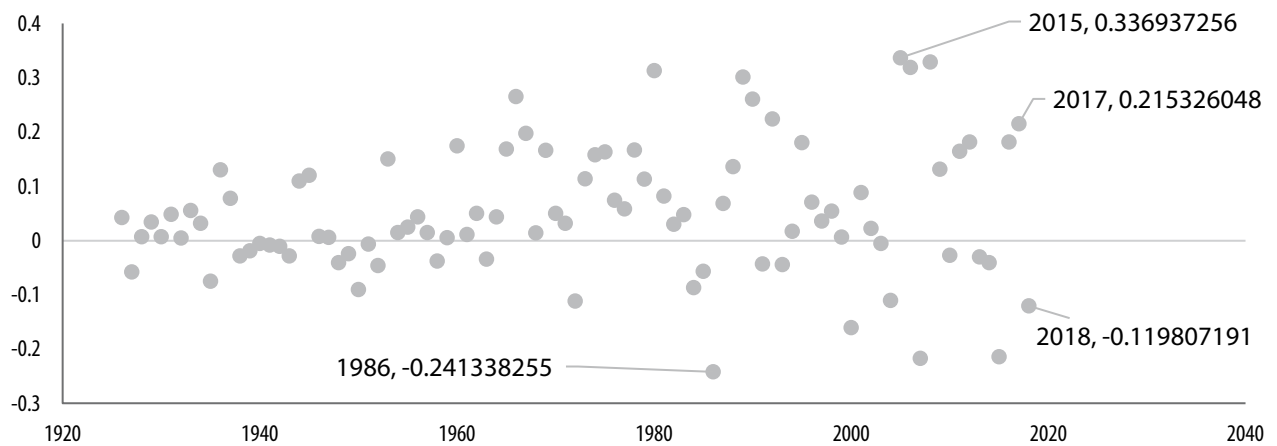


#### b) Trimestre marzo-mayo



## Cambios por año de la precipitación máxima diaria

## c) Trimestre junio-agosto



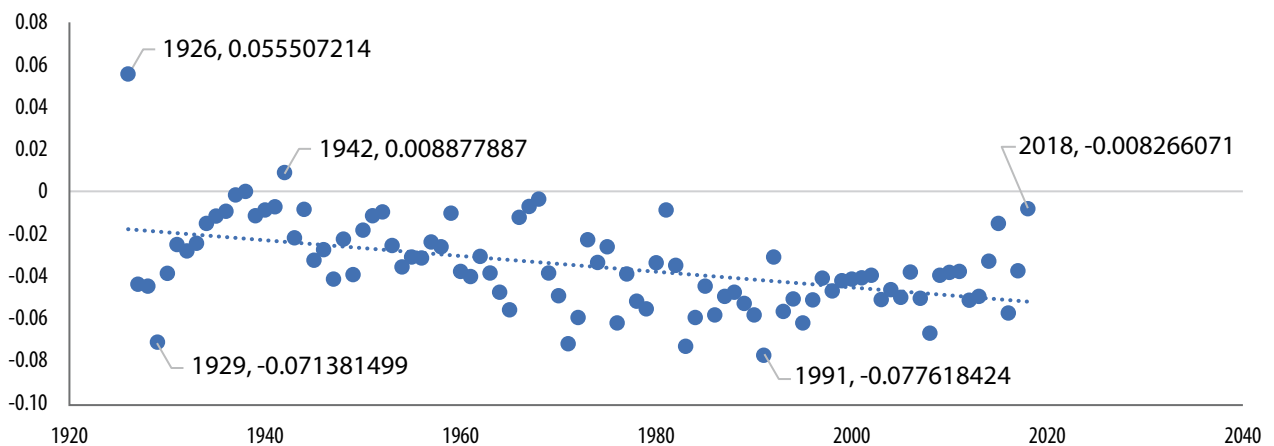
climática en ambos trimestres. Siguiendo las gráficas A4a y A4b, se observó que históricamente ha llovido más veces (80.33 %) y más intenso (24.786 %). De 1980 al 2018, estos porcentajes cambiaron drásticamente, 33.36 y 16.05 %, respectivamente. Esto es un cambio importante en el comportamiento de esta variable climática, pues la percepción de la gente de que ha estado lloviendo menos en la región es cierta.

## A.1.1.3. Rangos diarios de temperatura

Otra de las variables que influyen en los rendimientos de los cultivos es el rango diario de temperatura ( $\Delta T^d$ ). De las gráficas A4, se observó que la tendencia histórica de los rangos máximos ( $\Delta T_{max}^d$ ) fue negativa con pendientes anuales mayormente negativas que oscilan en vez de dispersarse alrededor de esta. De las gráficas A4b y A4c,  $\Delta T_{max}^d$  cambió en 0.031 % (*m-m*), -0.089 % (*j-a*) y -0.037 % (*P-V*),

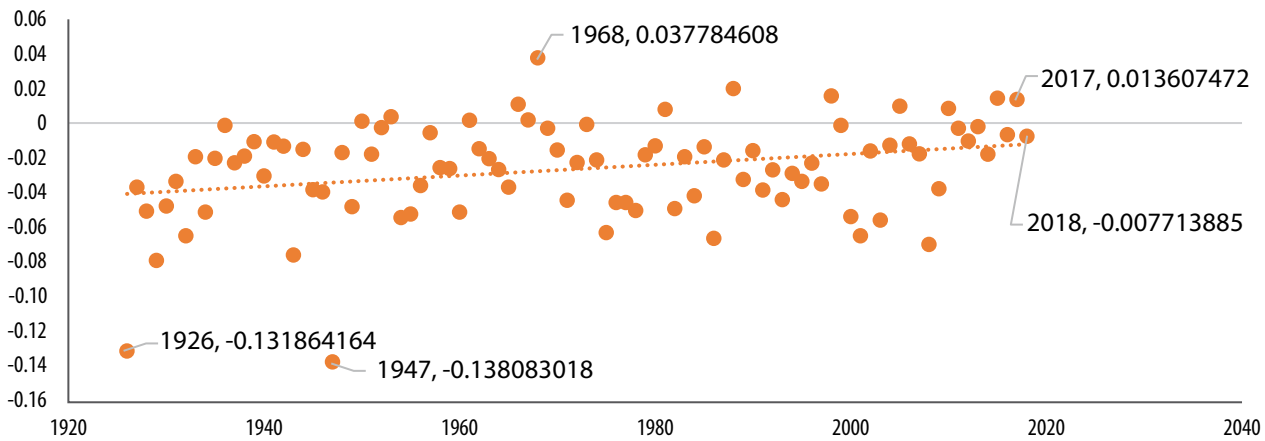
## Cambios por año del rango diario máximo de temperatura

## a) Temporada primavera-verano

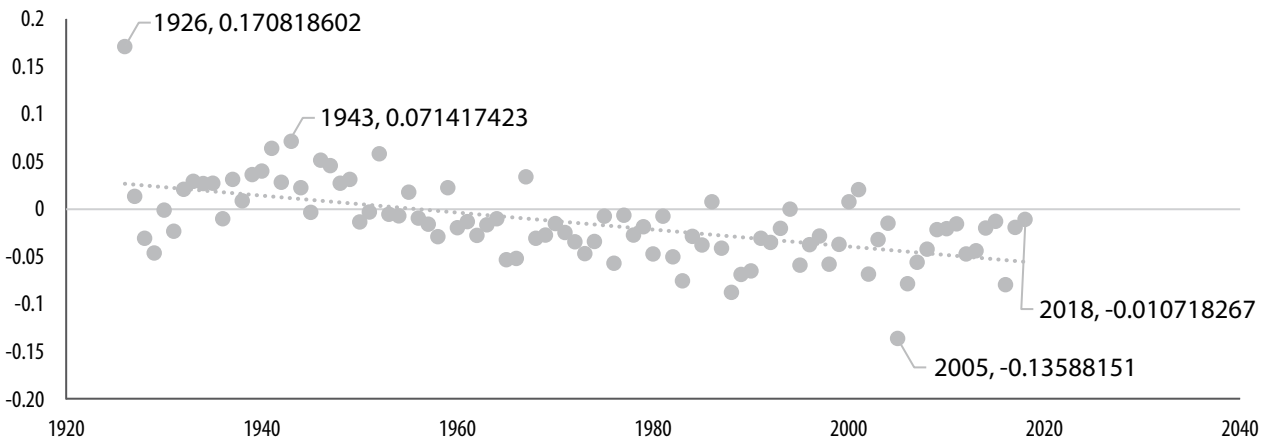


## Cambios por año del rango diario máximo de temperatura

## b) Trimestre marzo-mayo



## c) Trimestre junio-agosto



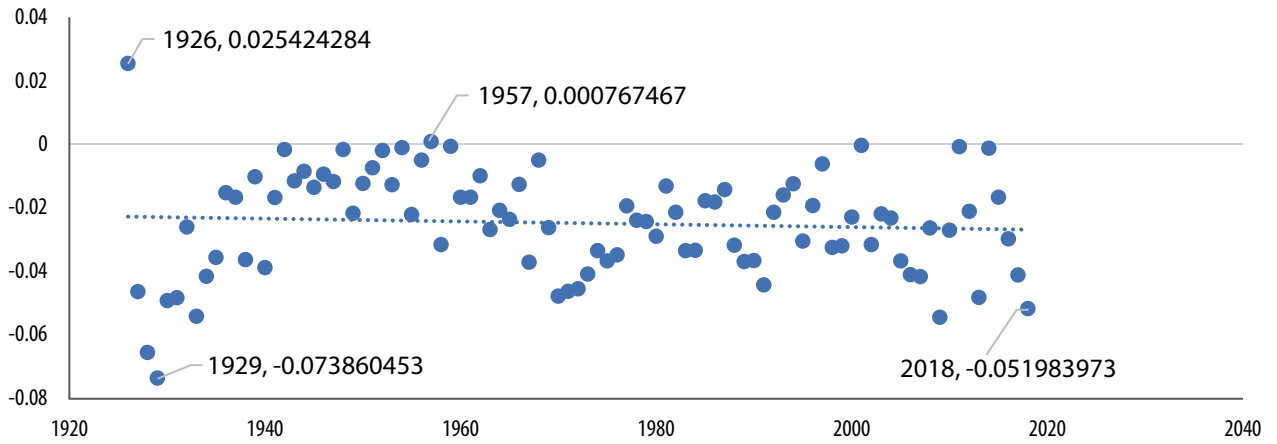
De 1980 al 2018, los  $\Delta T_{max}^d$  fueron 0.056 % (*m-m*), 0.019 % (*j-a*) y 0.031 % (*P-V*), respectivamente. En los últimos 40 años ha habido un cambio de signo en la tendencia de las pendientes correspondientes al segundo trimestre. De manera análoga, para los cambios en los rangos mínimos diarios de temperaturas ( $\Delta T_{min}^d$ ), de la gráfica A5a se encontró un comportamiento oscilatorio alrededor de la tendencia negativa más frecuente en los últimos años. En 1926 y 1929 ocurrieron los cambios más bruscos tanto positivos como negativos, en ese mismo orden: el primero en *j-a* y el segundo en *m-m*. En general, la tendencia en las pendientes anuales por

trimestres es positiva de *m-m* y negativas para *j-a* (ver gráficas A5b y A5c).  $\Delta T_{min}^d$  cambió en 0.034 % (*m-m*), -0.033 % (*j-a*) y -0.0044 % (*P-V*). De 1980 al 2018, fue 0.011 % (*m-m*), 0.042 % (*j-a*) y -0.019 %, respectivamente.

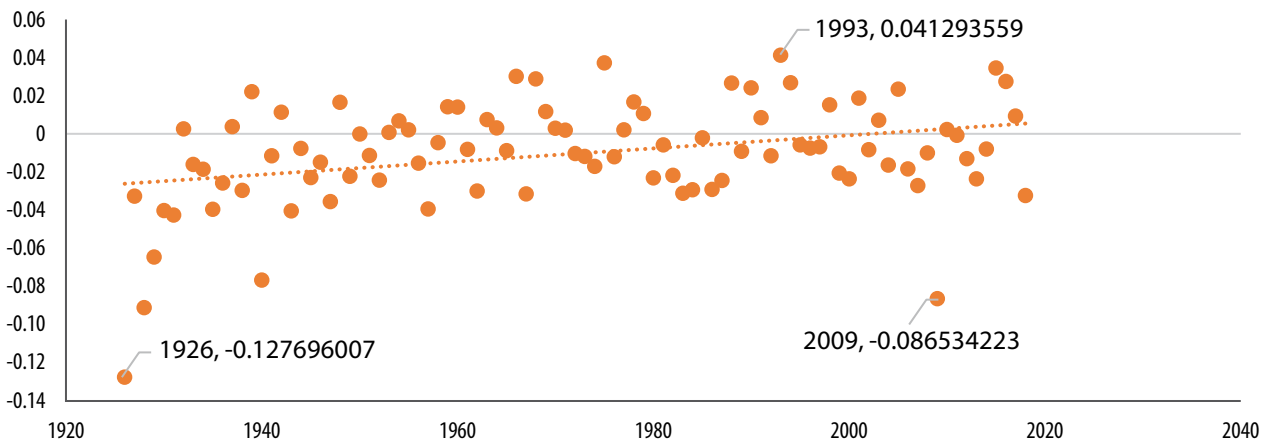
Nótese que en los últimos 40 años ha habido un cambio de signo en la tendencia de las pendientes correspondientes al segundo trimestre y una desaceleración en los cambios de los rangos de la temporada. Por lo tanto, los cambios en los  $\Delta T_{min}^d$  han ido desacelerándose en el segundo trimestre, caso contrario al del primer trimestre.

### Cambios por año del rango diario mínimo de temperatura

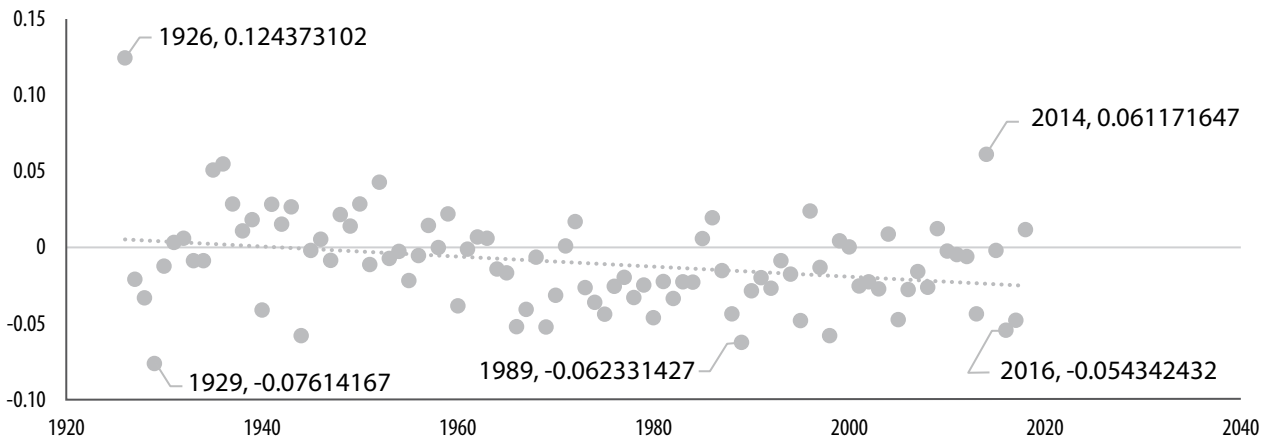
#### a) Temporada primavera-verano



#### b) Trimestre marzo-mayo



#### c) Trimestre junio-agosto



### A.1.2. Análisis espectral

Si se analizan a nivel local las temperaturas promedio diarias y promedios por periodo, se pierde la evidencia al *aplanar* la curva (ver gráfica A6a). Es por esta razón que se estudia el comportamiento de las temperaturas y precipitaciones máximas, mínimas, promedio y rangos diarios ajustando formas polinomiales o senoidales y, posteriormente, analizando los picos, su altura, ancho, frecuencia y periodo.

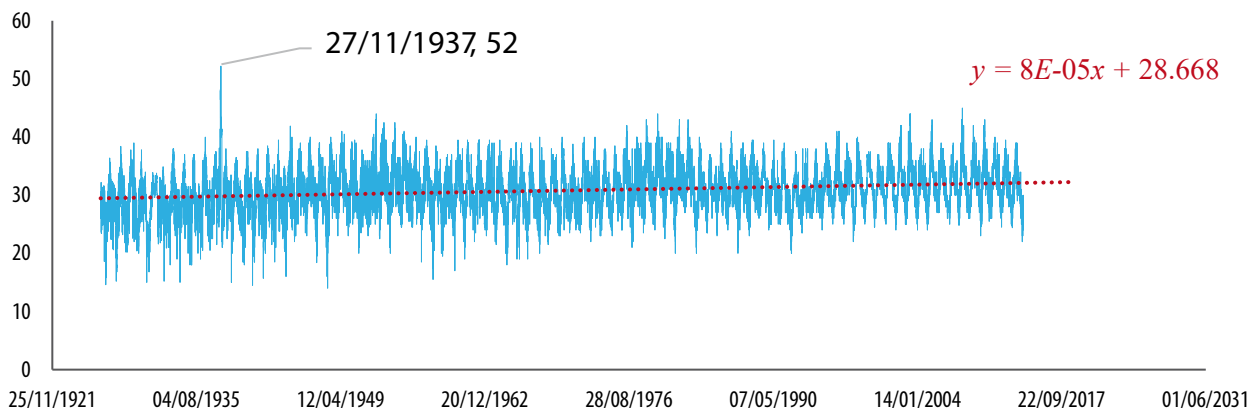
En un primer análisis se detectaron cambios en la  $T_{max}$  en el semiciclo de calentamiento global 1976-2007 con un acortamiento y ajuste 1976-1984-1994-2007 (calentamiento-enfriamiento-calentamiento),

como se puede ver en la gráfica A6b. Este evento parece ser consecuencia del accidente nuclear en Ciudad Juárez, Chih., y las corrientes jet en 1984 (SE, 1985). Esto es similar a lo ocurrido a nivel global en el semiciclo 1945-1976 con el desarrollo de pruebas nucleares y la consecuente liberación en grandes cantidades de  $CO_2$  (Kleiner K., 2008; Langenbrunner, 2020; Whitbread, 2008, entre otros.).

$T_{max}$  mostró un comportamiento senoidal (ver gráfica A6a). Como ya se mencionó, se decidió separar la información por temporadas para que coincidieran con los datos de cultivos: siembra, siniestro, cosecha, rendimiento, volumen de producción, etc. (SAGARPA, 2012).

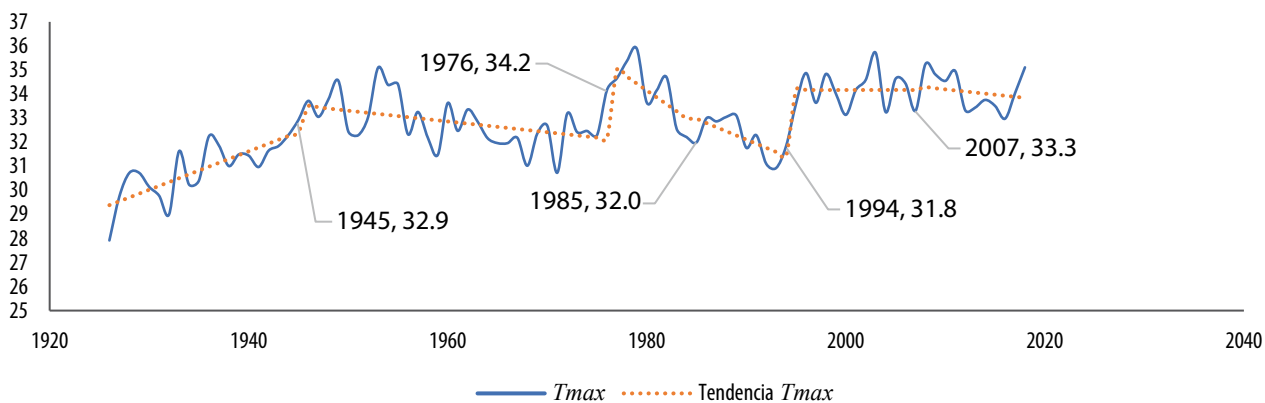
Gráfica A6a

#### Temperaturas máximas diarias (°C) de 1927-2018 del estado de Aguascalientes

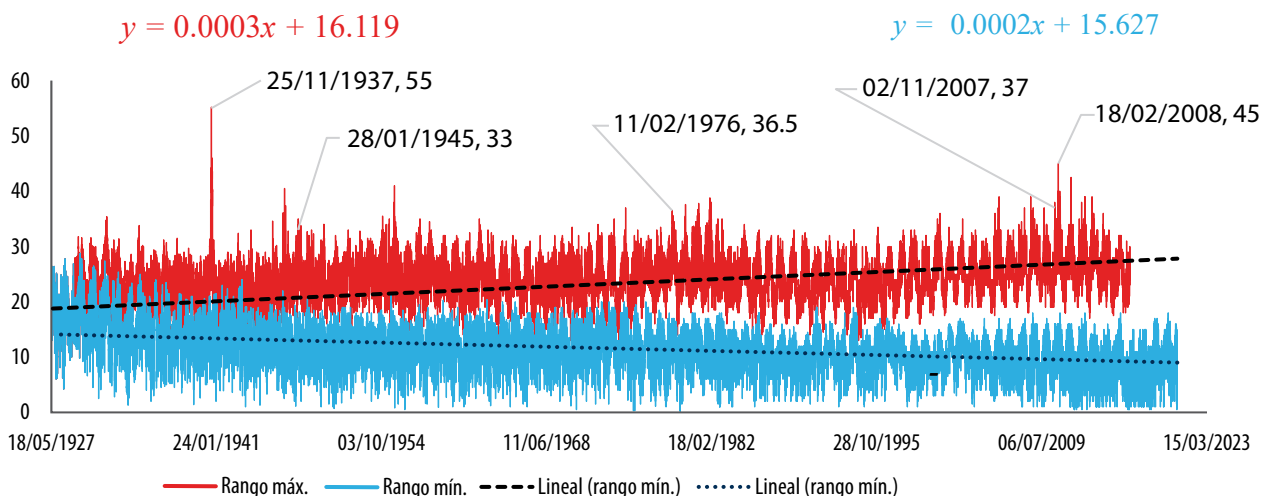


Gráfica A6b

#### Temperaturas máximas diarias (°C) donde en el semiciclo de calentamiento global 1976-2007 con un acortamiento y reajuste 1976-1984-1994-2007 (calentamiento-enfriamiento-calentamiento) en el estado de Aguascalientes



### Rangos diarios de temperatura (°C) de 1927-2018 del estado de Aguascalientes



De las gráficas A7, el  $\Delta T_{max}^d$  presenta una tendencia creciente, mientras que los  $\Delta T_{min}^d$  fueron decrecientes. El máximo rango histórico ocurrió el 25 de noviembre de 1937 registrando una diferencia de temperatura de 55 °C en el municipio de Pabellón de Arteaga, mientras que el mínimo (0.2 °C) ocurrió el 2 de octubre de 1976 en el de Jesús María (SMNM 2020). El  $\Delta T^d$  está directamente relacionado con la evapotranspiración ( $ET$ ) de los cultivos y de ella depende la medida del estrés hídrico ( $EH$ ) de la planta (disponibilidad de agua por debajo de los 1 700 m<sup>3</sup>/hab./año, SEMARNAT, 2003). La productividad del agua ( $m$ ) está relacionada con las  $ET$ . Es un indicador que expresa cómo se obtiene un kilogramo de materia seca aplicando un metro cúbico de agua (Montemayor *et al.*, 2015) o unidades equivalentes (Howell *et al.*, 1998; Margat, 1996).

La gráfica A8 muestra el comportamiento histórico de las precipitaciones máximas. Exhiben una ligera tendencia positiva. Profundizando el análisis de esta variable, se observó un corrimiento hacia inicios de marzo para el comienzo de la temporada de lluvias  $P-V$ , tendencia lineal histórica negativa (línea azul), como se puede observar en la gráfica

A9. Además, los ciclos calentamiento-enfriamiento se detectan en la intensidad de las lluvias (ver gráfica A11). La línea roja marca estos ciclos observando el cambio de pendiente de 2007 al 2018 correspondiente al semiciclo de enfriamiento (ver gráficas A9 y A10). De la A10 se observa la disminución en los últimos años de la intensidad en el semiciclo de enfriamiento. En la A11 se muestra el número de picos detectados de  $P$  por temporada  $P-V$ . Como se observa, la frecuencia cayó en los últimos años. Entre 1976 y el 2007 hubo un incremento mayor del que se presentó en el semiciclo de enfriamiento 1945-1976. La mayor contribución corresponde históricamente a los picos intermedios 6 al 10, y en el subciclo de calentamiento 1976-2007 se incrementaron las  $P$  respecto a los subciclos de enfriamiento (ver gráfica A12).

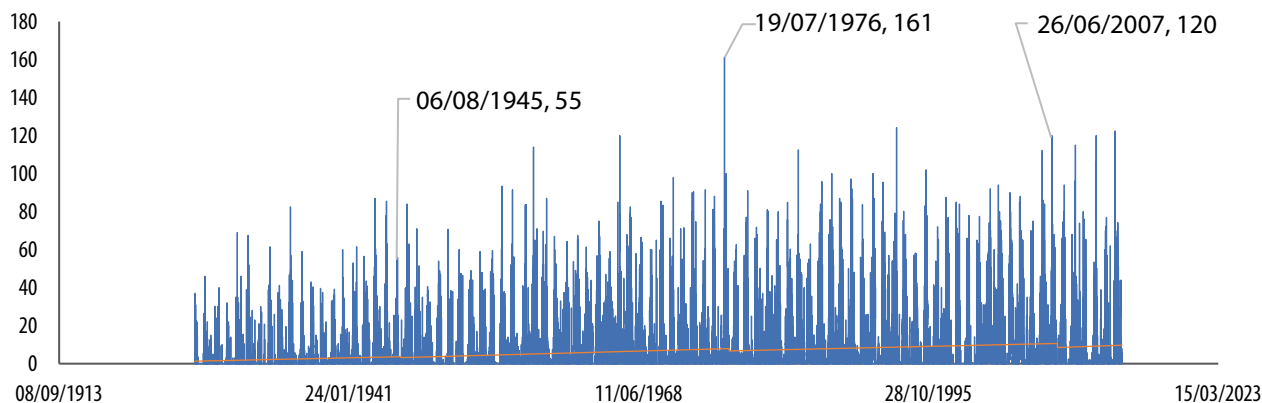
Respecto al ajuste mencionado del semiciclo 1976-2007, se observó un aumento de picos (frecuencia) de  $P$  entre 1984-1994, retomando la tendencia natural de 1994 a 2007. Este fenómeno se observa también de 1945 a 1967, donde se detonaron bombas nucleares. Además, en el semiciclo de enfriamiento, los efectos son menos notorios que en el de calentamiento (ver gráficas A10, A11

y A12). Por ello, esta intervención nuclear en el ciclo natural de calentamiento-enfriamiento global afecta a nivel regional. Los procesos nucleares causaron cambios tanto en los ciclos térmicos como en los del agua y, por lo tanto, del carbono.

Para esta investigación, se utilizaron los principios de las técnicas de análisis espectroscópico, que pueden ser consultadas en libros de texto del tema y los *softwares* OriginLab y FullProf (OriginLab, 2008; FullProf Suite, 2020).

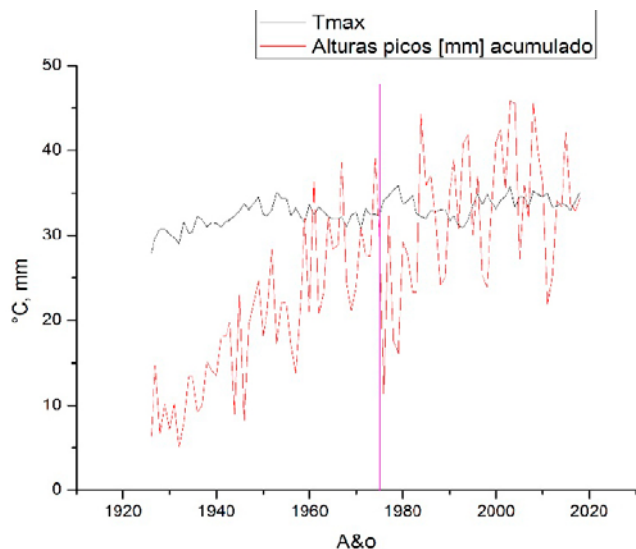
Gráfica A8

### Precipitaciones máximas diarias (mm) de 1927-2018 del estado de Aguascalientes



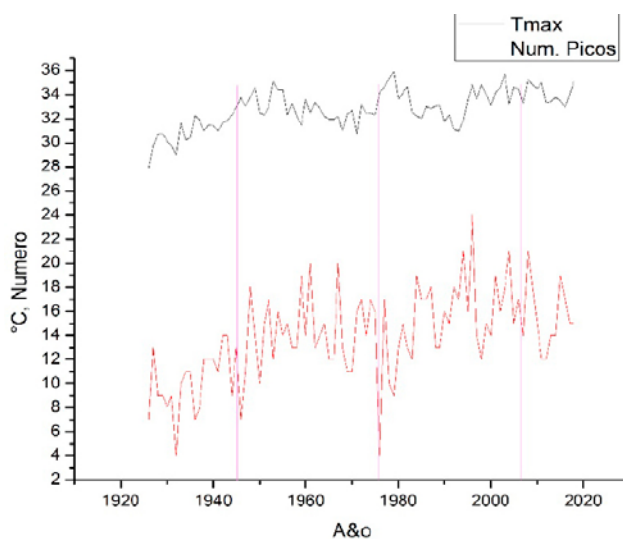
Gráfica A9

### Intensidad de lluvias durante la temporada primavera-verano de 1926-2018



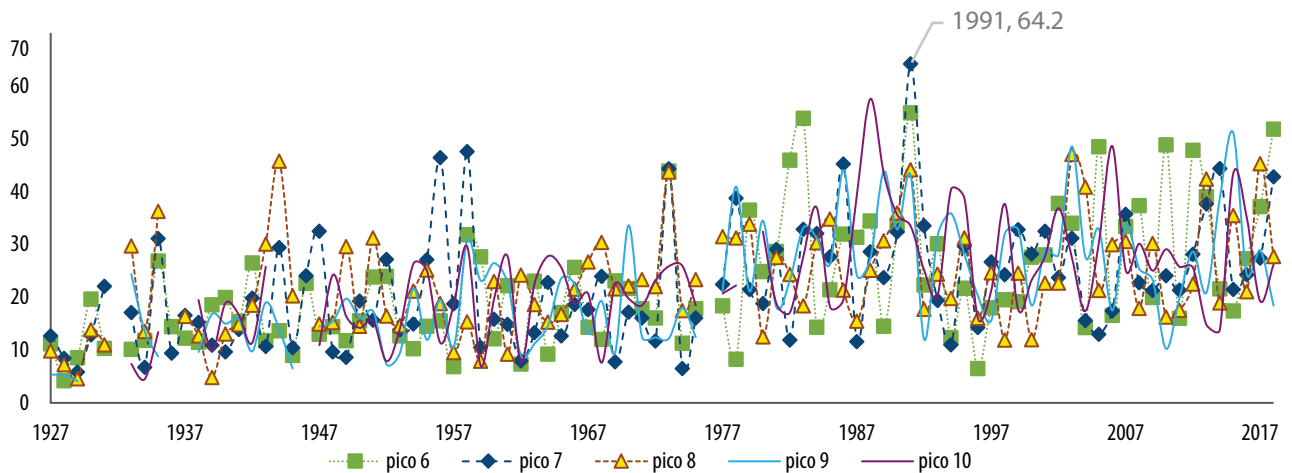
Gráfica A10

### Número de picos detectados de precipitaciones por temporada primavera-verano



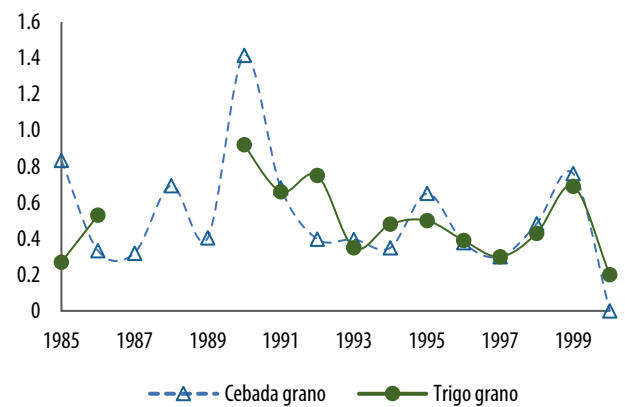
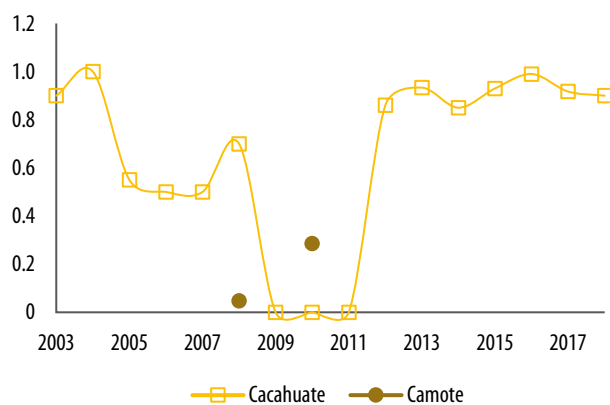
Gráfica A11

### Altura histórica de los picos 6 al 10 de precipitaciones (mm)



Gráficas A12

### Rendimientos de cacahuete, camote, cebada y trigo grano en el estado de Aguascalientes 1980-2018



#### A.2. Estrés hídrico

Recordando:

$K_y > 1$ : la respuesta del cultivo es muy sensible al déficit hídrico.

$K_y < 1$ : el cultivo es más tolerante al déficit hídrico y se recupera parcialmente del estrés.

$K_y = 1$ : la reducción del rendimiento es directamente proporcional al uso reducido de agua (ver cuadro 1A).

De la sección A.3:

- *Trigo grano*: no se cultivó de 1992-1998. Muestra gran sensibilidad a la disposición de agua de 1998-1999. Se dejó de producir en el 2001.
- *Cebada grano*: a partir del 2001 ya no se cultivó de temporal *P-V*. En el 2000 se siniestró 100 por ciento. Del 2002 al 2004 se probó con cebada forrajera. Se dejó de sembrar a partir del 2005. De julio-agosto del 2009 al 2011 se presentó precipitación escasa comparada con los otros años, esto significa desequilibrio en la *ET*.



Cuadro 1A

 **$K_y$  factor de respuesta de rendimiento del cultivo bajo estrés hídrico**

Año	Cacahuate	Camote	Año	Trigo grano	Cebada grano
2003	s/e		1985		1.08
2004	s/e		1986	1.73	1.21
2005	s/e		1987		2.21
2006	s/e		1988		0.02
2007	s/e		1989		0.33
2008	s/e	s/e	1990	0.20	0.23
2009	0		1991	0.88	0.31
2010	0	s/e	1992		s/e
2011	0		1993		s/e
2012	s/e		1994		s/e
2013	s/e		1995		s/e
2014	s/e		1996		s/e
2015	s/e		1997		0.12
2016	s/e		1998	1.21	s/e
2017	s/e		1999	2.33	1.90
2018	s/e		2000		0
2019 medido	s/e	N/A	2001	0.04	
2019 <sup>†</sup> modelado	s/e	s/e	2019 <sup>†</sup> modelado	0.96 ± 0.13	s/e
2030 <sup>†</sup>	s/e óptimo 0 catastrófico	s/e óptimo 0 catastrófico	2030 <sup>†</sup>	1.45 óptimo 2.16 catastrófico	0.61 óptimo 2.67 catastrófico

<sup>†</sup> Aplicando modelo con ecuaciones de la sección A.4.

**Nota:** s/e sin estrés hídrico y N/A no aplica.

### A.3. Uso del agua y productividad

Se calcularon  $m$  y  $b$  para otros cultivos (ver cuadro 2A). El camote es de temporada otoño-invierno,

por eso se dejó de cultivar. La cebada grano se produce en mejores condiciones en temporada otoño-invierno con riego, al igual que el trigo grano.

Cuadro 2A

### Productividad del agua ( $m$ ) y evaporación media del suelo ( $b$ ) con supuesto estrés hídrico

Parámetros con EH	Cacahuate*	Camote*	Cebada grano	Trigo grano
$m$ (kg/ha/mm)	6.748	9.706	3.924	9.822 (10-22 <sup>9</sup> )
$b$ (mm)	4 865.36	7 546.65	3 300.13	3 480.27 (200-500 <sup>9</sup> )
$Y$ (kg/ha)	658.155 (500-1 500 <sup>9</sup> )	166.667 (8 000-17 500 <sup>9</sup> )	524.643 (1 000-2 400 <sup>9</sup> )	491.875 (1 000-3 000 <sup>9</sup> )

\* Comparando con otros lugares no presenta EH. Se calcula con base en los rendimientos reportados.

La <sup>9</sup> denota el valor promedio mundial de la temporada y clima árido-semiárido.

#### A.4. Modelos complementarios para cuatro cultivos

$$\Delta Y_{cebada\ grano}(t) = -0.3877Tmax(t) + 0.7288\bar{P}(t) \quad (A5)$$

(0.0525)                      (0.0359) ...

Sean:

$Y_{cultivo}(t)$  es el rendimiento del cultivo.  
 $\Delta Y_{cultivo}(t)$ , la diferencia entre periodos del rendimiento del cultivo.

$Tmin(t)$ , la temperatura mínima.

$Tmax(t)$ , la temperatura máxima.

$\Delta T_{min}^d$ , el rango de temperatura mínima diaria.

$\Delta T_{max}^d$ , el rango de temperatura máxima diaria.

$Pmin(t)$ , la precipitación mínima.

$Pmax(t)$ , la precipitación máxima.

$\bar{P}(t)$ , la precipitación promedio.

$CO_2(t)$  son las emisiones de dióxido de carbono.

$Factores(t)$  son mecanismos de apoyo para mejorar el rendimiento del cultivo.

$$Y_{cebada\ grano}(t) = -0.064\Delta T_{min}^d(t) + 0.077Pmax(t) + 0.003Factores(t) \quad (A6)$$

(0.0393)                      (0.0137)                      (0.0135) ...

$$Y_{trigo\ grano}(t) = -0.09Tmax(t) + 0.14Latitud(t) + 0.01Factores(t) \quad (A7)$$

(0.0016)                      (0.0012)                      (0.0000) ...

$$Y_{cacahuete}(t) = 0.320\bar{P}(t) - 0.006Altitud(t) + 0.53Latitud(t) \quad (A1)$$

(0.0668)                      (0.0041)                      (0.0033) ...

$$Y_{cacahuete}(t) = 0.0217Pmax(t) + 0.0923Factores(t) \quad (A2)$$

(0.0069)                      (0.0025) ...

$$\Delta Y_{camote}(t) = -1.11\Delta T_{min}^d(t) + 2.75\bar{P}(t) - 0.009Altitud(t) + 1.89Factores(t) \quad (A3)$$

(0.0077)                      (0.0298)                      (0.0003)                      (0.0003) ...

$$Y_{camote\ camote}(t) = 3.99\Delta T_{max}^d(t) + Pmax(t) - 0.06Altitud(t) \quad (A4)$$

(0.0118)                      (0.0190)                      (0.0094) ...

En el caso del cacahuete, su óptimo crecimiento depende de su ubicación. De manera directa con la latitud e inversa con la altitud, ecuación (A1). Al utilizar factores de apoyo, solo dependería de la disponibilidad de agua, ecuación (A2).

De manera similar, el cultivo del camote depende inversamente de la altitud donde se encuentre la parcela y de manera directa de la disponibilidad de agua y del rango de temperatura sometida a la planta al día. Al introducir factores de apoyo, disminuye de forma drástica el efecto de dichas variables, aunque la dependencia con el agua aumenta más del doble. Por eso, este cultivo pasó a ser de riego (Lardizábal, 2003), ecuaciones (A3) y (A4).

De (A5) y (A6), la cebada grano también depende, sobre todo, del suministro de agua y de la variación diaria de temperatura establecida por la temperatura máxima. El impacto de estas dos condiciones es disminuido drásticamente con el uso de los *factores* de apoyo en un orden de magnitud. La temperatura tiene un efecto inverso sobre la planta, mientras que la precipitación siempre es directa y positiva.

De la ecuación (A7), el trigo grano dependió de la latitud y de los *factores* de manera directa e inversamente de *Tmax*. El trigo tipo Sonora es una

especie fuerte y adaptable a diversos climas (Abrol *et al.*, 1996). Caso contrario es el trigo de sudamérica, donde depende de las precipitaciones de la temporada (Natali *et al.*, 2007). El triticale se introdujo en la Comarca Lagunera en vez de la cebada y el trigo forrajeros porque es más resistente y adaptable (SIAP, 2019). Como todos, dependieron directamente de  $P$  y  $factores$ . El cacahuate no presentó siniestro por  $EH$ .

## Casos de éxito y fracaso

La  $ET$  acumulada ( $ET^{ac}$ ) total de los cultivos de trigo generalmente varía de 200 a 500 mm, aunque puede ser menor en áreas semiáridas no irrigadas y alcanzar 600-800 mm bajo riego intenso.

En el caso de Aguascalientes, la última siembra de trigo grano fue en el 2001 con un valor de  $ET$  de 114.73 mm con una  $K_y$  de 1.54 que está por arriba de los valores de la FAO (1.15) y de la IAEA (1.32); para el periodo 1980-2001, la productividad del agua en términos de transpiración fue de 0.1018 kg/ha/mm (0.01018 kg/m<sup>3</sup>) con  $K_y$  promedio de 1.101923914, por lo que el  $EH$  iba en aumento; la FAO (1990) reportó la eficiencia máxima del trigo grano en  $\sim 2.2$  kg/m<sup>3</sup>; esta puede ser la razón por la que se dejó de sembrar en la entidad. En contraste, del 2003 al 2018, el cacahuate fue el único que no presentó  $EH$  con  $ET^{ac}$  entre 181 y 445 mm, y productividad de 6.748 kg/ha/mm; la evaporación acumulativa del suelo es de 1.48 milímetros.

El cacahuate, para mejorar su rendimiento, cambió a la modalidad de riego y de lugar de siembra (SAGARPA, 2020a). De campesinos experimentados se averiguó que la planta depende de la inclinación del suelo, 0-5° a más de 1 000 m s. n. m., y suministro de agua constante, ya que crece bajo la tierra y requiere de humedad todo el tiempo (SAGARPA, 2020b).

En el caso del trigo grano, el rendimiento es muy bajo en comparación al mundial (ver cuadro 2A), por lo que el clima no es el idóneo para su cultivo (Butt *et al.*, 2005); el más apropiado para cultivar-

lo es templado con lluvias entre los 500-800 mm anuales (Steduto 2012).

Se calcularon los indicadores de autosustentación: tasa de crecimiento de la población, 2.2 % (INEGI, 2015) y emisiones de CO<sub>2</sub> de la industria manufacturera, 5.5 % (RETC, 2020; Ledesma-Carrión *et al.*, 2020). En la región, estas últimas fueron estadísticamente no significativas en los modelos prototipos, aunque se integran al sistema mundial contribuyendo al aumento de  $T$  esperada. Además, tasa de  $Y$ : cacahuate (3.2 %), camote (0.53 %), cebada grano (0.03 %) y trigo grano (0.01 %). Estas son tasas para cultivos de temporal primavera-verano, por lo que solo el cacahuate contribuiría a las sustentabilidad de la región mientras se sigan dispersando las emisiones de CO<sub>2</sub> fácilmente.

## Fuentes

- Abrol, Y. P. & K. T. Ingram. "Effects of higher day and night temperatures on growth and yields of some crop plants", en: Bazzaz F. y W. Sombroek (Eds.). *Book Global climate change and agricultural production: direct and indirect effects of changing hydrological, pedological and plant physiological processes*. Wiley, West Sussex, 1996, pp.123-140.
- Butt, T. A., B. A. McCarl, J. Angerer, P. T. Dyke y J. W. Stuth. "The economic and food security implications of climate change in Mali", en: *Climate Change*. Vol. 68. Springer, 2005, pp. 355-378.
- FAO. "Evapotranspiración del cultivo. Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos"; en: *Estudio FAO riego y drenaje*. 56, 1990, ISSN 0254-5293.
- FullProf Suite. Software libre para análisis espectroscópico y Manual del usuario. 2020 (DE) consultado el 3 de marzo de 2020 en: <https://www.ill.eu/sites/fullprof/>
- García, E. *Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen*. México, D. F., Instituto de Geografía, UNAM, 1973, p. 217 (DE) consultado el 5 enero de 2020 en: <http://www.publicaciones.igg.unam.mx/index.php/ig/catalog/book/83>
- INEGI. *Cuéntame... de México. Territorio*. 2020 (DE) consultado el 20 de junio del 2020 en: <http://cuentame.inegi.org.mx/monografias/informacion/ags/territorio/clima.aspx?tema=me&e=01>
- Kleiner, K. "Nuclear energy: assessing the emissions", en: *Nature Reports*. Vol. 2, October, 2008, pp. 130-131.
- Langenbrunner, B. "The pattern effect and climate sensitivity", en: *Nat. Clim. Chang.* 10, 2020, p. 977 (DE) consultado el 30 de octubre de 2020 en: <https://doi.org/10.1038/s41558-020-00946-y>

- Lardizábal, R. *Manual de producción de camote*. Honduras, Centro de Desarrollo de Agronegocios, Fintrac CDA., 2003. Revisiones 2007, 2015 y 2019 (DE) consultado el 12 de junio de 2020 en: <https://es.scribd.com/document/420473271/Manual-de-Produccion-de-Camote>.
- Ledesma-Carrión, D. E., A. Pérez-Hernández & L. Hernández-Hernández. "Status of the emission and transfer of pollutants in a medium-sized region", en: *SN Applied Sciences*. 2:710, 2020 (DE) consultado el 5 de abril de 2020 en: <https://doi.org/10.1007/s42452-020-2437-5>.
- Montemayor, T. J. A., M. A. Segura-Castruita, J. Munguía-López & J. L. Woo-Reza. "Productividad del agua en el cultivo de triticale (*X. Triticosecale* Wittmack) en la Comarca Lagunera de Coahuila, México", en: *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. Vol. 6 Núm. 7, 28 de septiembre-11 de noviembre, 2015, pp. 1533-1541.
- Margat, J. "Les ressources en eau: conception, évaluation, cartographie, compatibilité", en: *Manuels & Méthodes*. N° 28. FAO/BRGM. Orleans, France, Editions BRGM, 1996.
- Natali, C. N., F. Pacín y F. Gutiérrez-Boem. "Factores que afectan el rendimiento de trigo en el centro sur de Santa Fé", en: International Plant Nutrition Institute (IPNI). *Informaciones agronómicas del cono sur*, No. 34, 2007, pp 20- 24 (DE) consultado el 6 de julio de 2020 en: <http://mca.ipni.net/>
- OriginLAB. *Software ver. 8.0*. 2020 (DE) consultado el 4 de abril de 2020 en: <https://my.originlab.com/forum/default.asp> y <https://www.originlab.com/fileExchange/details.aspx?fid=524>
- Prakash Niraj. "Effect of Climate Variables on Yield of Major Food-Crops in Nepal: A Time-Series Analysis", en: *Journal of Contemporary India Studies: Space and Society*. Vol. 1, 2011, pp. 19-26 (DE) consultado el 9 de febrero de 2020 en: [https://ir.lib.hiroshima-u.ac.jp/en/list/HU\\_journals/hindas/--/1/item/31425](https://ir.lib.hiroshima-u.ac.jp/en/list/HU_journals/hindas/--/1/item/31425)
- RETC. *Registro de emisiones y transferencia de contaminantes*. 2020 (DE) consultado el 20 de junio 2020 en: <https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/retc/retc/index.php>
- SAGARPA. "Atlas Agropecuario y Pesquero Información del Sector Agroalimentario 2012"; en: *Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP)*. 2012 (DE) consultado el 3 de abril de 2020 en: [www.siap.gob.mx](http://www.siap.gob.mx)
- \_\_\_\_\_. *SIAP*. 2020a (DE) consultado el 7 de febrero de 2020 en: <https://www.gob.mx/siap/acciones-y-programas/informacion-geoespacial-32571>
- \_\_\_\_\_. *SIAP/Servicios de información agroalimentaria y pesquera*. 2020b (DE) consultado el 8 de febrero de 2020 en: <https://www.gob.mx/siap/documentos/tecnificacion> y [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/92738/Cuadros\\_tabulares\\_2014.compressed.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/92738/Cuadros_tabulares_2014.compressed.pdf)
- Secretaría de Energía (SE). *Accidente por contaminación con cobalto-60 México1984*. Secretaría de Energía, Minas e Industria Paraestatal, Comisión Nacional de Seguridad Nuclear y Salvaguardas, Gobierno de México, 1985 (DE) consultado el 4 de septiembre de 2020 en: [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/516624/Accidente\\_Co60\\_1984.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/516624/Accidente_Co60_1984.pdf)
- SEMARNAT. *Informe de la situación del medio ambiente en México*. 2003 (DE) consultado el 7 de julio de 2020 en: [http://www.paot.org.mx/centro/in-semarnat/informe02/estadisticas\\_2000/informe\\_2000/04\\_Agua/4.4\\_Disponibilidad/index.htm#:~:text=Una%20disponibilidad%20por%20debajo%20de,es%20el%20caso%20de%20M%C3%A9xico](http://www.paot.org.mx/centro/in-semarnat/informe02/estadisticas_2000/informe_2000/04_Agua/4.4_Disponibilidad/index.htm#:~:text=Una%20disponibilidad%20por%20debajo%20de,es%20el%20caso%20de%20M%C3%A9xico)
- SIAP. *Datos cultivos y factores*. 2019 (DE) consultado el 16 de septiembre de 2020 en: <https://www.gob.mx/siap/acciones-y-programas/produccion-agricola-33119>
- Sistema Meteorológico Nacional de México (SMNM). *Datos*. 2020 (DE) consultado el 10 de marzo de 2020 en: <https://smn.conagua.gob.mx/es/climatologia/informacion-climatologica/informacion-estadistica-climatologica>
- Steduto, P., T. C. Hsiao, E. Fereres & D. Raes. "Crop yield response to water", en: *Irrigation and drainage paper 66*. Rome, Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2012. ISSN 0254-5284. ISBN 978-92-5-107274-5.
- Whitbread, A. and J., Hancock. "Estimating grain yield with the French and Schultz approaches Vs simulating attainable yield with APSIM on the Eyre Peninsula", en: Unkovich M. J. (ed.). *Global Issues Paddock Action. Proceedings of the 14th Australian Agronomy Conference*. September. Adelaide South Australia, Australian Society of Agronomy ([www.agronomy.org.au](http://www.agronomy.org.au)), 2008 (DE) consultado el 26 de octubre de 2020 en: [https://www.researchgate.net/publication/242249403\\_Estimating\\_grain\\_yield\\_with\\_the\\_French\\_and\\_Schultz\\_approaches\\_Vs\\_simulating\\_attainable\\_yield\\_with\\_APSIM\\_on\\_the\\_Eyre\\_Peninsula/link/55c0353f08aed621de13a861/download](https://www.researchgate.net/publication/242249403_Estimating_grain_yield_with_the_French_and_Schultz_approaches_Vs_simulating_attainable_yield_with_APSIM_on_the_Eyre_Peninsula/link/55c0353f08aed621de13a861/download)

# *Inventario de pasivos ambientales mineros* **del estado de Hidalgo**

## *Mining Environmental Liabilities Inventory* **of State of Hidalgo**

**Rafael Gutiérrez Aguilar, Eduardo Flores Campos, Alberto Peralta Cruz, Fernando Gayosso Pérez, Alfredo Tapia Téllez, Eliud Donaldo Vite Ortega, Rosa Elvira Acosta Ramos y Karla Salgado Becerril**

México cuenta con base de datos de minas, información de utilidad para identificar sitios con características de los pasivos ambientales mineros (PAM). El objetivo de este trabajo es elaborar un inventario de estos del estado de Hidalgo, México, con una metodología basada en experiencias de otros países, evaluando los riesgos para el ser humano, la infraestructura y los recursos naturales. Se usó información digital y cartográfica del Servicio Geológico Mexicano, así como de los sitios encontrados en los recorridos de campo. Se visitaron 1 061 sitios; se conjuntaron cuatro de ellos (debido a su cercanía a otros) y se identificaron 751 como PAM; los 306 restantes presentaron características diferentes; del listado total, 236 corresponden a minerales metálicos y 515, a no metálicos. Resultado de la evaluación, se determinaron 582 PAM con riesgo alto en relación con la salud humana; para infraestructura, 147; y para los recursos naturales, 487.

**Palabras clave:** minería; medio ambiente; mina abandonada o inactiva.

Mexico has a database of mines with useful information to identify sites with characteristics of mining environmental liabilities (PAM in Spanish). The objective of this work is to elaborate an inventory of these sites in the state of Hidalgo, Mexico, with a methodology based on experiences in other countries, evaluating the risks to humans, infrastructure, and natural resources. Digital and cartographic information from the Mexican Geological Service was used, as well as information from the sites found during field visits. A total of 1,061 sites were visited; four of them were combined (due to their proximity to others) and 751 were identified as PAM; the remaining 306 had different characteristics; of the total list, 236 correspond to metallic minerals and 515 to non-metallic minerals. As a result of the evaluation, 582 PAMs were identified with high risk in relation to human health; for infrastructure, 147; and for natural resources, 487.

**Key words:** mining; environment; orphaned/abandoned mine.

Recibido: 23 de noviembre 2020

Aceptado: 8 de abril de 2021

\* Servicio Geológico Mexicano, rafaelgutierrez@sgm.gob.mx, eduardoflores@sgm.gob.mx, albertoperalta@sgm.gob.mx, fernandogayosso@sgm.gob.mx, alfredotapia@sgm.gob.mx, eliudvite@sgm.gob.mx, rosaacosta@sgm.gob.mx y karlasalgado@sgm.gob.mx, respectivamente.



Vista al exterior/Rafael Gutiérrez Aguilár

## Introducción

La problemática de la minería abandonada en países con una tradición minera ha tomado importancia desde la década de los 80 del siglo pasado. Como consecuencia, parece que lo más habitual en la experiencia internacional es que ciertos organismos de la administración pública emprendan planes de acción sobre este problema a nivel regional o nacional, y que la primera de las medidas sea la realización de un inventario, al que simultánea o posteriormente acompañe una evaluación de riesgos con el objetivo de tener una jerarquía de prioridades de actuación.

La historia de la minería en México se remonta a la época prehispánica, cuando se extraían metales nativos (como oro, plata, cobre y estaño) que eran

empleados para elaborar objetos de adorno personal o para el culto religioso. Además de beneficiar sal, se conocían y usaban piedras semipreciosas, como el jade, la obsidiana y el ópalo, ya fuera en forma de adornos o herramientas (Coll *et al.*, 2002). Con la llegada de los españoles y posterior colonización, la fundación de diversas ciudades se dio a partir de la actividad minera, sobre todo en sitios con presencia de metales preciosos como el oro y la plata.

A través de los años, el desarrollo de las tecnologías ha tenido impacto en el modo de extracción de los minerales, que se refiere a la movilización de materiales del yacimiento, y del proceso de beneficio de estos. Hoy en día, los procedimientos son más eficientes en la separación y obtención de los minerales de interés económico, sin embargo, esto

ha sido gracias a la utilización de sustancias con potencial de contaminación al medio ambiente y en perjuicio de la salud humana; como ejemplo, se puede mencionar el mercurio, que se usa para la amalgamación en frío y que se comenzó a utilizar en las minas de Pachuca en 1555; actualmente, se emplean otros medios, como cianuración, flotación y lixiviación.

De acuerdo con la Asociación de Servicios de Geología y Minería Iberoamericanos (ASGMI), los pasivos ambientales mineros (PAM) comprenden las instalaciones, edificaciones, superficies afectadas por vertidos, depósitos de residuos mineros, tramos de cauces perturbados, áreas de talleres y lotes de maquinaria o de mineral que, estando en la actualidad en entornos de minas abandonadas o inactivas, constituyen un riesgo potencial permanente para la salud y seguridad de la población, la biodiversidad y el medio ambiente (ASGMI, 2010).

Considerando que la historia minera en México se registra a partir de mediados del siglo XVI, los pasivos ambientales derivados de esta actividad se encuentran en muchos lugares del país; por ejemplo, el estado de Hidalgo, que cuenta con ciudades fundadas a partir de la minería; tal es el caso de Pachuca, Real del Monte y Zimapán, entre otras. Esta actividad sigue presente en la entidad con una participación a nivel nacional de 94.49 % en manganeso, 3.74 % en zinc, 2.83 % en plomo, 1.6 % en plata y con menos de 1 % en cobre y oro, cada uno (SGM, 2019).

México no cuenta con un registro de PAM en el que se ubique e identifique la situación en que se encuentra cada uno de ellos; asimismo, no se tiene una metodología con la cual se puedan caracterizar y determinar si corresponden a un riesgo para el medio ambiente y/o la salud humana, información que se considera necesaria a nivel nacional y que sea abierta al público.

Existen estudios específicos que proponen estrategias, tal es el caso de identificación de jales con potencial de riesgo ambiental desarrollado en el estado de Guanajuato (Ramos-Arroyo y Sie-

be-Grabach, 2006); en él se identifican las características que controlan la distribución de elementos con potencial tóxico (origen geológico y clasificación textural) y la acidificación (origen geológico y la presencia de humedad).

Osuna-Martínez *et al.* (2021) revisaron diversas investigaciones en relación con el arsénico y encontraron que, para el estado de Hidalgo, se presentan concentraciones altas en 21 sitios. Un estudio desarrollado en el municipio hidalguense de Molango concluye que la población que vive cerca de la mina y la planta de procesamiento de manganeso presentan una incipiente alteración motora (Rodríguez-Agudelo *et al.*, 2006).

El objetivo del presente trabajo fue realizar un registro de PAM abandonados e inactivos, así como evaluar las posibles afectaciones a los ecosistemas y asentamientos humanos adyacentes en Hidalgo; se basa en un formato de registro denominado *ficha de campo* y una metodología de evaluación de riesgo sustentada en las experiencias de otras naciones que sean aplicables a las condiciones del país y ayuden a categorizar las problemáticas que pudieran presentar estos pasivos ambientales.

## Metodología

Se divide en cuatro fases.

### Identificación y ubicación preliminar de las minas abandonadas e inactivas

En primera instancia, se consultó la base de datos digital de minas de Hidalgo del Servicio Geológico Mexicano (SGM); se obtuvo información del estado que estas guardan, es decir, las que se encuentran abandonadas o inactivas (de acuerdo con la definición de PAM) de interés para esta investigación.

Asimismo, se realizó una revisión exhaustiva del acervo bibliográfico del SGM, dándole prioridad a dos informes técnicos, 23 cartas geológico-mineras (CGM) escala 1:50 000 y el *Panorama minero del*

*estado de Hidalgo* que contienen información valiosa y útil referente a la identificación y ubicación de minas abandonadas e inactivas.

Finalmente, durante la verificación en campo (con datos proporcionados por las autoridades locales y los habitantes de las regiones, mediante entrevistas personales), se complementó la base de datos.

## Recolección de datos en campo

Con base en el listado preliminar de PAM, se realizó la verificación *in situ* donde, en cada visita, se recabó información mediante una ficha que permitió realizar la evaluación del riesgo (ver Anexo).

Considerando como base la ficha de campo del Manual para el inventario de minas abandonadas o paralizadas de la ASGMI (2010) y del Servicio Nacional de Geología y Minería de Chile (SERNAGEOMIN, 2007), se realizaron las adaptaciones correspondientes para poderla utilizar en el proyecto que ahora nos ocupa.

Para efectos de diagnóstico, la ficha considera los siguientes aspectos:

- Identificación de la mina. Nombre, ubicación geográfica y en qué carta topográfica se encuentra, así como su accesibilidad.
- Tipo de minería. Metálica o no metálica; registra tipo de mineral o roca producido.
- Características de la mina. Describe el estado en que se encuentra, si es subterránea o a cielo abierto, dimensiones, actividades al interior o exterior.
- Características de la planta. Registra instalaciones existentes y el proceso o procesos de la planta de tratamiento.
- Depósito de residuos. Ubica y describe la existencia de depósitos, tipo y dimensiones.
- Sustancias peligrosas utilizadas. Identifica sustancias mediante antecedente del proceso minero o de manera visual *in situ*.
- Situación del entorno. Registra los elementos naturales y artificiales existentes.

- Situación del agua. Describe características hídricas en el entorno cercano.
- Análisis preliminar de riesgos. Evalúa la probabilidad y severidad para 17 componentes de acuerdo con la metodología descrita en la evaluación del riesgo.
- Certeza de contaminación. Identifica contaminación existente de manera visual y con ayuda de equipos de análisis en campo para agua, suelo, jal y residuos mineros.
- Evaluación especial. De acuerdo con las características encontradas en el PAM, sugiere algún tipo de estudio específico que ayude en un futuro a determinar las acciones de intervención para disminuir o mitigar el riesgo existente.

## Evaluación del riesgo

Con base en lo descrito por Alberruche del Campo *et al.* (2013), el riesgo se define como la medida combinada de la probabilidad de que ocurra un suceso o evento y de sus consecuencias negativas. En el campo de la salud y del medio ambiente, se identifica como la probabilidad de que un individuo o una población presenten una mayor incidencia de efectos adversos por exposición a un peligro.

La evaluación de riesgos es un proceso formalmente estructurado que busca establecer prioridades de control o actuación y, en especial, reconocer aquellos que pudieran considerarse como puntos críticos (Alberruche del Campo *et al.*, 2013). Para el análisis de riesgos, se utilizará toda la información recabada en campo mediante las fichas.

El riesgo está en función de la probabilidad de ocurrencia del evento, suceso o proceso indeseable considerado y de la severidad que puede esperarse ante la ocurrencia del mismo.

Cuando se habla de un evento (generado por pasivos ambientales), podrá implicar efectos dañinos a la salud humana o animal y al entorno. Es por esto que se clasificarán en cuatro categorías y 17 componentes específicos con base en lo establecido por la ASGMI (2010) y el SERNAGEOMIN (2007):



a) Contaminación:

- Del agua. Se determina por medio del análisis químico de muestras de agua.
- Del suelo. Se establece a través del análisis químico de muestras de suelo.
- Generación de polvo. Se estima por huellas de erosión de la superficie de depósitos de residuos, finos y no aglomerados, adhesión de polvo en superficies *in situ*, al momento de la visita, por el viento.
- Otros.

b) Flujo masivo de residuos mineros:

- Ruptura del muro de la presa de jales. Observación de la ubicación de la presa en relación con la escorrentía superficial, existencia de erosión del muro por agua, existencia o no de drenajes de agua de lluvia, anomalía en el muro, como grieta en el talud o pendiente, filtración de agua, entre otros.
- Colapso masivo de otros residuos. Observación de depósitos de residuos mineros, presencia de derrumbes de material, la pendiente del talud, cercanía a centros de población y cuerpos de agua.
- Otros.

c) Problemas de seguridad:

- Caída en un tiro de mina. Verifica el acceso difícil o fácil para las personas, si se encuentra resguardada perimetralmente, letreros de señalización, densidad de la vegetación y visibilidad del tiro.
- Accidente en una galería abierta. Condiciones de seguridad e información al exterior, antecedentes de accidentes (como pérdidas al interior, falta de oxígeno o caídas).
- Colapso de una pared o de una ladera. Posibilidad de derrumbe en minas a tajo abierto por pendientes empinadas e inestables, grietas en paredes, desprendimientos.
- Caída desde una pared alta. Verifica el acceso difícil o fácil para las personas, si se encuentra resguardada perimetralmente, letreros de señalización, densidad de la vegetación.
- Accidente por un equipo o instalación. Revisión de instalaciones abandonadas, equi-

pos y materiales, por desgaste u oxidación.

- Accidentes por insumos abandonados. Observación de sustancias inciertas o no identificables, que deberán ser analizadas. Posibilidad de contacto con la gente o el medio ambiente.
- Accidentes en un cuerpo de agua. Verifica las condiciones de acceso al cuerpo de agua y que la gente ingrese a él, así como la posibilidad de que se presente un accidente.
- Otros.

d) Hundimiento o subsidencia del terreno:

- Hundimiento de tierra/colapso. Se hace la evaluación cuando el evento ya se ha presentado.
- Otros.

En este caso, la fórmula general que se utilizará para determinar el riesgo será la siguiente:

$$R = P * S \quad (1)$$

donde:

$R$  = riesgo.

$P$  = probabilidad.

$S$  = severidad.

En este contexto, se considera que la predicción de riesgos conlleva incertidumbre, tanto para la asignación de la probabilidad como de la severidad. En la investigación de campo se juzgarán ambas para cada evento. La probabilidad del suceso se determinará según los criterios del cuadro 1.

Por otra parte, se considerará que los impactos que ejerce un evento pueden presentar distinta severidad, según los aspectos afectados. Para ello, se determinaron los siguientes objetos de estudio: salud, infraestructura y recursos naturales, considerando sus diferentes temas (ver cuadro 2).

Una vez seleccionados los objetos de estudio, se deberá determinar la severidad sobre cada uno de ellos, de acuerdo con los criterios del cuadro 3.

Por recomendación del SERNAGEOMIN (2007), no se asigna el número 4 en el punta-

**Cuadro 1**

**Criterios para determinar la probabilidad en la evaluación del riesgo**

Puntaje	Probabilidad	Criterio de juicio
0	Nula	Origen de un evento no existente.
1	Baja	Quizás no ocurra.
2	Mediana	Posiblemente ocurra.
3	Alta	Ya existe o posiblemente ocurra.

Fuente: SERNAGEOMIN, 2007.

**Cuadro 2**

**Temas que considerar para los objetos de estudio**

Objeto de estudio	Tema
Salud	Salud humana.
Infraestructura	Caminos, instalaciones públicas, otras infraestructuras, bienes muebles e inmuebles.
Recursos naturales	Zona agrícola y ganadera, bosque, recursos hídricos, área natural protegida, flora y fauna.

Fuente: SERNAGEOMIN, 2007.

**Cuadro 3**

**Criterios para determinar la severidad en la evaluación del riesgo**

Puntaje	Severidad	Salud	Infraestructura	Recursos naturales
0	Ninguna	Sin consecuencia		
1	Baja	Leve	Daño menor	
2	Regular	Grave	Daño recuperable	
3	Alta	Muerte	Daño irreparable	
5	Catastrófica	Caso masivo de <i>alta consecuencia</i>		

Fuente: SERNAGEOMIN, 2007.

je de severidad para diferenciar con el valor de riesgo 4 que se obtendría de probabilidad 2 por severidad 2, como también de probabilidad 1 por severidad 4.

Con base en lo anterior, se establece la matriz de evaluación de riesgo, a partir de la cual se obtienen los puntajes y niveles de riesgo de acuerdo con la ponderación entre la probabilidad de ocurrencia de

un evento y el grado de severidad, considerando sus respectivas escalas de valoración (ver cuadros 4 y 5).

**Inventario de PAM**

Integra una base de datos general con información referenciada geográficamente, es decir, un modelo que permite almacenar la información geográfica

Cuadro 4

### Matriz de evaluación de riesgo

Clasificación de evaluación de riesgos			Grado de severidad				
	Escala de evaluación		Catastrófica	Alta	Regular	Baja	Ninguna
		Puntaje					
Probabilidad	Alta	3	5	3	2	1	0
	Media	2	15	9	6	3	0
	Baja	1	10	6	4	2	0
	Nula	0	5	3	2	1	0
		0	0	0	0	0	0

Cuadro 5

### Puntaje total y nivel de riesgo

Puntaje total	15-5	4-3	2-1	0
Nivel de riesgo	Alto	Mediano	Bajo	Nulo

Fuente: SERNAGEOMIN, 2007.

en archivos incorporados a un sistema de ficheros en un sistema gestor de base de datos. En el archivo, la información se almacena de manera estructurada con el fin de formar un conjunto integrado de datos mediante la definición de reglas, relaciones y asociaciones topológicas.

Lo anterior permitirá realizar un manejo más eficiente de los PAM, pues el diseño de su estructura obliga a considerar una serie de aspectos, como: la definición de una referencia espacial, establecimiento de reglas y relaciones entre archivos, topología geométrica y atributiva, tablas, dominios y subtipos, además de anotaciones, entre otros.

## Resultados

Considerando como objeto de estudio el estado de Hidalgo y derivado de la investigación en información vectorial, se identificaron 494 minas o sitios con características de inactiva o abandonada (SGM, 2010c), consideradas así de acuerdo con la definición de PAM; con base en la consulta de 23 cartas geológico-mineras escala 1:50 000 (SGM,

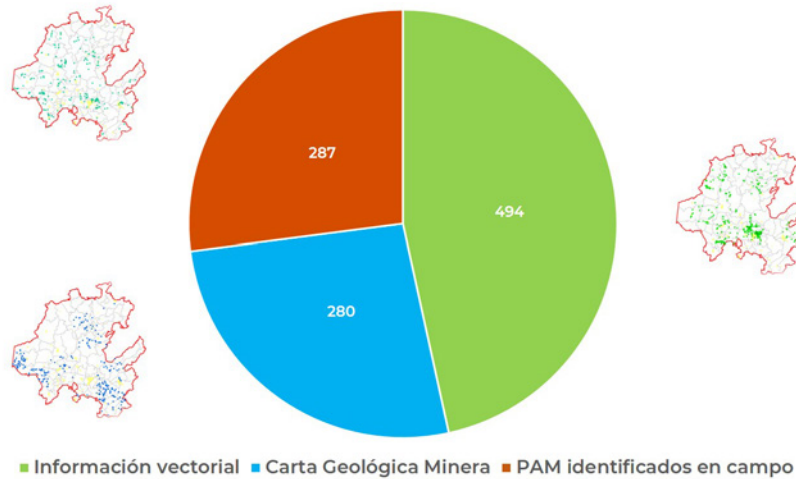
1995a, 1995b, 2001, 2002a, 2002b, 2003a, 2003b, 2004a, 2004b, 2005a, 2005b, 2007a, 2007b, 2007c, 2009a, 2009b, 2010a, 2010b, 2012, 2016, 2017a, 2017b, 2018); fueron 280 lugares identificados relacionados con las características mencionadas con anterioridad, lo que formó una base de 774 posibles PAM de manera inicial.

Como resultado de los trabajos de campo, se identificaron *in situ* 287 adicionales que, sumados a la base inicial, dan un total de 1 061 sitios diferentes (ver figura 1), mismos que fueron verificados durante la elaboración del proyecto en un tiempo programado de 24 meses y que se encuentran distribuidos casi en la totalidad del territorio de la entidad (ver mapa).

De los 1 061 sitios verificados, cuatro obras mineras inactivas se encontraban adyacentes a otras con las mismas características, por lo que se decidió levantar solo una ficha para ambas, quedando 751 lugares catalogados como PAM. De los restantes, 176 presentan estatus de activos, lo que no corresponde a las características de un PAM y 130 no fueron confirmados; de estos últimos, 82 no se

Figura 1

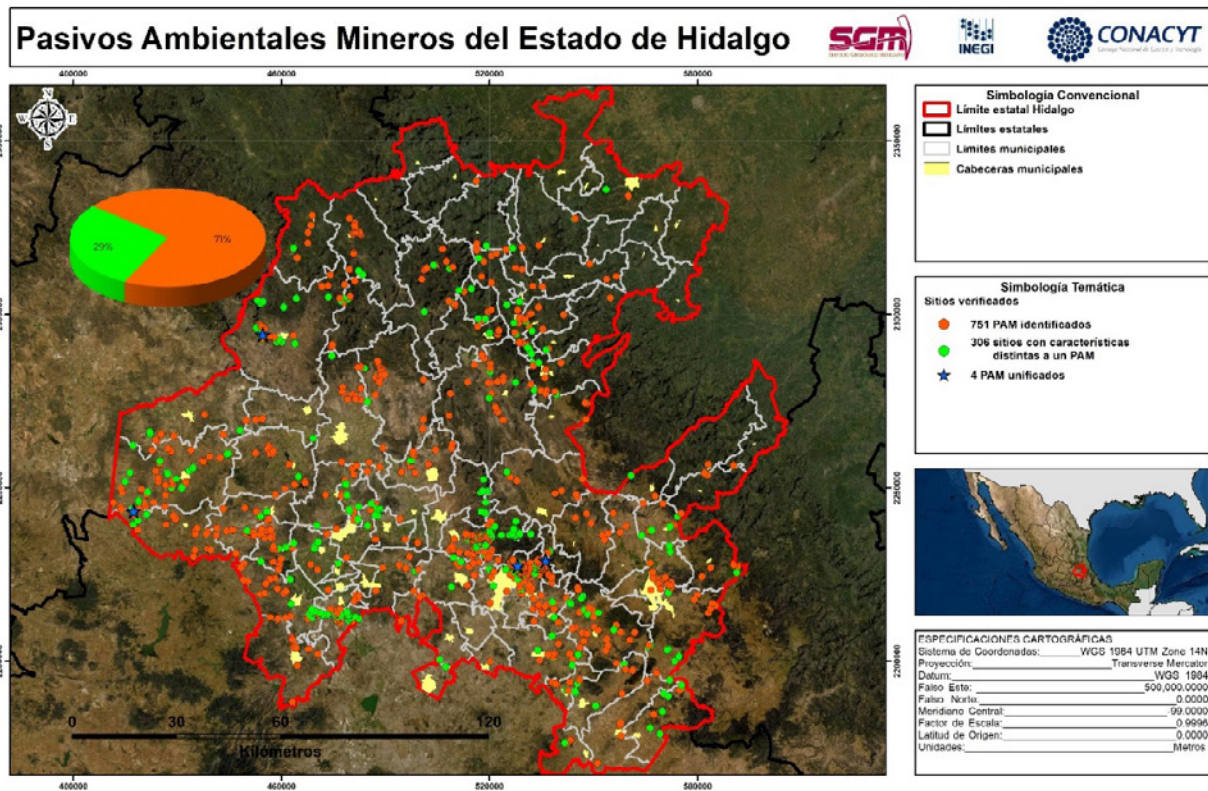
### Sitios verificados en recorridos de campo



Fuente: elaboración propia.

Mapa

### Distribución de sitios verificados en campo



Fuente: elaboración propia.

localizaron (tal vez estén cubiertos por la vegetación) y a 48 no se tuvo acceso debido a que el área para llegar al sitio estaba resguardada con cercado y letreros que prohibían la entrada y no se encontró personal para solicitar el ingreso (ver cuadro 6).

Se identificó que, del total de las obras visitadas y catalogadas como PAM, 68.58 % se asocia con minerales no metálicos y el resto corresponde a minerales metálicos (ver cuadro 7).

En relación con la evaluación de riesgo, y de acuerdo con la metodología mencionada, la probabilidad y la severidad fueron registradas en cada una de las fichas para, posteriormente, realizar con esta información la evaluación de los 17 componentes en los tres objetos de estudio de cada PAM; por lo anterior, se puede presentar más de

un componente con el mismo nivel de riesgo para cada uno de los PAM evaluados, razón por la cual, durante la presentación de los resultados, la suma de los PAM no corresponderá al total de sitios contenidos en la base de datos (751).

### Riesgo a la salud humana

Los resultados de la evaluación del riesgo obtenidos para el escenario salud humana, en relación con los 17 componentes, incluyen a cualquier tipo de población o de asentamientos humanos, incluso una casa aislada comprendida a 1 km a la redonda del PAM y cualquier tipo de interacción que pudiera tener una persona con él, los cuales pueden ser vulnerables a los riesgos potenciales producidos por el mismo.

Cuadro 6

#### Estatus de operación de los sitios verificados, por fuente de información

Estatus	Verificados con la información del shapefile de minas	Verificados con la Carta geológico-minera	Identificados en campo (nuevos)	Total
Inactivos	288	176	287	751
Activos	96	80		176
No localizados	67	15		82
Sin acceso	41	7		48
Adyacentes inactivos	2	2		4
<b>Total</b>	<b>494</b>	<b>280</b>	<b>287</b>	<b>1 061</b>

Fuente: elaboración propia.

Cuadro 7

#### Pasivo ambiental minero asociado a minerales metálicos y no metálicos

Fuente de información	Total de obras inactivas	Metálicos	No metálicos
Información vectorial	288	155	133
Carta geológico-minera	176	2	174
Nuevo en campo	287	79	208
<b>Total</b>	<b>751</b>	<b>236</b>	<b>515</b>

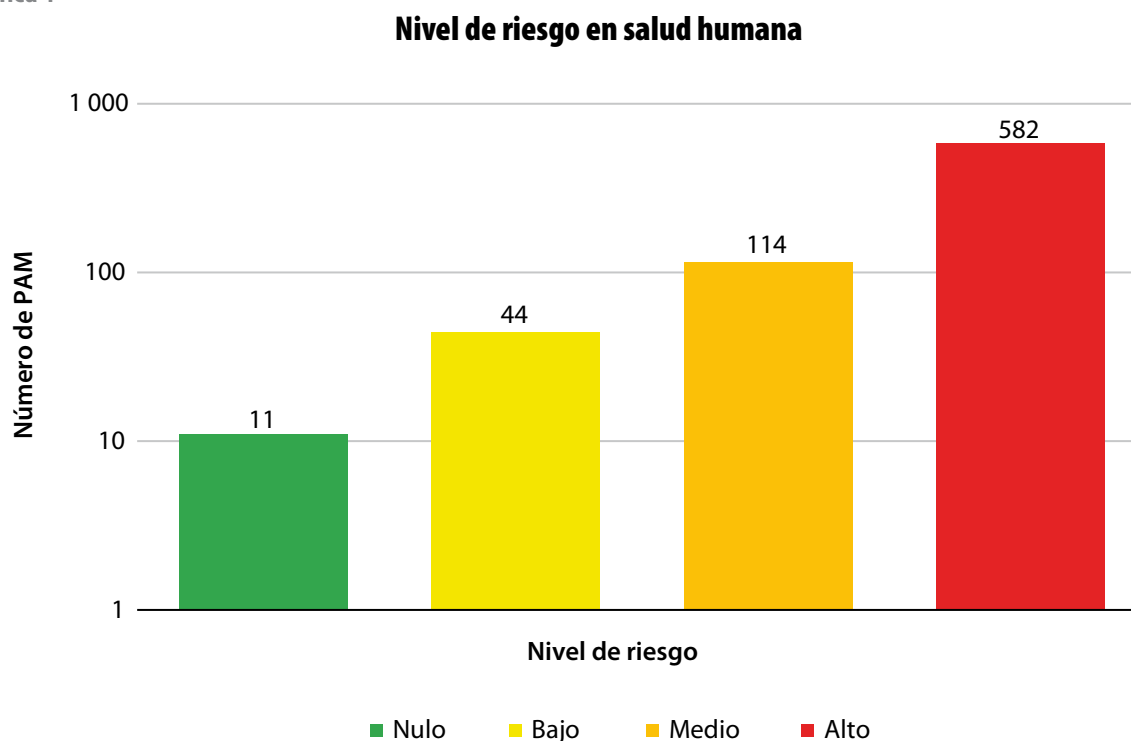
Fuente: elaboración propia

En la gráfica 1 se puede observar la cantidad de PAM ordenados en los distintos niveles de riesgo asociados a la salud humana, considerando el nivel de riesgo más alto que presentan. Con base en el análisis de la gráfica se puede determinar que la mayoría de los PAM presentan un nivel alto, con un total de 582 sitios, seguido del medio con 114, en contraste con los niveles bajo y nulo con 44 y 11, respectivamente.

Por otra parte, además de analizar el número de PAM por nivel de riesgo, se identificó lo correspondiente al valor de este, es decir, de cada PAM se tiene el evento con la mayor cifra alcanzada. Con base en lo anterior, se establece que, para el riesgo en salud humana, el valor más alto corresponde a colapso de una pared o ladera y caída desde una pared alta en 440 y 438 PAM, respectivamente (ver gráfica 2), ambos eventos en la categoría de problemas de seguridad. Por el contrario, con la menor ponderación alcanzada se encuentran el flujo masivo de residuos mineros y hundimiento, así como la subsidencia del suelo.

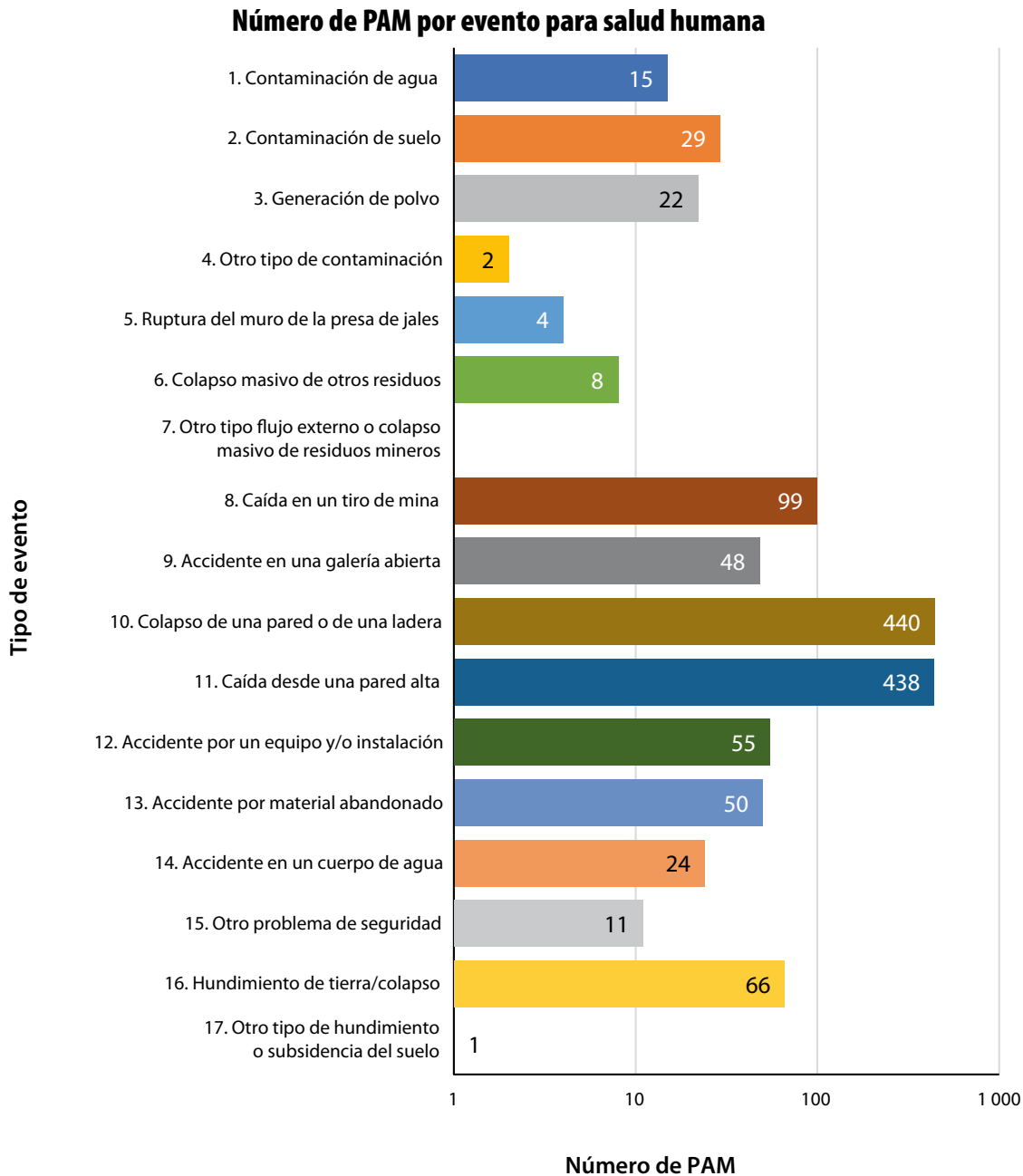
De los eventos que pueden provocar daños a la salud humana (ver cuadro 8), en primera instancia se consideran a los de la categoría de problemas de seguridad presentes en la mayoría de los PAM asociados, posiblemente, a la legislación ambiental que, en su momento, no obligaba a realizar actividades al finalizar la vida útil del sitio y, posterior a ello, a las malas prácticas de cierre de la actividad minera. Se posiciona a las poblaciones cercanas en un nivel alto de riesgo debido a que las afectaciones pudiesen producir daños severos o letales a sus habitantes cercanos y/o con interacción con estos sitios. En segundo lugar, se identifican aquellos relacionados con el derrumbe del suelo (hundimiento de tierra/colapso), seguido de los riesgos producto de la contaminación (sobre todo la del suelo) y la generación de polvo. Es importante señalar que estos —al igual que los problemas de seguridad— van íntimamente relacionados con las medidas preventivas o de mitigación utilizadas en las etapas de cierre o abandono en la mayoría de los sitios con actividades mineras.

Gráfica 1



Fuente: elaboración propia.

Gráfica 2



Fuente: elaboración propia.

### Riesgo a la infraestructura

El número de PAM que representa un riesgo a la infraestructura se muestra en la gráfica 3, donde 147 están en nivel alto, 138 corresponden a uno medio, así como 153 y 313 son catalogados con bajo y nulo, respectivamente.

De manera adicional a la identificación del número de PAM por nivel de peligro, también se determinó el tipo de evento de mayor riesgo asociado a la infraestructura. En este contexto, en la gráfica 4 se muestran los 17 componentes, donde destaca el colapso de una pared o una ladera en 285 PAM, seguido por la generación de polvo y el hundimiento

Cuadro 8

### Orden jerárquico de los eventos más sobresalientes en los 751 PAM analizados para salud humana

Núm. jerárquico	Categoría	Evento	Nivel de riesgo				
			Nulo	Bajo	Medio	Alto	Total
1	Problemas de seguridad	Colapso de una pared o de una ladera	0	18	38	384	440
2	Problemas de seguridad	Caída desde una pared alta	0	34	81	323	438
3	Problemas de seguridad	Caída en un tiro de mina	0	0	11	88	99
4	Hundimiento y subsidencia del suelo	Hundimiento de tierra/colapso	0	1	3	62	66
5	Problemas de seguridad	Accidente por un equipo y/o instalación	0	2	6	47	55
6	Problemas de seguridad	Accidente por material abandonado	0	8	10	32	50
7	Problemas de seguridad	Accidente en una galería abierta	0	1	3	44	48
8	Contaminación	Contaminación de suelo	0	1	5	23	29
9	Problemas de seguridad	Accidente en un cuerpo de agua	0	3	5	16	24
10	Contaminación	Generación de polvo	0	8	4	10	22
11	Contaminación	Contaminación de agua	0	2	2	11	15
12	Problemas de seguridad	Otro problema de seguridad	0	1	1	9	11
13	Flujo masivo de residuos mineros	Colapso masivo de otros residuos	0	0	2	6	8
14	Flujo masivo de residuos mineros	Ruptura del muro de la presa de jales	0	0	0	4	4
15	Contaminación	Otro tipo de contaminación	0	0	0	2	2
16	Hundimiento y subsidencia del suelo	Otro tipo de hundimiento o subsidencia del suelo	0	0	0	1	1
17	Flujo masivo de residuos mineros	Otro tipo de flujo externo o colapso masivo de residuos mineros	0	0	0	0	0

Fuente: elaboración propia.



de tierra/colapso presentes en 79 y 50 sitios, respectivamente; en contraste, con menor incidencia, se asociaron con otro tipo de problema de seguridad tres PAM, así como cinco con la ruptura del muro de la presa de jales y seis con el colapso masivo de otros residuos; por último, también se identificaron 28 asociados a la contaminación del suelo; 27, a accidente por un equipo y/o instalación; y 17, a contaminación del agua.

En el cuadro 9 se ordenan jerárquicamente todos los eventos en función de su incidencia en los PAM con el valor más alto de riesgo; se ha identificado que el colapso de una pared o una ladera es el de mayor recurrencia en las obras mineras abandonadas asociadas al tema de infraestructura, destacando este tipo en cada uno de los tres niveles de riesgo con el mayor número de PAM; en segunda instancia se encuentra la generación de polvo, donde la mayoría de los sitios se encuentra en un nivel bajo; por otra parte, el hundimiento de tierra/colapso es el tercer evento con mayor presencia en

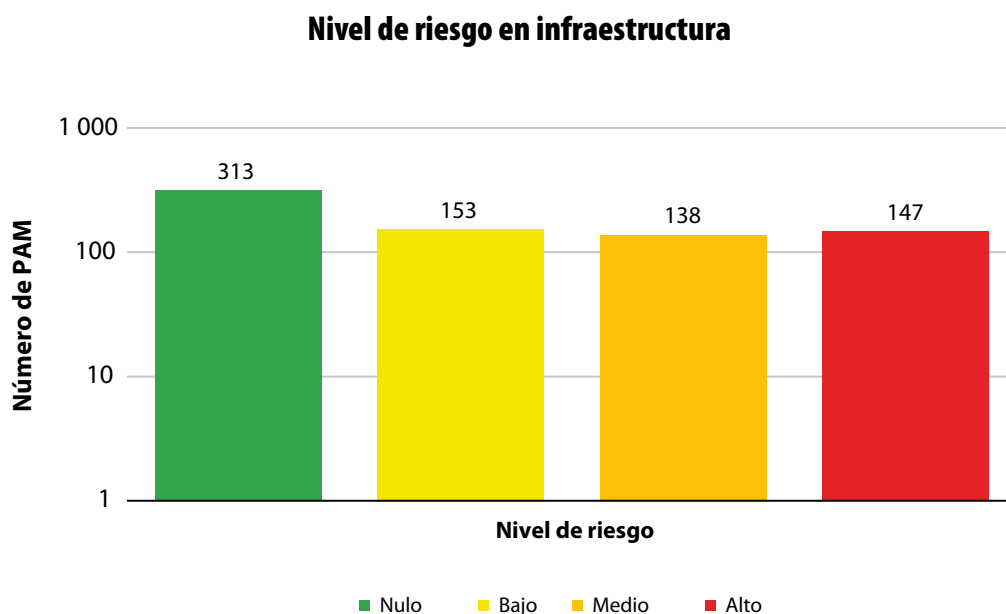
los sitios verificados que, en contraste con el anterior, el riesgo alto predomina en la mayoría de los PAM con esta condición.

### Riesgo a los recursos naturales

La gráfica 5 representa una clasificación del número de PAM en función del nivel más alto de riesgo que presentan. Como se puede observar, la mayor cantidad de PAM se ubica en el nivel alto (487), decreciendo en el medio (178), el bajo (57) y el nulo (29).

Se trabajó con los datos para identificar el número de PAM por eventos para poder resaltar los más frecuentes con base en el valor más alto que se obtuvo de los 17 considerados (ver gráfica 6). Los que presentan concentración de valores altos son: colapso de una pared o ladera y caída desde una pared alta con 408 PAM, en ambos casos, debido a lo mencionado de las pocas o nulas acciones

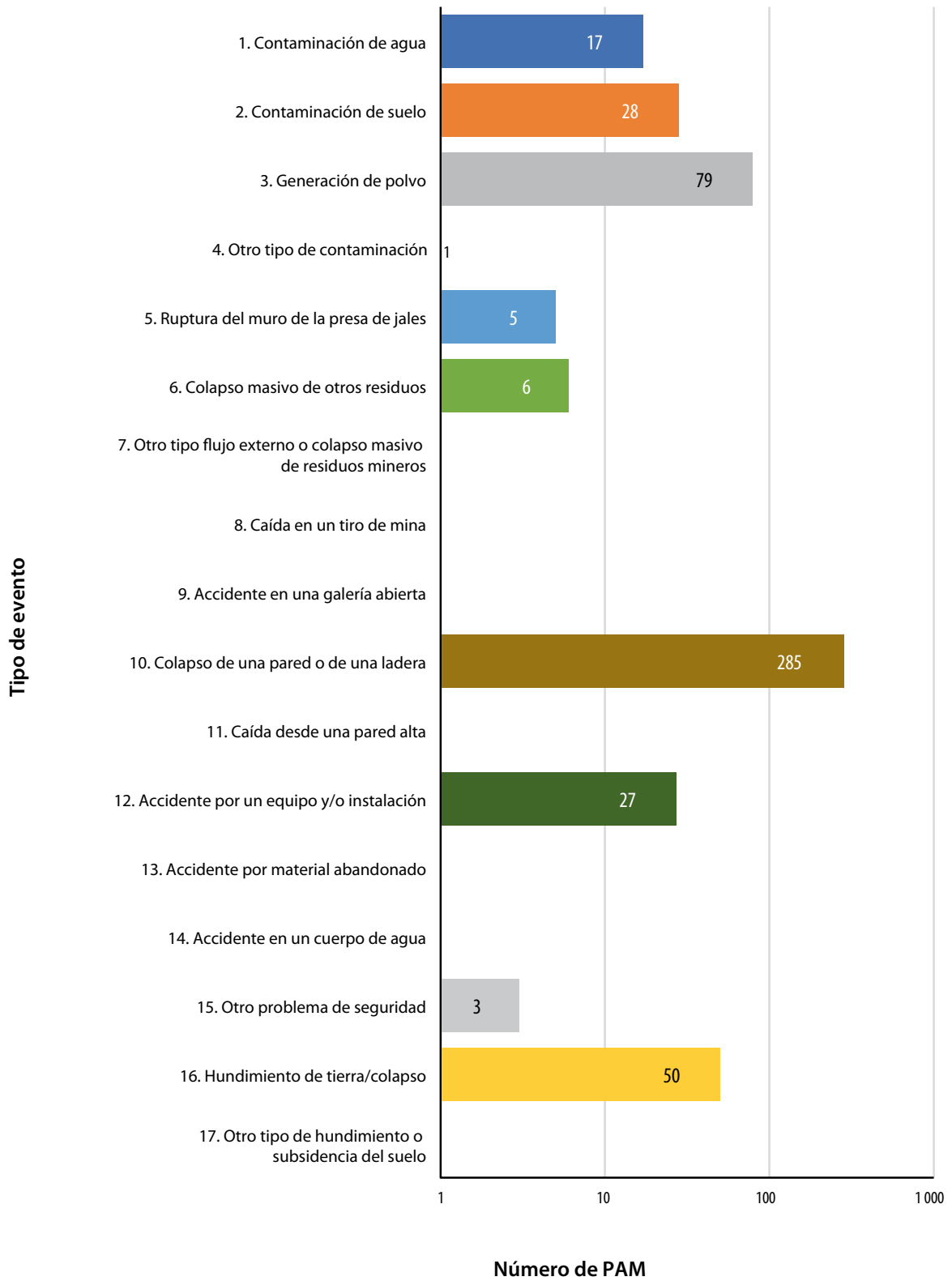
Gráfica 3



Fuente: elaboración propia.

Gráfica 4

### Número de PAM por evento para infraestructura



Fuente: elaboración propia.

**Orden jerárquico de los eventos más sobresalientes en los 751 PAM analizados para infraestructura**

Núm. jerárquico	Categoría	Evento	Nivel de riesgo				
			Nulo	Bajo	Medio	Alto	Total
1	Problemas de seguridad	Colapso de una pared o de una ladera	0	77	94	114	285
2	Contaminación	Generación de polvo	0	61	13	5	79
3	Hundimiento y subsidencia del suelo	Hundimiento de tierra/colapso	0	5	10	35	50
4	Contaminación	Contaminación de suelo	0	11	11	6	28
5	Problemas de seguridad	Accidente por un equipo y/o instalación	0	11	13	3	27
6	Contaminación	Contaminación de agua	0	10	5	2	17
7	Flujo masivo de residuos mineros	Colapso masivo de otros residuos	0	0	4	2	6
8	Flujo masivo de residuos mineros	Ruptura del muro de la presa de jales	0	1	1	3	5
9	Problemas de seguridad	Otro problema de seguridad	0	2	1	0	3
10	Contaminación	Otro tipo de contaminación	0	0	0	1	1
11	Flujo masivo de residuos mineros	Otro tipo de flujo externo o colapso masivo de residuos mineros	0	0	0	0	0
12	Problemas de seguridad	Caída en un tiro de mina	0	0	0	0	0
13	Problemas de seguridad	Accidente en una galería abierta	0	0	0	0	0
14	Problemas de seguridad	Caída desde una pared alta	0	0	0	0	0
15	Problemas de seguridad	Accidente por material abandonado	0	0	0	0	0
16	Problemas de seguridad	Accidente en un cuerpo de agua	0	0	0	0	0

**Orden jerárquico de los eventos más sobresalientes en los 751 PAM analizados para infraestructura**

Núm. jerárquico	Categoría	Evento	Nivel de riesgo				
			Nulo	Bajo	Medio	Alto	Total
17	Hundimiento y subsidencia del suelo	Otro tipo de hundimiento o subsidencia del suelo	0	0	0	0	0

Fuente: elaboración propia.

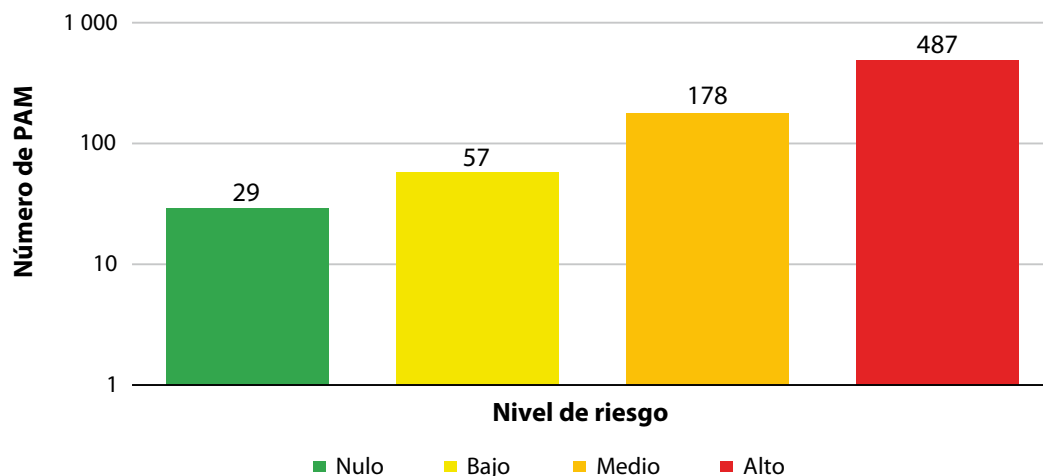
de cierre de la actividad minera; por el contrario, con menos frecuencia de afectación a los recursos naturales son: otro tipo de flujo externo o colapso masivo de residuos mineros y otro tipo de hundimiento o subsidencia del suelo.

En el cuadro 10 se ordenan de manera jerárquica todos los eventos en función de su ocurrencia en los PAM con el valor más alto de riesgo. Se identifica cuál es el nivel de riesgo predominante en cada uno, siendo el alto el más recurrente, con excep-

ción de otro tipo de hundimiento o subsidencia del suelo, en el cual su nivel de riesgo es medio en su totalidad.

Por último, se considera que el proyecto representa un primer ejercicio que propone establecer las bases para futuros inventarios de pasivos ambientales mineros. Resultado de lo anterior, se obtuvo un listado de PAM (ubicados geográficamente y verificados de manera física) con información general del estado en que se encuentran, una

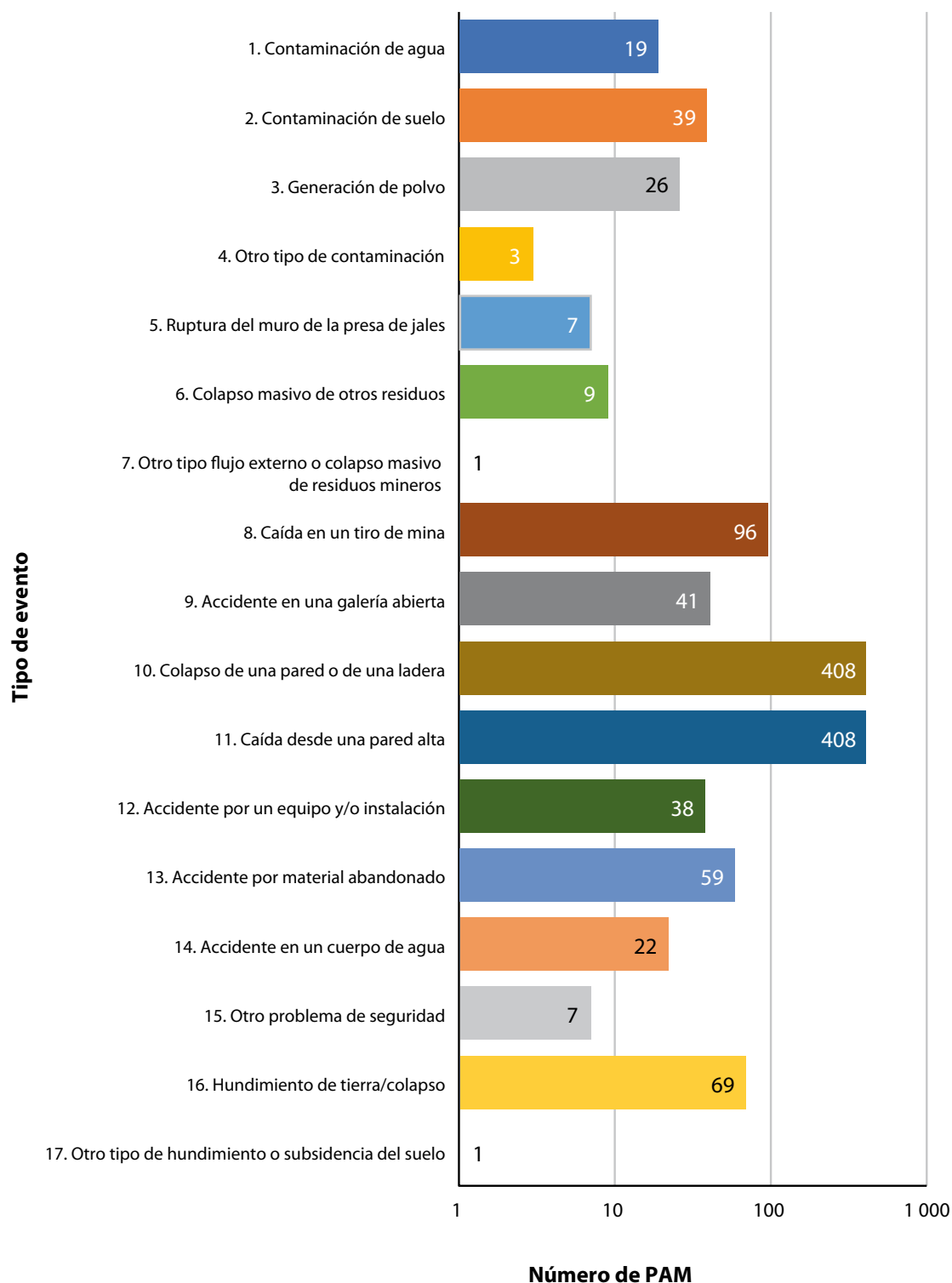
Gráfica 5

**Nivel de riesgo en recursos naturales**

Fuente: elaboración propia.

Gráfica 6

### Número de PAM por evento para recursos naturales



Fuente: elaboración propia.

### Orden jerárquico de los eventos más sobresalientes en los 751 PAM analizados para el escenario de recursos naturales

Núm. jerárquico	Categoría	Evento	Nivel de riesgo				
			Nulo	Bajo	Medio	Alto	Total
1	Problemas de seguridad	Caída desde una pared alta	0	39	125	244	408
2	Problemas de seguridad	Colapso de una pared o de una ladera	0	22	80	306	408
3	Problemas de seguridad	Caída en un tiro de mina	0	0	16	80	96
4	Hundimiento y subsidencia del suelo	Hundimiento de tierra/colapso	0	1	6	62	69
5	Problemas de seguridad	Accidente por material abandonado	0	11	19	29	59
6	Problemas de seguridad	Accidente en una galería abierta	0	3	4	34	41
7	Contaminación	Contaminación de suelo	0	0	6	33	39
8	Problemas de seguridad	Accidente por un equipo y/o instalación	0	1	12	25	38
9	Contaminación	Generación de polvo	0	12	6	8	26
10	Problemas de seguridad	Accidente en un cuerpo de agua	0	3	6	13	22
11	Contaminación	Contaminación de agua	0	3	5	11	19
12	Flujo masivo de residuos mineros	Colapso masivo de otros residuos	0	1	2	6	9
13	Flujo masivo de residuos mineros	Ruptura del muro de la presa de jales	0	0	0	7	7
14	Problemas de seguridad	Otro problema de seguridad	0	2	0	5	7
15	Contaminación	Otro tipo de contaminación	0	0	1	2	3
16	Flujo masivo de residuos mineros	Otro tipo de flujo externo o colapso masivo de residuos mineros	0	0	0	1	1
17	Hundimiento y subsidencia del suelo	Otro tipo de hundimiento o subsidencia del suelo	0	0	1	0	1

Fuente: elaboración propia.

base de datos en Excel, así como un visualizador geoespacial, información con la que no se contaba para Hidalgo. La evaluación de riesgo nos dará la oportunidad de poder realizar futuras acciones de mitigación o prevención, de acuerdo con la jerarquización del nivel de riesgo obtenido, las cuales se definirán con base en una carac-

terización detallada de cada uno de los PAM que sean considerados para ello.

## Conclusiones

Se adaptó una metodología para registrar y evaluar los PAM que ha mostrado ser útil para el estado de

Hidalgo y, probablemente, pueda ser utilizable en el resto del país; esta se irá mejorando con aportaciones de los sectores minero, académico y de investigación. Con ello, se sienta un precedente para elaborar una base de datos nacional de pasivos ambientales mineros que permitirá tener información preliminar del riesgo y de su ubicación precisa, ya que puede estar afectando a la población.

La metodología nos permite jerarquizar los PAM para, en un futuro, elaborar un plan de actuación que disminuya o elimine el riesgo que representan, en el cual se determinarían los estudios específicos a considerar de acuerdo con las características de cada uno. Se verificaron 1 061 sitios en Hidalgo; con características de PAM se identificaron 751, mismos que fueron registrados en una base de datos, con información actualizada. De ellos, 31.42 % se encuentran asociados a minerales metálicos y 68.58 %, a minerales no metálicos. Los riesgos asociados a la categoría de seguridad fueron los de mayor incidencia para los tres factores: salud humana, infraestructura y recursos naturales.

El almacenamiento de información en una base de datos referenciada geográficamente puede facilitar la toma de decisiones y acciones entre los diferentes órganos de gobierno y particulares.

## Fuentes

- Alberruche del Campo, E., J. C. Arranz González, R. Rodríguez Pacheco, L. Vadillo Fernández, V. Rodríguez Gómez y F. J. Fernández Naranjo. *Manual para la evaluación de riesgos de instalaciones de residuos de industrias extractivas cerradas o abandonadas*. España, Instituto Geológico y Minero de España-Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, 2013, pp. 4-7.
- Asociación de Servicios de Geología y Minería Iberoamericanos (ASGMI). *Pasivos ambientales mineros. Manual para el inventario de minas abandonadas o paralizadas*. Documento de la Asociación aprobado en su XVI Asamblea General Ordinaria, celebrada en Barquisimeto, Venezuela, 2010, pp. 4-15.
- Coll, A., M. T. Sánchez y J. Morales. *La minería en México*. México, Instituto de Geografía, UNAM, 2002, pp. 22, 25, 26, 29, 105.
- Osuna-Martínez, C. Cristina, María Aurora Armienta, Magdalena Bergés-Tiznado y Federico Páez-Osuna. "Arsenic in waters, soils, sediments, and biota from México: An environmental review", en: *Science of the Total Environment*. Volume 752, 15 January 2021, 142062.
- Ramos-Arroyo, Yann René y Christina Desirée Siebe-Grabach. "Estrategia para identificar jales con potencial de riesgo ambiental, caso de estudio del distrito de Guanajuato", en: *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*. Vol. 23, núm. 1. 2006, pp. 54-74.
- Rodríguez-Agudelo, Yanet, Horacio Riojas-Rodríguez, Camilo Ríos, Irma Rosas, Eva Sabido Pedraza, Javier Miranda, Christina Siebe, José Luis Texcalac y Carlos Santos-Burgoa. "Motor alterations associated with exposure to manganese in the environmental in Mexico", en: *Science of the Total Environment*. Volume 368, 2-3. 2006, pp. 542-556.
- Servicio Nacional de Geología y Minería de Chile (SERNAGEOMIN). *Catastro de faenas mineras abandonadas o paralizadas y análisis de riesgo preliminar*. Chile, 2007, pp. 12-23.
- SGM. *Carta geológico-minera escala 1:50 000. F14-C79. Ixmiquilpan, Hidalgo*. Pachuca, Hidalgo, 1995a.
- \_\_\_\_\_. *Carta geológico-minera escala 1:50 000. F14-D71. Actopan, Hidalgo*. Pachuca, Hidalgo, 1995b.
- \_\_\_\_\_. *Carta geológico-minera escala 1:50 000. F14-C59. San Nicolás, Hidalgo*. Pachuca, Hidalgo, 2001.
- \_\_\_\_\_. *Carta geológico-minera escala 1:50 000. F14-C68. Tecozautla, Querétaro e Hidalgo*. Pachuca, Hidalgo, 2002a.
- \_\_\_\_\_. *Carta geológico-minera escala 1:50 000. F14-D51. Molango, Hidalgo*. Pachuca, Hidalgo, 2002b.
- \_\_\_\_\_. *Carta geológico-minera escala 1:50 000. F14-C49. Jacala, Hidalgo y Querétaro*. Pachuca, Hidalgo, 2003a.
- \_\_\_\_\_. *Carta geológico-minera escala 1:50 000. F14-D61. Metztlán, Hidalgo*. Pachuca, Hidalgo, 2003b.
- \_\_\_\_\_. *Carta geológico-minera escala 1:50 000. F14-D41. Chapulhuacán, Hidalgo*. Pachuca, Hidalgo, 2004a.
- \_\_\_\_\_. *Carta geológico-minera escala 1:50 000. F14-D73. Pahuatlán, Hidalgo, Veracruz y Puebla*. Pachuca, Hidalgo, 2004b.
- \_\_\_\_\_. *Carta geológico-minera escala 1:50 000. F14-D52. Calnali, Hidalgo y Veracruz*. Pachuca, Hidalgo, 2005a.
- \_\_\_\_\_. *Carta geológico-minera escala 1:50 000. F14-D83. Huauchinango, Hidalgo y Puebla*. Pachuca, Hidalgo, 2005b.
- \_\_\_\_\_. *Carta geológico-minera escala 1:50 000. F14-C67. Tequisquiapan, Querétaro e Hidalgo*. Pachuca, Hidalgo, 2007a.
- \_\_\_\_\_. *Carta geológico-minera escala 1:50 000. F14-C58. San Joaquín, Querétaro e Hidalgo*. Pachuca, Hidalgo, 2007b.
- \_\_\_\_\_. *Carta geológico-minera escala 1:50 000. F14-D81. Pachuca, Hidalgo y México*. Pachuca, Hidalgo, 2007c.
- \_\_\_\_\_. *Carta geológico-minera escala 1:50 000. F14-C78. Huichapan, Hidalgo*. Pachuca, Hidalgo, 2009a.
- \_\_\_\_\_. *Carta geológico-minera escala 1:50 000. F14-C89. Mixquiahuala, Hidalgo y México*. Pachuca, Hidalgo, 2009b.

\_\_\_\_\_ Carta geológico-minera escala 1:50 000. F14-C88. Tula de Allende, Hidalgo y México. Pachuca, Hidalgo, 2010a.

\_\_\_\_\_ Carta geológico-minera escala 1:50 000. F14-C69. Tasquillo, Hidalgo. Pachuca, Hidalgo, 2010b.

\_\_\_\_\_ Carta geológico-minera escala 1:50 000. F14-C77. San Juan del Río, Querétaro, Hidalgo y México. Pachuca, Hidalgo, 2012.

\_\_\_\_\_ Carta geológico-minera escala 1:50 000. F14-D82. Tulancingo, Hidalgo. Pachuca, Hidalgo, 2016.

\_\_\_\_\_ Carta geológico-minera escala 1:50 000. F14-C39. Ahuacatlán, San Luis Potosí, Querétaro e Hidalgo. Pachuca, Hidalgo, 2017a.

\_\_\_\_\_ Carta geológico-minera escala 1:50 000. F14-D62. Zacualtipán, Hidalgo y Veracruz. Pachuca, Hidalgo, 2017b.

\_\_\_\_\_ Carta geológico-minera escala 1:50 000. F14-D72. Carbonero Jacales, Hidalgo y Veracruz. Pachuca, Hidalgo, 2018.

\_\_\_\_\_ Panorama minero del estado de Hidalgo. 2019 (DE) consultado el 4 de marzo de 2021, <https://www.gob.mx/sgm/articulos/consulta-los-panoramas-mineros-estatales>

\_\_\_\_\_ Shapefile de minas escala 1:50 000 de la República Mexicana. México, 2010c.

## Anexos

FICHA DE INVENTARIO DE PASIVOS AMBIENTALES MINEROS	
Lugar y fecha	Clave de la ficha
<b>1. Localización</b>	
Nombre del pasivo ambiental minero: _____	
Ubicación (referencia): _____	
Coordenadas: UTM WGS-84 <input type="checkbox"/> NAD-27 <input type="checkbox"/> X _____ Y _____ Zona _____	
Estado: _____ Municipio: _____ Altitud: _____ msnm	
Carta topográfica No.: _____ Nombre: _____ Escala: _____	
Accesibilidad: Carretera <input type="checkbox"/> Terracería <input type="checkbox"/> Vereda <input type="checkbox"/> Brecha <input type="checkbox"/> Sin acceso <input type="checkbox"/>	
<b>2. Minerales</b>	
Tipo: Metálicos <input type="checkbox"/> No metálicos <input type="checkbox"/>	
Sustancia (s): _____	
<b>3. Características de la mina</b>	
Estado: Activa <input type="checkbox"/> Inactiva <input type="checkbox"/> Año _____	
Tipo de obra: Subterránea <input type="checkbox"/> A cielo abierto <input type="checkbox"/>	
Obra minera: Socavón <input type="checkbox"/> Rebaje <input type="checkbox"/> Tiro <input type="checkbox"/> Tajo <input type="checkbox"/> Otro _____	
Ancho _____ m Largo _____ m Profundidad _____ m Volumen _____ m <sup>3</sup>	
Inundado: No <input type="checkbox"/> Sí <input type="checkbox"/> Color del agua _____ pH _____	
Efuentes: No <input type="checkbox"/> Sí <input type="checkbox"/> Color del agua _____ pH _____	
Concesión minera: No <input type="checkbox"/> Sí <input type="checkbox"/> No. Título _____ Vigencia ____/____/____	
Observaciones: _____	
<b>4. Características de planta</b>	
Método de beneficio: Flotación <input type="checkbox"/> Cianuración <input type="checkbox"/> Lixiviación en pilas <input type="checkbox"/> Lixiviación en tanques <input type="checkbox"/>	
Mixto (flotación/cianuración) <input type="checkbox"/> Otro _____	
Proceso: Cribado <input type="checkbox"/> Amalgamación <input type="checkbox"/> Precipitación <input type="checkbox"/> Trituración/molienda <input type="checkbox"/>	
Otro _____	
Observaciones: _____	



**5. Depósito de residuos**

Tipo: Desmonte/terrero  Jales  Residuos de lixiviación  Residuos industriales   
 Residuos de evaporación/precipitación  Escorias  Otros acopios

Tamaño del depósito: Ancho  m Largo  m Altura  m  
 Volumen estimado  m<sup>3</sup> Color

Observaciones:

**6. Sustancias peligrosas utilizadas**

Mercurio  Cianuro  Ácidos  Otras

Observaciones:

**7. Situación del entorno (1 km a la redonda)**

Salud humana  1. Población  
 Infraestructura  2. Vial  3. Urbana  4. Otra:   
 Recursos naturales  5. Áreas agrícolas y/o ganaderas  6. Bosques y/o áreas verdes  
 7. Especie y/o ecosistema  8. Otros:

Tipo	Indique nombre o comentario	Distancia aproximada
<input type="checkbox"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/> m
<input type="checkbox"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/> m
<input type="checkbox"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/> m
<input type="checkbox"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/> m
<input type="checkbox"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/> m
<input type="checkbox"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/> m
<input type="checkbox"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/> m
<input type="checkbox"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/> m
<input type="checkbox"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/> m

**8. Situación del agua**

Época de inspección: De estiaje  De lluvias   
 Cauce cercano: No  Sí  → Río  Arroyo  Canal   
 Otro  Distancia aproximada  m  
 Nombre  Orden de corriente   
 Cuerpo de agua cercano: No  Sí  → Lago  Presa  Jagüey   
 Otro  Distancia aproximada  m  
 Nombre

Uso de agua cercana: Sin uso  Potable  Agrícola / industrial   
 Información agua subterránea: No  Sí  Especifique

Datos multiparámetro: pH  Temperatura  °C Conductividad eléctrica  μS/cm  
 Oxígeno disuelto  ppm Potencial oxidoreducción  ppm Sólidos totales disueltos  ppm

Muestra: No  Sí  Clave  Tipo

Observaciones:

**9. Situación del suelo**

Textura: Limosa  Arcillosa  Arenosa   
 Color:

Fluorescencia de Rayos x:

Elemento	Concentración
<input type="text"/>	<input type="text"/> ppm
<input type="text"/>	<input type="text"/> ppm
<input type="text"/>	<input type="text"/> ppm

Muestra: No  Sí  Clave  Tipo

Observaciones:

**10. Análisis preliminar de riesgos (Parte I)**

Criterio de evaluación de riesgo

Probabilidad	Severidad
0 : Nulo Origen de riesgo inexistente o 0% de ocurrencia	0 : Nulo Sin consecuencia
1 : Baja Quizás no ocurra	1 : Baja Estado leve o daño menor
2 : Media Posiblemente ocurra	2 : Media Estado grave o daño recuperables
3 : Alta Ya existe o 100% de que ocurra	3 : Alta Muerte o daño irreparable
	5 : Catastrófica Caso masivo de alta consecuencia

**11. Análisis preliminar de riesgos (Parte II)**

	Severidad				Comentarios
	Probabilidad	Salud humana	Infraestructura	Recursos naturales	
<b>a) Contaminación</b>					
Contaminación de aguas	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="text"/>
Contaminación de suelo	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="text"/>
Generación de polvo	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="text"/>
Otro ( )	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="text"/>
<b>b) Flujo externo o colapso masivo de residuos mineros</b>					
Ruptura del muro de la presa de jales	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="text"/>
Colapso masivo de otros residuos	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="text"/>
Otro ( )	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="text"/>
<b>c) Problemas de seguridad</b>					
Caída en un tiro de mina	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="text"/>
Accidente en una galería abierta	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="text"/>
Colapso de una pared o de una ladera	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="text"/>
Caída desde una pared alta	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="text"/>
Accidente por un equipo y/o instalación	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="text"/>
Accidente por un material abandonado	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="text"/>
Accidente en un cuerpo de agua	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="text"/>
Otro ( )	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="text"/>
<b>d) Hundimiento o subsidencia del suelo</b>					
Hundimiento de tierra / colapso	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="text"/>
Otro ( )	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="text"/>
<b>e) Otros (Comentarios):</b>	<input type="text"/>				

**12. Certeza de contaminación**

¿Existe certeza de contaminación? No  Sí

Explique:

**13. Evaluación especial**

¿Se requiere evaluación geológica especial? No  Sí

Explique:

¿Se requiere de otro tipo de evaluación especial? No  Sí  ¿Cuál?

Explique:

**14. Muestras colectadas**

Muestra de agua: No  Sí  (Ver hoja de muestras colectadas) Referencia

Muestra de suelo: No  Sí  (Ver hoja de muestras colectadas) Referencia

Otro:  No  Sí  (Ver hoja de muestras colectadas) Referencia

**15. Comentarios finales**

**16. Datos de inspección**

Fecha de inspección:

Inspección realizada por:

Firma



HOJA DE MUESTRAS COLECTADAS PARA LA FICHA DE INVENTARIO DE PASIVOS AMBIENTALES MINEROS

Lugar y fecha:

Clave de la ficha:

No.	Clave de la muestra	Tipo de muestra	Ubicación			Parámetros tomados en campo			Observaciones
			Coordenadas		Altitud (msnm)	Temperatura de agua (°C)	Volumen de muestra (ml o gr)	Conductividad (µS/cm)	
			X	Y					
1									
2									
3									
4									
5									
6									
7									
8									
9									
10									
11									
12									

# Estimación de las emisiones de gases de efecto invernadero provenientes del ganado en México, 1990-2018

*Estimated Greenhouse Gas Emissions from Livestock  
in Mexico, 1990-2018*

**Adolfo Galicia Naranjo,\* José Antonio Benjamín Ordóñez Díaz,\*\* Anabell Munguía Bárcenas,\*\*\* Nuria Julieta Venegas Mancera,\*\*\*\* Luis Enrique Ortega Treviño\*\*\*\*\* y María de Jesús Ordóñez Díaz\*\*\*\*\***

\* Servicios Ambientales y Cambio Climático (SAAC), A. C., aadolfo\_@hotmail.com

\*\* Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey, Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) y SAAC, A. C., jabordonez@ciencias.unam.mx

\*\*\* SAAC, A. C., llebana25904\_0125@hotmail.com

\*\*\*\* Escuela Montessori de la Ciudad de México, nuria\_julieta@hotmail.com

\*\*\*\*\* SACC, A. C., leot\_lito@ciencias.unam.mx

\*\*\*\*\* Centro Regional de Investigación Multidisciplinaria, UNAM, mariapapiit@gmail.com



Ganado ovino estabulado/Benjamín Ordóñez

En este trabajo se aporta una visión crítica al ejercicio de la elaboración del inventario de emisiones de gases de efecto invernadero del subsector ganadero en México. Se estiman las provenientes de la fermentación entérica y el manejo de estiércol para el periodo comprendido entre 1990 y el 2018. El promedio de estas emisiones fue de 55 058.9 Gg de CO<sub>2</sub>e al año<sup>-1</sup>, registrándose un incremento de 7 % en el periodo. En el 2018, el ganado bovino cárnico contribuyó con 79 % de ellas y los bovinos de leche con 13 %; el metano representó 90.4 por ciento. El considerar distintos potenciales de calentamiento global para la conversión a CO<sub>2</sub>e es una práctica necesaria para tener un panorama completo de los efectos radiativos de cada gas a corto y largo plazos, lo cual puede ser de gran utilidad para proponer medidas efectivas para la reducción, mitigación y adaptación ante el cambio climático en el subsector.

**Palabras clave:** ganadería; emisiones; mitigación.

Recibido: 17 de julio de 2020.  
Aceptado: 19 de abril de 2021.

## Introducción

Los inventarios de gases de efecto invernadero (GEI) nos permiten conocer la magnitud de las emisiones contaminantes que son generadas por las actividades humanas. Su elaboración está dentro de los compromisos establecidos en el *Protocolo de Kioto* y el *Acuerdo de París* sobre el cambio climático. La finalidad de estos inventarios es fungir como un instrumento de gestión ambiental para la toma de decisiones en materia de cambio climático (SEMARNAT, 2018).

De acuerdo con la *Sexta comunicación nacional ante el cambio climático* de México (1990-2015), se estima que el país generó 699 564.3 Gg<sup>1</sup> de CO<sub>2</sub>e (CO<sub>2</sub>e equivalente) en el 2015. En el sector *Agricultura, forestería y otros usos del suelo* (AFOLU, por sus siglas en inglés) se contabilizan las emisiones provenientes de las actividades ganaderas, las cuales

1 Gigagramos.

This paper provides a critical view of the greenhouse gas emissions inventory of the livestock subsector in Mexico. Emissions from enteric fermentation and manure management are estimated for the period between 1990 and 2018. The average of these emissions was 55 058.9 Gg CO<sub>2</sub>e per year<sup>-1</sup>, registering an increase of 7 % over the period. In 2018, beef cattle contributed 79 % of them and dairy cattle 13 % —methane accounted for 90.4 percent. Considering different global warming potentials for conversion to CO<sub>2</sub>e is a necessary practice in order to have a complete picture of the radiative effects of each gas in the short and long term, which can be very useful to propose effective measures for the reduction, mitigation and adaptation to climate change in the subsector.

**Key words:** livestock sector; greenhouse gas emissions; mitigation.

se ubicaron como la tercera fuente de emisiones con un aporte de 70 567.6 Gg de CO<sub>2</sub>e (la fermentación entérica aportó 53 442.7 Gg, mientras que el manejo de estiércol generó 17 124.8. En primer lugar, se encontró el sector del transporte con 171 mil Gg y en segundo, el de industrias de la energía con 165 mil Gg (SEMARNAT, 2012 y 2013; INECC, 2018).

A nivel mundial, se reconoce a las actividades ganaderas como una de las principales fuentes de emisiones de GEI (Dangal *et al.*, 2016), pues sus cadenas de producción emitieron un total de 8.1 Gt<sup>2</sup> de CO<sub>2</sub>e en el 2010 (FAO, 2017). Aunado a lo anterior, el impacto de la ganadería también se observa en el porcentaje de las tierras que son dedicadas a la producción de alimentos para el ganado; de acuerdo con la FAO (2019), 80 % de los pastizales y suelos de cultivo se emplean para este propósito.

2 Gigatoneladas.

Los sistemas de producción animal (en específico aquellos que utilizan rumiantes) pueden representar fuentes significativas de emisiones de GEI (IPCC, 2006; Ordoñez *et al.*, 2013; SEMARNAT, 2018). Su proceso digestivo tiene la capacidad de aprovechar y convertir el material fibroso con altos contenidos de carbohidratos estructurales (celulosa y hemicelulosa) en alimentos de alta calidad nutritiva, como carne y leche (Sejian y Naqvi, 2013). Los carbohidratos son degradados a hexosas y pentosas por microorganismos presentes en el rumen, produciendo metano (CH<sub>4</sub>) (Carmona, Bolívar y Giraldo, 2005; Veerasamy y Naqvi, 2012). Por otro lado, la descomposición anaeróbica de la materia orgánica presente en las excretas del ganado genera CH<sub>4</sub> y óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>). La volatilización del amoníaco (NH<sub>3</sub>) y NO<sub>x</sub> de los sistemas de manejo de estiércol y de los suelos conduce a importantes emisiones indirectas de GEI (IPCC, 2006).

El objetivo de este trabajo es aportar una visión crítica al ejercicio de la elaboración del inventario de emisiones de GEI para el subsector ganadero mediante la estimación de las emisiones de GEI en México para el periodo 1990-2018, la descripción puntual de la contribución de los distintos GEI por hatos ganaderos y la comparación de las emisiones de GEI mediante la conversión a CO<sub>2</sub>e con distintos horizontes de tiempo.

## Materiales y métodos

Para estimar las emisiones de GEI provenientes del ganado, se utilizaron las guías metodológicas para la elaboración de inventarios de GEI del Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés) versión 2006. Como dato de actividad, se empleó el número de cabezas de ganado reportadas en la base de datos del Sistema de Información Agroalimentaria de Consulta (SIACON, 2019). Los hatos ganaderos considerados en este trabajo son: bovinos cárnico y de leche, así como ganados porcino, caprino y ovino. Se emplearon los factores de emisión (FE) sugeridos por defecto por el IPCC para el nivel Tier 1 (IPCC, 2013).

Como primer paso, se realizó el cálculo del CH<sub>4</sub> proveniente de la fermentación entérica (ecuación 1) y del manejo de estiércol (2). Los factores de emisión  $EFf_{(T)}$  y  $EFe_{(T)}$  son específicos para cada tipo de ganado y se expresan en  $kg \cdot CH_4 \cdot cabezas^{-1} \cdot año^{-1}$ . El resultado se expresa en  $Gg CH_4 \cdot año^{-1}$ :

$$CH_4_{Entérica} = \sum_i \frac{(EFf_{(T)} \cdot N_{(T)})}{10^6} \quad (1)$$

$$CH_4_{Estiércol} = \sum_i \frac{(EFe_{(T)} \cdot N_{(T)})}{10^6} \quad (2)$$

donde:

$EFf_{(T)}$  = FE de CH<sub>4</sub> por fermentación entérica.

$EFe_{(T)}$  = FE de CH<sub>4</sub> para el manejo de estiércol.

$N_{(T)}$  = número de cabezas de la especie.

$T$  = especie o categoría de ganado.

Como segundo paso, se calcularon las emisiones de óxido nitroso (N<sub>2</sub>O) provenientes del manejo de estiércol (ecuación 3). El resultado se expresa en  $Gg N_2O \cdot año^{-1}$ :

$$N_2O_{Estiércol} = \left[ \sum_{(S)} \left[ \sum_{(T)} (N_{(T)} \cdot Nex_{(T,S)}) \right] \cdot EF_{3(S)} \right] \cdot \frac{44}{28} \quad (3)$$

donde:

$S$  = sistema de gestión de estiércol.

$T$  = especie/categoría de ganado.

$Nex_{(T)}$  = promedio anual de excreción de nitrógeno por cabeza de la especie/categoría  $T$  en el país, en  $kg N \cdot cabezas^{-1} \cdot año^{-1}$ .

$MS_{(T,S)}$  = fracción de la excreción total anual de nitrógeno de cada especie/categoría de ganado  $T$  en el país, sin dimensión.

$EF_{3(S)}$  = factor de emisión para emisiones directas de N<sub>2</sub>O del sistema de gestión de estiércol  $S$  en el país, en  $kg N_2O \cdot N/kg N$  del sistema de gestión de estiércol  $S$ .

## Potencial de calentamiento global

Gas	Persistencia en años	Potencia de calentamiento global		Reporte de referencia
		20 años	100 años	
Dióxido de carbono (CO <sub>2</sub> )	NA	1	1	IPCC 2013 -AR5
	NA	1	1	IPCC 1996 -SAR
Metano (CH <sub>4</sub> )	12.4	84	28	IPCC 2013 -AR5
	12	56	21	IPCC 1996 -SAR
Óxido nitroso (N <sub>2</sub> O)	121	264	265	IPCC 2013 -AR5
	120	280	310	IPCC 1996 -SAR

**Fuente:** elaborado a partir de los datos contenidos en: <https://ghginstitute.org/2010/06/28/what-is-a-global-warming-potential/>

NA = no aplica.

AR5 = *Assessment Report 5*.

SAR = *Second Assessment Report*.

Como tercer paso, se realizó la conversión del CH<sub>4</sub> y del N<sub>2</sub>O a su equivalente en CO<sub>2</sub>, empleando los potenciales de calentamiento global<sup>3</sup> (GWP, por sus siglas en inglés) para escenarios de 20 y 100 años (ver cuadro). La conversión es empleada para estandarizar el efecto de los distintos GEI bajo la métrica del dióxido de carbono.

Por último, el análisis de incertidumbre para la estimación de las emisiones de GEI en el periodo 1990-2018 (incertidumbre en la tendencia) se realizó mediante el método *Tier 1*, versión 2006, propuesto por el IPPC (para más detalles referirse al *Manual para elaboración de inventarios de GEI*).

3 "... índice basado en las propiedades radiativas de los gases de efecto invernadero, que mide el forzamiento radiativo obtenido de los impulsos de emisión en la atmósfera actual, de una unidad de masa de cierto gas de efecto invernadero, integrado a lo largo de un plazo de tiempo dado, en comparación con el causado por el dióxido de carbono..." (IPCC, 2013: 198).

## Resultados

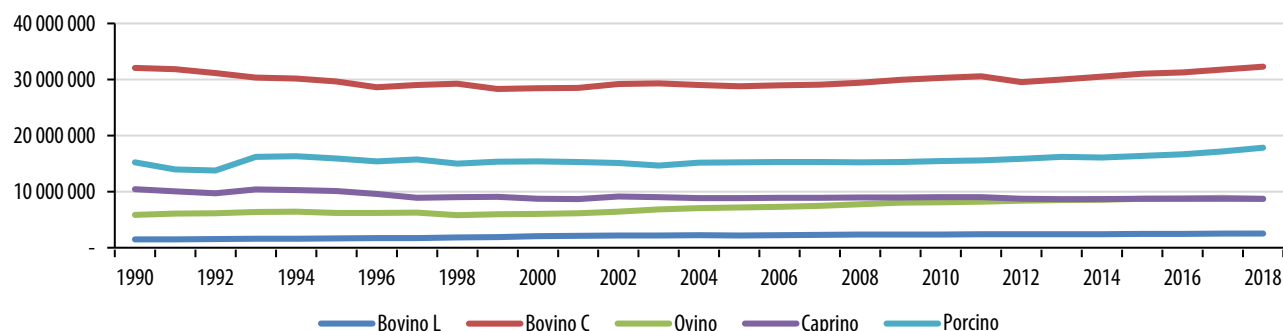
## Población ganadera, 1990-2018

La importancia de conocer la distribución y la abundancia de los distintos hatos ganaderos radica en que ciertas especies aportan mayor cantidad de GEI, así como por la relación que existe entre la tasa de emisiones y las condiciones climáticas. En el periodo estudiado, el número total de la población ganadera presentó un incremento relativamente bajo (ver gráfica 1). En 1990, el número de cabezas de ganado correspondió a 65 029 124 individuos, en comparación con el 2018 cuando fue de 70 092 595; es decir, hubo un aumento de 7.8 % en un lapso de 28 años.

De manera puntual, la población de bovinos de leche tuvo un incremento correspondiente a 70 %

Gráfica 1

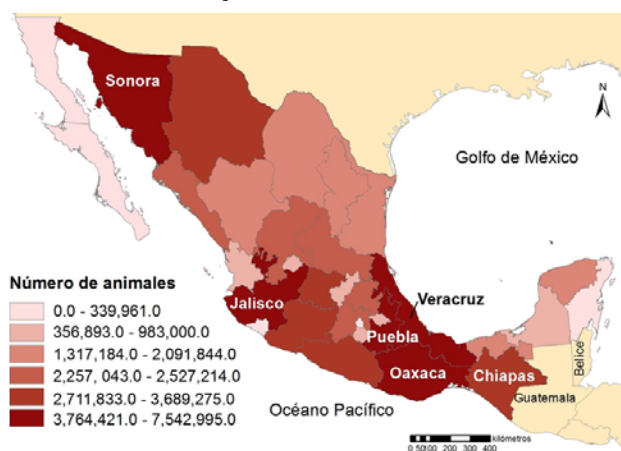
## Población ganadera en México, 1990-2018



en ese periodo; por otro lado, el ganado caprino disminuyó 16.2 % (ver gráfica 1). En conjunto, los hatos de vacunos cárnicos y de leche eran los de mayor importancia en el país (34.8 millones de cabezas de ganado en el 2018). La distribución por estado de la población pecuaria se muestra en el mapa: Veracruz de Ignacio de la Llave, Jalisco y Sonora concentraron el mayor número.

### Mapa

#### Población pecuaria en México, 2018



### Estimaciones de GEI procedentes del subsector ganadería (1990-2018)

Las emisiones procedentes de la fermentación entérica y el manejo de estiércol en México fueron, en promedio, 55 058.9 Gg de CO<sub>2</sub>e al año. En la gráfica

2 se muestra el valor correspondiente a la suma de los gases CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O provenientes de estas acciones en unidades de CO<sub>2</sub>e (GWP<sub>100</sub>).

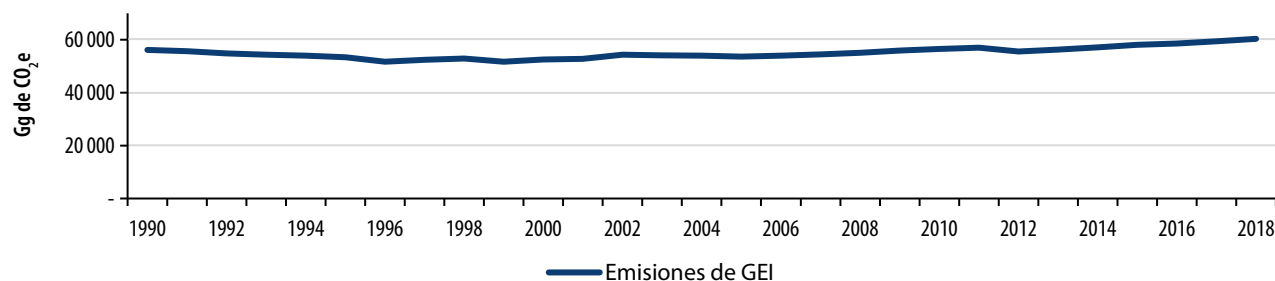
De 1990 al 2018, las emisiones presentaron un incremento de 7.4 %; el menor volumen sucedió en 1996 con 51 692.5 Gg de CO<sub>2</sub>e, contrastando con el 2018, que fue el año en el que más se emitieron con 60 335.9 Gg de CO<sub>2</sub>e (ver gráfica 2). La incertidumbre general de la tendencia para el cálculo de las emisiones de GEI en el periodo 1990-2018 es de ± 33.79 por ciento.

### Emisiones de GEI en Gg de CO<sub>2</sub>e (GWP100) en el 2018

En la gráfica 2 podemos observar la magnitud de las emisiones para el periodo en estudio; sin embargo, resulta necesario desagregar los resultados para poder identificar la contribución diferencial del CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O, así como su relación con los hatos ganaderos. Para ello, se empleó el 2018 cuando, como ya se mencionó, se emitieron 60 335.9 Gg de CO<sub>2</sub>e, de los cuales 90.4 % correspondió a CH<sub>4</sub> y 9.6 %, al N<sub>2</sub>O (ver gráfica 3). Con 34 820 271 individuos, los bovinos cárnicos y de leche son los hatos ganaderos que más emiten GEI, principalmente CH<sub>4</sub>. Si bien la población de ganado porcino no es muy numerosa (con 17.8 millones son el tercer hato en importancia numérica en el país), la proporción de emisiones de N<sub>2</sub>O es alta. De manera contraria, el ovino no aporta una cantidad considerable de este gas.

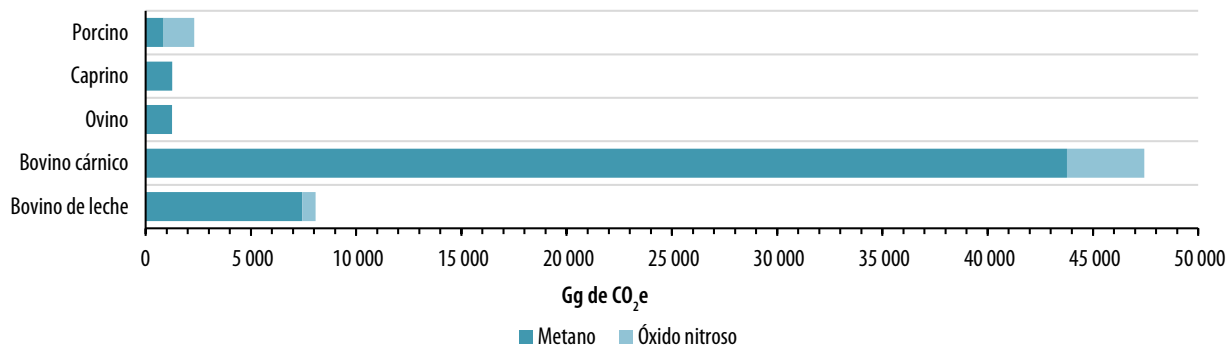
Gráfica 2

#### Emisiones de metano y óxido nítrico generadas por la fermentación entérica y el manejo de estiércol en Gg CO<sub>2</sub>e (GWP<sub>100</sub>)



Gráfica 3

### Aporte de metano y óxido nítrico en Gg de CO<sub>2</sub>e (GWP<sub>100</sub>) por hato ganadero en el 2018



### Comparación de las estimaciones de GEI bajo la conversión a Gg de CO<sub>2</sub> con distintos horizontes de tiempo (GWP<sub>20</sub> y GWP<sub>100</sub>)

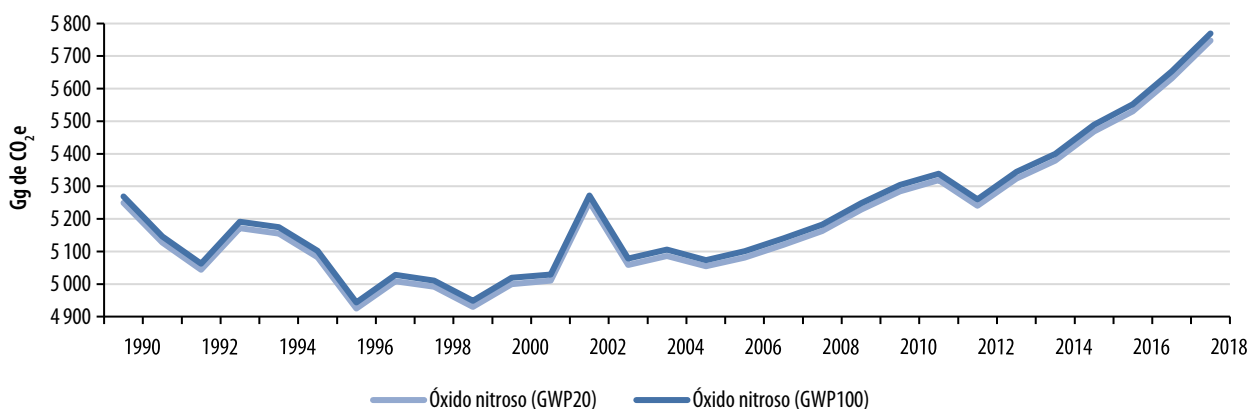
La diferencia anual entre las estimaciones de N<sub>2</sub>O es, en promedio, 19.3 Gg de CO<sub>2</sub>e (ver gráfica 4). En este caso, debido a las propiedades intrínsecas de N<sub>2</sub>O, podemos apreciar que el uso de distintos GWP no es un factor que modifique la respuesta en ambos escenarios. De manera contraria, para el gas CH<sub>4</sub>, la diferencia observada como resultado de la conversión a CO<sub>2</sub>e a 20 y 100 años es amplia. El potencial de calentamiento del CH<sub>4</sub> y la conversión con un GWP<sub>20</sub> es, en promedio, 100 255.8 Gg de CO<sub>2</sub>e, mayor que la calculada con un GWP a 100 años (ver gráfica 5).

### Discusión

Los inventarios nacionales de emisiones cuantifican los GEI generados por las actividades humanas. En diversos trabajos, se ha reportado la importancia que tienen las provenientes de la ganadería. Al igual que en México, donde los bovinos aportan una gran proporción de CH<sub>4</sub> (ver gráfica 3), el ganado en otros países de América Latina se ubica dentro de las principales fuentes de GEI, por ejemplo: 71 % de las emisiones de CH<sub>4</sub> reportadas por Brasil en el 2004 provienen de la fermentación entérica (MCTI, 2004); las emisiones derivadas de los hatos en Chile en 2016 fueron de 42 830 Gg de CO<sub>2</sub>e, donde los bovinos contribuyeron con 85.9 % (MMA, 2018); en Colombia, el ganado generó 13 %

Gráfica 4

### Comparación de las emisiones de óxido nítrico provenientes del manejo de estiércol bajo distintos potenciales de calentamiento global





(22 798.5 Gg de CO<sub>2</sub>e) de las emisiones totales en el 2012 (IDEAM *et al.*, 2015); en Perú, para el 2014, el ganado contribuyó con 9 387 Gg de CO<sub>2</sub>e, es decir, 6 % de las emisiones del país (MINAM, 2019).

Dada la relevancia de las actividades ganaderas en distintos países de Latinoamérica y al incremento estimado en las emisiones de GEI para el 2018 en México (60 335.9 Gg de CO<sub>2</sub>e), como se observa en la gráfica 2, resulta importante la implementación de medidas de mitigación y adaptación en este sector ante el cambio climático para cumplir con las metas planteadas en los acuerdos internacionales en materia de reducción de emisiones. Por un lado, tener estimaciones más precisas requiere una mejora en la calidad de los datos de actividad del país, así como de la inversión en el desarrollo de FE acordes con la diversidad de condiciones presentes en México y, por ende, usar lo menos posible FE por defecto.

A la fecha, numerosos trabajos indican las limitaciones de emplear la métrica del CO<sub>2</sub>e bajo un horizonte de 100 años (GWP<sub>100</sub>). Lo anterior, debido a las diferencias físicas de cada gas, como la eficiencia radiativa y su persistencia en la atmósfera, además de las características intrínsecas y la modelación específica para cada uno (IPCC, 2013; Levasseur *et al.*, 2016; Allen *et al.*, 2016; Lynch, 2019).

De manera simplificada, las emisiones de los gases no-CO<sub>2</sub> son multiplicadas por valores que describen el incremento de CO<sub>2</sub> que podría resultar en

un impacto climático equivalente (Lynch, 2019). No obstante, el peso asignado a las emisiones de gases no-CO<sub>2</sub> puede diferir significativamente dependiendo de la métrica empleada. Por lo tanto, confiar en una sola medición puede ocultar diferencias importantes en el impacto climático de los diferentes GEI (Lynch, 2019); por ejemplo, en los forzadores de vida corta, como el CH<sub>4</sub>, se puede observar que el escenario comúnmente utilizado (GWP<sub>100</sub>) enmascara los graves efectos del metano a corto plazo (ver gráfica 5).

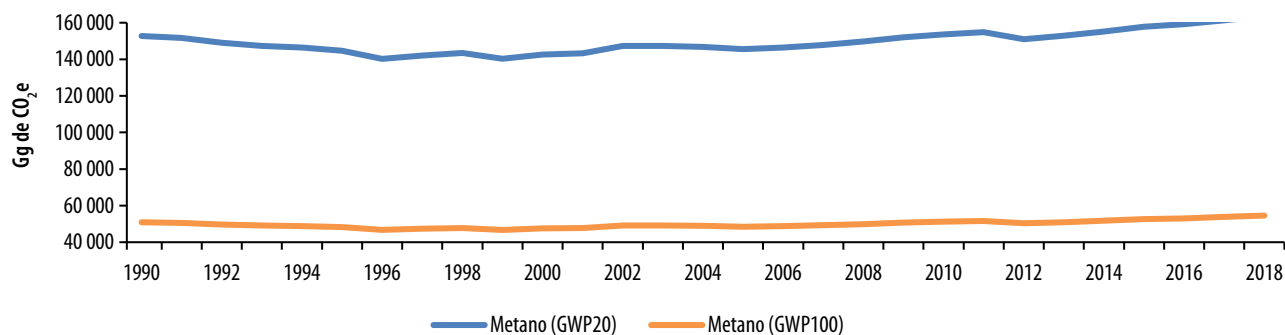
La diferencia entre la métrica del GWP<sub>20</sub> y la del GWP<sub>100</sub> es, en promedio, 100 255.8 Gg de CO<sub>2</sub>e (ver gráfica 5). Allen *et al.* (2018) indican que emplear GWP convencionales para convertir los contaminantes de vida corta a CO<sub>2</sub>e subrepresenta su impacto en la temperatura global, lo cual no sucede para gases con una persistencia promedio en la atmósfera alta, como es el caso del N<sub>2</sub>O (ver gráfica 4). En este sentido, se ha propuesto que una métrica complementaria podría ser mediante el potencial de cambio en la temperatura global (GTP, por sus siglas en inglés) (Allen *et al.*, 2018), así como la inclusión de la estimación GWP bajo distintos horizontes de tiempo (Allen *et al.*, 2016; Levasseur *et al.*, 2016).

### Factores de emisión y datos de actividad

El IPCC permite tres niveles de precisión para realizar las estimaciones de GEI; el *Tier 1* es el método

Gráfica 5

#### Comparación de las emisiones de metano proveniente del manejo de estiércol y la fermentación entérica bajo distintos potenciales de calentamiento global



más sencillo y que requiere de datos básicos, pero que asocia altas incertidumbres. En este trabajo, la incertidumbre de la tendencia en las estimaciones es de  $\pm 33.79\%$ ; poder reducirla requiere de datos de actividad más detallados y completos. A diferencia de otros sectores, al tratarse de poblaciones ganaderas, los aspectos demográficos adquieren relevancia para realizar la estimación de GEI. Datos como la especie, la edad, el sexo y el peso, así como la calidad, la cantidad de alimento y su digestibilidad, resultan particularmente importantes para realizar el cálculo de la producción de  $\text{CH}_4$  (Hristov *et al.*, 2013; Sejian y Nakvi, 2013; Rotz *et al.*, 2018). La base de datos del SIACON, si bien es de utilidad, presenta ciertas limitaciones para realizar un inventario de GEI más preciso. Por mencionar una, tan solo en bovinos se requerirían datos de las distintas categorías de edad: novillo, ternera, toro, etcétera. Asimismo, esta base de datos no reporta las especies exóticas (búfalos, camellos y llamas, entre otras), además de que no se incluye el registro de caballos, mulas y asnos.

Guzmán y Sager (2013) señalan, para un estudio de caso, que entre los niveles *Tier 1* y *Tier 2* puede presentarse una diferencia de 7.8% en el volumen de emisiones de  $\text{CH}_4$ , calculadas para la fermentación entérica en bovinos. En nuestro trabajo, para utilizar el nivel *Tier 2* del IPCC se requeriría el uso de datos como las necesidades energéticas del animal, el tipo de alimentos ingeridos y la tasa de conversión de  $\text{CH}_4$  para el alimento (IPCC, 2006). Si bien recabar dicha información puede ser una tarea compleja, y más tratándose de una base de datos nacional, al contar tan solo con el valor del peso del animal (kg) se podría obtener una mejor estimación de las emisiones de GEI. Por ejemplo, Smith *et al.* (2015) modificaron la ecuación *Tier 1* del IPCC; al integrar el peso de los animales mostraron un mejor ajuste que el proporcionado por un nivel *Tier 2*, es decir, la incertidumbre de las estimaciones se redujo, algo deseable para esta clase de inventarios, cuya incertidumbre asociada tiende a ser alta. Un método preciso para registrar las emisiones de  $\text{CH}_4$  de la fermentación entérica son las cámaras de respiración (Hammond *et al.*, 2014). Sin embargo, es relativamente costoso y

presenta ciertas dificultades para poder adecuarlo a las prácticas ganaderas rurales del país.

Por otro lado, para el manejo de estiércol, se ha reportado que factores climáticos como la variación estacional de la temperatura del suelo ( $^{\circ}\text{C}$ ) y la precipitación (mm) intervienen en el proceso para la generación de emisiones de  $\text{N}_2\text{O}$ , derivadas de la descomposición de las excretas y la orina del ganado bovino cárnico y de leche (Lou *et al.*, 2019). En este sentido, en la manipulación de heces se han documentado diferencias considerables en los FE provenientes de estudios de caso para un mismo tipo de manejo y disposición de los excrementos (Rotz, 2018). Las emisiones de  $\text{CH}_4$  de los desechos animales son afectadas por su tipo y cantidad, las características del sistema de manejo de estiércol y las condiciones climáticas en las cuales se descomponen (González, 1994).

En el ámbito nacional, debido a la limitación de FE (ya sea para el cálculo de fermentación entérica, o bien, para el manejo de estiércol) es común el uso del nivel *Tier 1* para la elaboración de los inventarios de GEI. Tal es el caso de algunos de los estados con el mayor número de cabezas de ganado, como Oaxaca, Chiapas, Sinaloa y Sonora, como se puede observar en el mapa (Chacón *et al.*, 2010; Noriega *et al.*, 2011; Covantes y Flores, 2012; De Jong *et al.*, 2015). El uso de factores de emisión por defecto, si bien es correcto, no es la mejor práctica debido a la alta incertidumbre asociada. En el contexto de la variedad y la variabilidad de condiciones ambientales presentes en México, resulta necesaria la investigación puntual para: 1) ampliar el catálogo de la información de la población pecuaria del país y 2) el desarrollo de FE acordes con las condiciones climáticas de las distintas regiones. Posiblemente sea una tarea más probable de conseguir por las entidades federativas que, a su vez, también elaboran inventarios estatales de emisiones de GEI, lo cual, sin duda, ayudará a mejorar la toma de decisiones para la mitigación y adaptación ante el cambio climático mediante mejores estimaciones de GEI.

## Conclusiones

Contrario a lo esperado, las emisiones de GEI provenientes del ganado se han incrementado poco en un periodo de 28 años. No obstante, representan la tercera fuente en el país. Resulta indispensable atender las limitaciones en materia de inventarios de GEI como una medida para contar con mejores estimaciones y fortalecer la toma de decisiones en el sector.

Al identificar los hatos ganaderos que más contribuyen con emisiones de GEI, se podrían enfocar recursos para: 1) recabar la información necesaria para poder mejorar las estimaciones, 2) destinar recursos para el desarrollo de factores de emisión acordes con la variedad y variabilidad de condiciones presentes en el país para los hatos que más los generan y 3) desarrollar medidas de mitigación y adaptación al cambio climático enfocadas a las fuentes principales de emisiones de GEI en el sector.

La conversión comúnmente empleada mediante el cambio a CO<sub>2</sub>e para un escenario de 100 años puede tener repercusiones en la toma de decisiones en materia de mitigación y adaptación del cambio climático, pues se enmascaran los graves efectos a corto plazo de forzadores de vida corta, como el metano, principal gas generado en el subsector ganadero.

## Fuentes

- Allen, M., J. Fuglestvedt, K. Shine, A. Reisinger, R. Pierrehumbert and P. Foster. "New use of global warming potentials to compare cumulative and short-lived climate pollutants", en: *Nature Climate Change*. United Kingdom, 2016, pp. 773-777.
- Allen, M., K. Shine, J. Fuglestvedt, R. Millar, M. Cain, D. Frame and A. Marcey. "A solution to the misrepresentations of CO<sub>2</sub>-equivalent emissions of short-lived climate pollutants under ambitious mitigation", en: *Climate and Atmospheric Science*. United Kingdom, 2018, pp. 16.
- Bell, M., R. Eckard and J. Pryce. "Breeding dairy cows to reduce greenhouse gas emissions", en: *Livestock Production*. Croatia, InTech, 2012, pp. 47-52.

- Bonilla, J. y C. Lemus. "Emisión de metano entérico por rumiantes y su contribución al calentamiento global y al cambio climático", en: *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*. México, 2012, pp. 215-246.
- Carmona, J., D. Bolívar y L. Giraldo. "El gas metano en la producción ganadera y alternativas para medir sus emisiones y aminorar su impacto a nivel ambiental y productivo", en: *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*. Colombia, 2005, pp. 49-63.
- Chacón, D., M. Giner, M. Vázquez, J. Maldonado, S. Roe y R. Anderson. "Emisiones de gases de efecto invernadero en Sonora y sus proyecciones de casos de referencia 1990-2020", en: *Comisión de Cooperación Ecológica Fronteriza*. Ciudad Juárez, Chihuahua, México, 2010, pp. 7-17.
- Covantes, C. y M. Flores. *Inventario de gases de efecto invernadero del estado de Sinaloa, México*. Sinaloa, México, 2012, pp. 60-87 (DE) consultado el 1 de agosto de 2019 en [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/40602/2012\\_sin\\_inventario\\_gei.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/40602/2012_sin_inventario_gei.pdf)
- Dangal, S., H. Tian, B. Zhang, S. Pan, C. Lu and J. Yang. "Methane emissions from global livestock sector during 1890-2014: Magnitude, trends and spatiotemporal patterns", en: *Global Change Biology*. 2017, pp. 4147-4161.
- De Jong, B., V. Maldonado, F. Rojas, M. Olguín, V. Cruz, M. Castillo, G. Jiménez, E. Mirinidou, A. Flores y S. Ochoa. *Inventario estatal de emisiones de gases de efecto invernadero de Chiapas, México*. México, 2015, pp. 57-59 (DE) consultado el 1 de agosto de 2019 en [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/41966/chia\\_inventario.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/41966/chia_inventario.pdf)
- Eggleston, H. S., L. Buendia, K. Miwa, T. Ngara and K. Tanabe. *2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme. Volume 4: Agriculture, Forestry and Other Land Use*. Japan, IGES, 2006.
- FAO. *Global Livestock Environmental Assessment Model (GLEAM)*. Rome, 2017 (DE) consultado el 19 de agosto de 2019 en <http://www.fao.org/gleam/results/es/#c330595>
- \_\_\_\_\_. *Ganadería sostenible y cambio climático en América Latina*. Rome, 2019 (DE) consultado el 19 de agosto de 2019 en <http://www.fao.org/americas/prioridades/ganaderia-sostenible/es/>
- González, E. *Inventario de emisiones de metano por actividades pecuarias. El caso de los desechos del ganado bovino y su relación con los climas actuales y futuros en México*. México, Universidad Nacional Autónoma de México, 1994, pp. 75.
- Guzmán, M. and R. Sager. "Inventario de metano entérico de los sistemas de producción de carne para San Luis en el año 2009", en: *Revista de Investigaciones Agropecuarias*. 2013, pp. 88-94.
- Hristov, J., J. Oh, J. Firkins, J. Dijkstra, E. Kebreab, G. Waghorn, H. Makkar, A. Adesogan, W. Yang, C. Lee, P. Gerber, B. Henderson and J. Tricarico. "Mitigation of methane and nitrous oxide emissions from animal operations: I. A review of enteric methane mitigation options", en: *Journal of Animal Science*. 2013, pp. 5045-5069.

- IDEAM. *Primer informe bienal de actualización de Colombia ante Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático*. Colombia, Instituto de Hidrología, Metodología y Estudios Ambientales, 2015.
- INECC. *Inventario nacional de emisiones de gases y compuestos de efecto invernadero 1990-2015*. México, Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático, 2018.
- IPCC. *Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories. The IPCC Plenary accepted this report at its 16th session held in Montreal from 1996*.
- Levasseur, A., O. Cvallet, J. Fuglestedt, T. Gasser, D. Johansson, S. Jørgensen, M. Raugei, A. Reisinger, G. Schivley, A. Strømman, K. Tanaka and F. Cherubini. *Enhancing life cycle assessment from climate science: Review of recent findings and recommendations for application to LCA. Ecological Indicators*. 2016. pp. 163-174.
- Lou, J., S. Sagar, T. Weerden and C. Klein. "Quantification of nitrous oxide emission and emission factors beef and dairy cattle excreta deposited on grazed pastoral hill lands", en: *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 2019, pp.103-113.
- Lynch, J. "Availability of disaggregated greenhouse gas emissions from beef cattle production: A systematic review", en: *Environmental Impact Assessment Review*. 2019.
- MMA. *Informe del Inventario nacional de gases de efecto invernadero de Chile. Serie 1990-2013*. Chile, Ministerio del Medio Ambiente, 2017.
- MCTI. *Comunicación inicial de Brasil a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático*. Brasil, Ministerio de Ciencia y Tecnología, 2014, pp. 131-140.
- Myhre, G., D. Shindell, F.-M. Bréon, W. Collins, J. Fuglestedt, J. Huang, D. Koch, J. F. Lamarque, D. Lee, B. Mendoza, T. Nakajima, A. Robock, G. Stephens, T. Takemura and H. Zhang. "Anthropogenic and Natural Radiative Forcing", en: *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. United Kingdom and New York, NY, USA, 2013.
- Noriega, D., L. Becerra, S. Montero, A. Morán, A. Cruzado, Z. Tzompa y L. Riva. *Inventario de emisiones de contaminantes criterio y gases de efecto invernadero de Oaxaca, México*. México, Centro Mario Molina para Estudios Estratégicos sobre Energía y Medio Ambiente, A. C., 2011 (DE) consultado el 19 de agosto de 2019 en <https://www.oaxaca.gob.mx/semaedeso/wp-content/uploads/sites/59/2016/02/Inventario-de-Emissiones-Oaxaca.-CMM.-Ago-22-2011.pdf>
- Ordóñez, J., T. Hernández, A. Galicia, F. Jiménez, M. Ordóñez, J. Torres, J. León, A. Rico, M. Hernández, F. González y J. Alejandro. "Agricultura", en: *Inventario Nacional de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero 1990-2010*. Ciudad de México, México, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2013, pp. 105-122.
- Rendón, J., J. Pinos and E. A. Kebreab. "Animal nutrition strategies to reduce greenhouse gas emissions in dairy cattle", en: *Acta Universitaria*. 2018, pp. 34-41.
- Rotz, A. "Symposium review: Modeling greenhouse gas emissions from dairy farms", en: *Journal of Dairy Science*. 2018, pp. 6675-6690.
- Sejian, V. and S. Naqi. "Livestock and Climate Change: Mitigation Strategies to Reduce Methane Production", en: *Greenhouse Gases: Capturing, Utilization and Reduction*. 2013.
- SEMARNAT. México. *Quinta comunicación nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático*. México, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2012, pp. 215-218.
- \_\_\_\_\_. *Inventario nacional de emisiones de gases de efecto invernadero 1990-2010*. México, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2013, pp. 105-122.
- \_\_\_\_\_. *México. Inventario nacional de emisiones de gases de efecto invernadero y compuestos de efecto invernadero 1990- 2015*. México, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2018, pp. 129-146.
- Servicio de Información Agroalimentaria de Consulta (SIACON). *Software*. 2019 (DE) consultado el 2 de octubre de 2019 en <https://www.gob.mx/siap/documentos/siacon-ng-161430>
- Smith, F., K. Lyons, P. Wagner and S. Elliott. "The importance of considering animal body mass in IPCC greenhouse inventories and the underappreciated role of wild herbivores", en: *Global Change Biology*. 2015, pp. 3830-3888.
- Stocker, T. F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S. K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex y P. M. Midgley (eds.). "Glosario", en: *Cambio Climático 2013. Bases físicas. Contribución del grupo de trabajo I al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático*. IPCC, Reino Unido y Nueva York, NY, Estados Unidos de América, 2013.

# Nuevo escenario de baja fecundidad en México a partir de información censal

*New Pattern of Low Fertility in Mexico  
Using Census Data*

Cecilia Inés Gayet\* y Fatima Juárez\*\*

\* Facultad Latinoamericana de Ciencias Sociales (FLACSO) México, cgayet@flacso.edu.mx

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



Escuela/Arturo López

La información del Censo de Población y Vivienda 2020 de México muestra que, por primera vez, el nivel de fecundidad del país se encuentra bajo el de reemplazo poblacional, con una Tasa Global de Fecundidad (TGF) de 1.9 hijos por mujer. Este artículo tiene por objetivo analizar la evolución de la fecundidad, las diferencias por nivel de escolaridad y presentar diferentes tipos de tasas para responder si se está presentando una posposición de la edad de las mujeres al primer hijo. A partir de la información de las muestras censales del 2000, 2010 y 2020, se presentan tasas específicas de fecundidad por edad desplegada y por grupos quinquenales para 1999, 2009 y 2019, así como las incondicionales y condicionales de nacimientos de orden 1. Se estiman TGF, edades medias tanto de la fecundidad como al primer hijo y por niveles de escolaridad.

**Palabras clave:** tasas de fecundidad; calendario de la fecundidad; diferenciales educativos; México; censos.

Recibido: 21 de abril de 2021.

Aceptado: 5 de julio de 2021.

## Introducción

La fecundidad en México se encuentra en un momento de cambio. Su descenso ha sido ampliamente estudiado (Welti-Chanes, 2012; Mier y Terán y García Guerrero, 2012; Zavala, 2014; Juárez y Gayet, 2020) y la nueva información que proporciona el Censo de Población y Vivienda (CPV) 2020 indica que ha seguido cayendo y que, con una Tasa Global de Fecundidad (TGF) de 1.9 hijos por mujer para el 2019 (INEGI, 2021a), por primera vez el país registra una fecundidad por debajo del nivel del reemplazo poblacional (2.1 hijos por mujer), que es el convencionalmente considerado como indicador del reemplazo de la población en el largo plazo (Wilson y Pison, 2004).

En muchos de los países donde ha descendido la fecundidad por debajo del nivel de reemplazo, como algunos de Europa y Asia oriental, ha ocurrido una postergación de la edad de las mujeres del inicio de la procreación. Allí, como resultado de cambios culturales, tienen sus hijos a edades cada vez mayores y au-

Data from Mexico's 2020 Census shows for the first time that Mexico's fertility level is below replacement level, with a total fertility rate of 1.9 children per woman. This article aims to analyze the evolution of fertility, the differences by level of schooling, and to present different types of rates to answer whether there is a postponement at the age of first birth. Using information from census samples for the years 2000, 2010 and 2020, we present specific fertility rates by single-year age and by five-year age groups for the years 1999, 2009 and 2019, as well as unconditional rates and conditional rates of first births order. We estimate total fertility rates, mean ages at motherhood and mean ages at first birth for the last three censuses and by level of education.

**Key words:** fertility rates; fertility timing; educational differences; Mexico; census.

menta la proporción de las que terminan su periodo fértil sin descendencia. En otras naciones, en cambio (en especial en la región de América Latina), la fecundidad por debajo del nivel de reemplazo poblacional se da con una baja edad a la nupcialidad y a la maternidad, pero con rápida reducción de la fecundidad en paridades bajas a través de la anticoncepción o de la esterilización (Lesthaeghe, 2020).

De acuerdo con Rosero-Bixby *et al.* (2009), si en América Latina se produce un aplazamiento de la edad a la maternidad (ya que algunos de los países tienen tasas por debajo del reemplazo poblacional o cerca de él), se alcanzará, más tarde o más temprano, un nivel de fecundidad muy bajo. Por eso, la necesidad de investigar tanto el nivel de fecundidad como su calendario,<sup>1</sup> es decir, las tendencias de las edades en que las mujeres están teniendo a sus hijos.

1 El calendario de la fecundidad se refiere a la distribución de los nacimientos por edad de la mujer y puede ser más temprano o más tardío según se ubiquen en edades bajas o mayores de la mujer. En este trabajo, *edad a la fecundidad* y *edad a la maternidad* se consideran sinónimos.

Los estudios realizados en Latinoamérica muestran una heterogeneidad de situaciones: algunos países todavía están concluyendo la transición del descenso de la fecundidad con TGF superiores a tres hijos por mujer, en tanto que otros las han presentado por debajo del nivel de reemplazo poblacional durante un periodo largo (Esteve *et al.*, 2013). Sin embargo, se habla de la *paradoja* de esta región que tiene una fecundidad baja con un calendario de esta a edades jóvenes (Bozon, Gayet y Barrientos, 2009; Esteve y Florez-Paredes, 2014; Lima *et al.*, 2018), situación muy diferente a la de las naciones europeas, que fueron pioneras en la experiencia de la fecundidad por debajo del nivel de reemplazo poblacional.

Investigaciones recientes muestran que una de las características de algunos países de América Latina es el patrón bimodal de la fecundidad: existe un grupo de mujeres que tiene a sus hijos alrededor de los 20 años de edad y otro, hacia los 30 (Rosero-Bixby *et al.*, 2009; Nathan, 2015; Lima *et al.*, 2018; Rios-Neto *et al.*, 2018; Nathan y Pardo, 2019).

Entre las explicaciones sobre las diferencias en los niveles y el calendario de la fecundidad en Latinoamérica se ha puesto de relieve la influencia de la escolaridad (Castro y Juárez, 1995; Rosero-Bixby *et al.*, 2009; Esteve y Florez-Paredes, 2014; Lima *et al.*, 2018). Juárez y Gayet (2020), con información de la Encuesta Nacional de la Dinámica Demográfica (ENADID)<sup>2</sup> de México, ediciones 1997 y 2014, mostraron que la TGF era más alta entre las mujeres de menor escolaridad pero que, en ese periodo, eran las que habían tenido el mayor descenso.

Esteve y Florez-Paredes (2014) sostienen que, a pesar de los incrementos en la escolaridad en distintas naciones de América Latina, los descensos en las tasas de fecundidad no parecen ir acompañados de un retraso de la edad al primer hijo, situación a la que los autores denominan la *paradoja de la estabilidad*. Por el contrario, Lima *et al.* (2018), con información de cuatro países (Brasil, Chile, Costa Rica y Uruguay), indican que se ha dado el inicio

de la posposición de la edad al primer hijo desde principios de la década del 2000, aunque a un ritmo mucho menor que el que se había presentado en Europa y los países de Asia oriental, de alrededor de un año por década; al incluir en el estudio los diferenciales por niveles de escolaridad, sostienen que el patrón bimodal de las tasas de fecundidad del primer hijo por edad va de la mano con la ampliación de los diferenciales en estos. Además, señalan que la posposición entre la población femenina con secundaria y más contrasta con la persistente edad temprana a la maternidad de las mujeres con nivel de primaria o menos.

Los indicadores con los que se han estudiado los cambios en el calendario de la fecundidad en investigaciones previas en América Latina son variados. La TGF, que es la medida más utilizada en las publicaciones de la región, tiene el problema de ser de cohorte sintética, que puede dar niveles más bajos (cuando se posterga la edad al primer hijo) o más altos (cuando se adelanta esta) en comparación con la fecundidad final de las cohortes (Cabella y Pardo, 2016). Por ello, se ha propuesto completar el análisis con tasas que consideran las edades a las que las mujeres tienen su primer hijo (nacimientos de primer orden) que permiten ver la tendencia de aplazamiento de la fecundidad, ya sea a través de tasas incondicionales (llamadas de tipo II) o condicionales (que se denominan de tipo I) (Kohler y Ortega, 2002; Nathan, 2015; Lima *et al.*, 2018); a estas también se les conoce como de exposición/ocurrencia o *Hazard*, y se diferencian de las incondicionales en que el denominador solo incluye a las personas que están en riesgo de un evento (en este caso, las mujeres sin descendencia, que son las únicas expuestas al riesgo de tener el primer hijo), en tanto que el denominador de las de tipo II incluye a todas las mujeres de la edad (Sullivan, 2005).

Con los datos del *Cuestionario ampliado* del CPV 2020 es posible estimar la TGF, la edad promedio de la fecundidad de las mujeres (denominada edad media a la maternidad), así como la edad media a la que ellas tienen a su primer hijo. Con base en esta información, deseamos saber cuál es el calen-

<sup>2</sup> Programa estadístico del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI).

dario de la fecundidad en México, si se presenta un patrón bimodal como en otros países de América Latina y qué tan heterogéneas son estas medidas, de acuerdo con el nivel educativo de las mujeres, además de compararlas con las obtenidas a partir de las muestras de los cuestionarios ampliados de los censos del 2000 y 2010 para observar cambios en el tiempo; es decir, se trata de un análisis de la información de tres eventos censales de población de México para investigar, principalmente, si ha habido un aplazamiento en la edad al primer hijo y si hay diferencias de acuerdo con el nivel de escolaridad de la población femenina.

## Métodos y fuentes de información

Para estimar la fecundidad de un país, existen distintas fuentes de información. El registro de nacimientos de las estadísticas vitales, en combinación con los datos de población que provienen de los CPV y sus proyecciones constituyen un primer recurso. Un segundo son los CPV, que cuentan a los habitantes de cada vivienda del país y proporcionan información sobre las características demográficas, socioeconómicas y culturales de toda la población. Un tercer medio son las encuestas que tienen por objetivo producir indicadores de fecundidad; a nivel nacional, las ENADID han sido muy utilizadas para este componente demográfico, ya que incluyen elementos importantes del comportamiento reproductivo, además del número de hijos que ha tenido la mujer y sus fechas de nacimiento, el número ideal de la descendencia, si el último ha sido deseado o planeado, la intención de tener uno más en el futuro, el uso de anticonceptivos para evitar un embarazo, etcétera.

En México, la encuesta con mayor número de casos que permite el estudio de la fecundidad es el *Cuestionario ampliado* del CPV. El Censo llega a todas las viviendas del país donde aplica el *Cuestionario básico* y a una muestra representativa, el ampliado con un número mayor de preguntas (INEGI, 2021), en el cual se incluyen preguntas para las mujeres de 12 años de edad o más ya cumplidos sobre el número de hijos que ha tenido y la fecha de na-

cimiento del último. Esta información ha sido utilizada previamente para estimar las tasas de fecundidad del país (Mier y Terán, 2011; Welte-Chanes, 2012). A diferencia de las ENADID, tiene solo dos preguntas para estimar la fecundidad, por lo que no permite ahondar en las motivaciones o deseos reproductivos. Como ventaja, llega a un número mucho mayor de viviendas, con un amplio nivel de desagregación territorial.

Por ser el CPV 2020 la fuente de información más reciente con un gran número de casos de las distintas localidades del país y que permite la comparación en el tiempo con fuentes del mismo tipo, en esta investigación se utilizan las muestras de población de los censos del 2000, 2010 y 2020 de México a las que se les aplicó el *Cuestionario ampliado* (INEGI, 2000; INEGI, 2010; INEGI, 2020). Se trata de información pública que puede obtenerse en el sitio web del Instituto.

Para la estimación de las tasas de fecundidad, se utilizaron las preguntas sobre edad de las personas —2000, sección III, pregunta 2; 2010, sección III, pregunta 2; y 2020, sección II, pregunta 4: “¿Cuántos años cumplidos tiene (NOMBRE)?” — y acerca de la fecha de nacimiento del último hijo nacido vivo que se hace a las mujeres de 12 años o más ya cumplidos —2000, sección III, pregunta 35; 2010, sección III, pregunta 39; y 2020, sección III, pregunta 47: “¿En qué mes y año nació la última hija o hijo nacido vivo de (NOMBRE)?” —.

Se estiman TGF, tasas específicas de fecundidad, incondicionales y condicionales de nacimientos de primer orden, por edad simple y por grupos quinquenales de las mujeres de 15 a 49 años de edad. Para los numeradores de las tasas, se consideran los nacimientos reportados que ocurrieron en el año calendario previo a cada censo (entre enero y diciembre de 1999, 2009 y 2019, y los ocurridos en esos años, pero que no se reportó el mes de nacimiento). Los denominadores de las tasas específicas de fecundidad se forman por las mujeres de cada edad, excluyendo a quienes no respondieron la pregunta sobre el número de hijos que habían tenido y quienes no reportaron el año de



nacimiento del último hijo. En el caso de las tasas incondicionales y condicionales de nacimientos de primer orden, solo se consideran para el numerador los nacimientos de las mujeres que dijeron que tenían un hijo. El denominador de las tasas incondicionales es el mismo que el de las específicas de fecundidad. El denominador de las tasas condicionales se forma por las mujeres de cada edad que dijeron tener cero hijos. El *Anexo 1* incluye las fórmulas utilizadas para la estimación de las tasas.

Estas medidas también se obtienen por niveles escolares de la población femenina. Se construyó la variable escolaridad a partir de las siguientes preguntas de cada muestra censal: 2000, sección III, pregunta 16: “¿Hasta qué grado o año aprobó (pasó) (NOMBRE) en la escuela?” y 17: “¿Para entrar a la carrera (normal, técnica, comercial o profesional) qué estudios le pidieron como requisito?”; 2010, sección III, pregunta 18: “¿Cuál es el último año o grado que aprobó (NOMBRE) en la escuela?” y 19: “¿Qué estudios le pidieron a (NOMBRE) para ingresar a (normal, carrera técnica o comercial, licenciatura, maestría o doctorado)?”; 2020, sección III, pregunta 22: “¿Cuál fue el último grado o año aprobado por (NOMBRE) en la escuela?”.

Los niveles de escolaridad se agruparon en cuatro: 1. Sin escolaridad y algún grado aprobado de primaria hasta primaria terminada —la muestra del XII Censo General de Población y Vivienda (CGPV) 2000 incluye a quienes dijeron que no sabían leer y escribir—; 2. Algún año aprobado de secundaria hasta secundaria terminada (la del CGPV 2000 incluye a quienes dijeron normal con antecedente de primaria); 3. Algún año aprobado de educación media superior que abarca nivel preparatoria, bachillerato o técnico (incluye estudios de normal y técnicos con antecedente de secundaria) hasta media superior terminada; 4. Algún año aprobado de nivel superior, abarca el nivel profesional, universitario, estudios de maestría y doctorado (incluye estudios técnicos con antecedente de preparatoria) hasta nivel superior terminado.

Como toda fuente de información, las muestras censales tienen ventajas y limitaciones, por lo que

se hace necesario considerar las proporciones de no respuesta a las preguntas de interés (Mier y Terán, 2011; Welte-Chanes, 2012). Welte-Chanes (2012) realizó una enumeración de los distintos elementos que pueden producir errores en los operativos censales para la estimación de la fecundidad, algunos de los cuales son difíciles de cuantificar. Sin embargo, se considera que en los censos del 2000 y 2010, la carencia de datos no es importante y la calidad es razonable (Mier y Terán, 2011; Welte-Chanes, 2012).

Nuestro análisis de las muestras censales señala lo siguiente: con la del 2000 se obtuvo información de 2 637 934 mujeres de 15 a 49 años de edad, que representan a 26 415 790 personas del sexo femenino del país; en el 2010, de 3 146 143, representativas de 31 198 707; y la del 2020, de 3 883 613, de 33 760 125. El *Anexo 2* presenta las proporciones de no respuesta de las distintas variables utilizadas para las tres muestras censales. La correspondiente a la pregunta sobre el año de nacimiento del último hijo (que incluye la no respuesta a la pregunta sobre el número de hijos que tuvo la mujer) fue de 4.5 % en el 2000, 4.2 % en el 2010 y 1.04 % en el 2020. Coincidimos con lo que afirma Mier y Terán (2011) para los censos del 2000 y 2010; dados estos porcentajes de no respuesta, se considera que la calidad es razonable y se le añade a esta el CPV 2020.

Se utilizó el factor de expansión en las estimaciones para considerar los efectos del diseño de la muestra. La información se procesó en *Stata SE 15.1*.

## Tendencias de la fecundidad

El cuadro 1 presenta las medidas resumen de la fecundidad en México. En el curso de 20 años, esta ha pasado de tener un nivel considerado alto (casi tres hijos por mujer) a uno bajo (ligeramente por debajo del nivel de reemplazo poblacional), de acuerdo con las estimaciones de la TGF. Esto se ha logrado sin cambios en la edad media de la fecundidad, pero con incrementos en la edad media al primer hijo. La ausencia de modificaciones en la edad media de la fecundidad, que en una primera

instancia podría ser vista como falta de cambios en el calendario de la fecundidad, puede ser interpretada como el resultado de una compensación entre el incremento de la edad media de las mujeres al primer hijo y la interrupción de la fecundidad en órdenes más altos<sup>3</sup> de las de mayor edad (Cabella y Pardo, 2016). El aumento sistemático de la edad media al primer hijo podría ser un indicador de que se está dando una postergación de la fecundidad,

3 Los hijos que tiene una mujer se ordenan del primero al último (primer hijo, segundo hijo, tercer hijo, cuarto hijo, en adelante). Al decir que se reducen los órdenes más altos, significa que disminuye la proporción de mujeres que tienen, por ejemplo, un cuarto, quinto, sexto, séptimo hijo, etcétera.

aunque lenta, ya que solo ha aumentado un año de edad durante esas dos décadas.

El análisis de las tasas específicas de fecundidad por grupos quinquenales de edad permite observar dónde se ha dado el mayor cambio en el tiempo (ver gráfica 1). Si bien las tasas disminuyeron en todos los grupos quinquenales de edad, excluyendo del análisis a las mujeres mayores de 40 años por el escaso número de nacimientos a esas edades; en proporción respecto al censo anterior, los mayores decrementos se dieron entre 1999 y el 2009 en el grupo de edad 35-39 años (decreció la

Cuadro 1

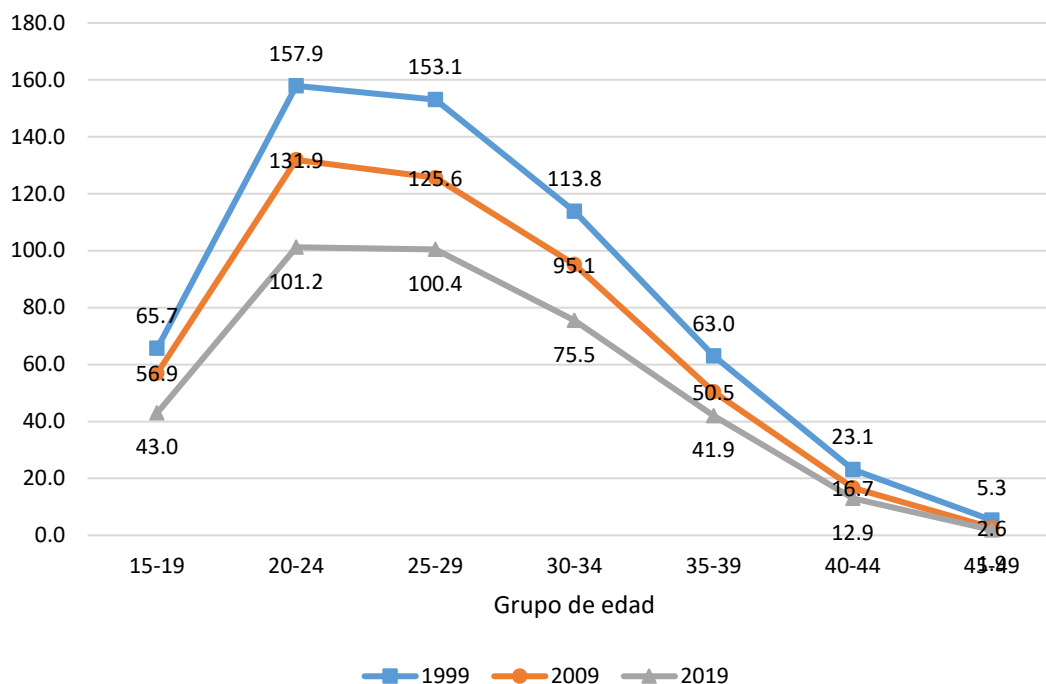
### Medidas resumen de las tendencias de la fecundidad en México

Año	TGF	Edad media de la fecundidad	Edad media al primer hijo
1999	2.9	27.8	23.4
2009	2.4	27.6	23.8
2019	1.9	27.7	24.4

Fuente: cálculos propios con base en INEGI, muestras poblacionales del *Cuestionario ampliado* de los censos de población y vivienda del 2000, 2010 y 2020.

Gráfica 1

### Tasas específicas de fecundidad de las mujeres de 15 a 49 años de edad de México por grupos quinquenales de edad, por mil



Fuente: cálculos propios con base en INEGI, muestras poblacionales del *Cuestionario ampliado* de los censos de población y vivienda del 2000, 2010 y 2020.

tasa 20 %) y entre el 2009 y 2019, en los grupos de edad 15-19 y 20-24 (24 y 23 %, respectivamente). Esto puede interpretarse como un proceso de limitación de la fecundidad de órdenes más altos entre 1999 y el 2009 y una postergación de la fecundidad entre el 2009 y 2019.

Sin embargo, cuando la totalidad de los nacimientos de todos los órdenes se analizan de manera conjunta, el calendario de la fecundidad puede estar más afectado por la frecuencia de los nacimientos de orden más alto que, en general, ocurren a edades a la maternidad más altas y, por ello, se necesitan medidas más refinadas para establecer estas tendencias (Lima *et al.*, 2018). La gráfica 2 presenta las tasas específicas de fecundidad por edad desplegada de la mujer y permite observar la tendencia al aplanamiento de la curva en el censo más reciente, así como la presencia de un ligero pico a los 31 años de edad, que ya se observaba en el 2009. Las tasas específicas de las edades 22 y 23 se reducen entre el 2009 y 2019,

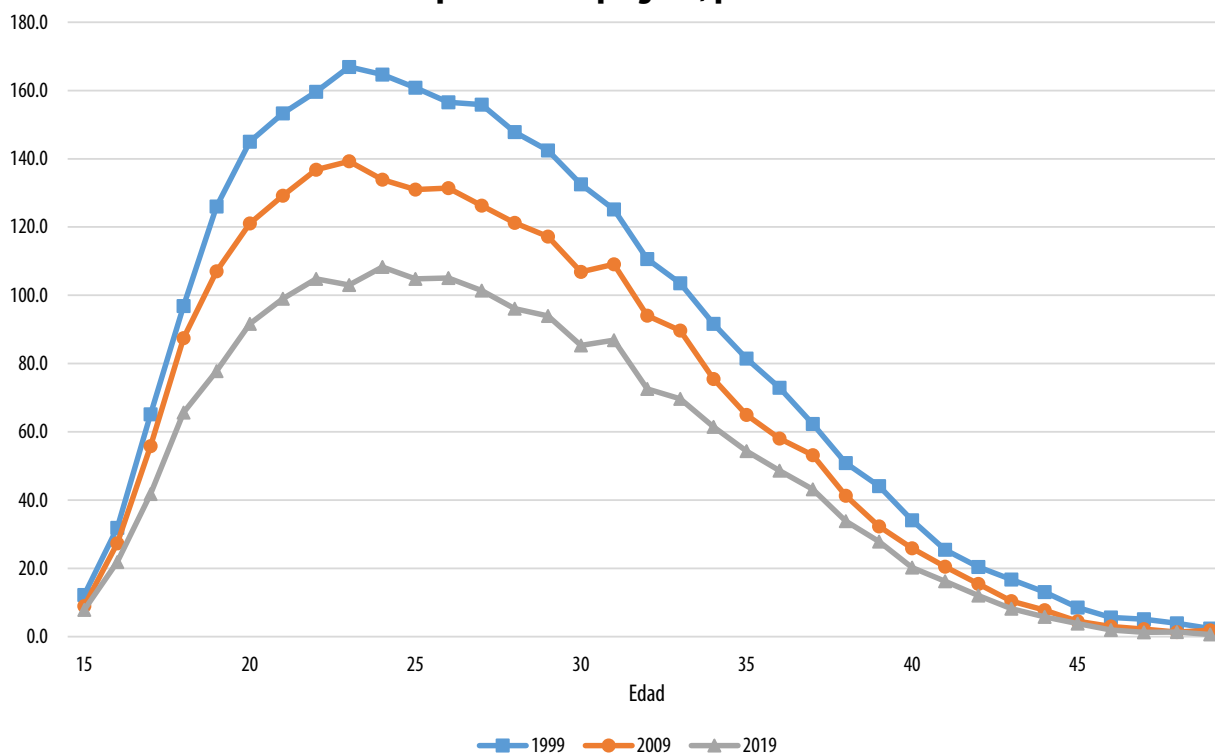
dando por resultado una menor concentración de la fecundidad a edades jóvenes.

El patrón de distribución de la edad de las mujeres a los primeros nacimientos hasta los 40 años que se observa con las tasas incondicionales de orden 1 muestra, en general, una concentración de nacimientos alrededor de los 20 años (ver gráfica 3), tal como se ha observado en otros países de la región (Lima *et al.*, 2018). En cuanto al cambio en el tiempo en México, se observa un pico pronunciado entre los 18 y 20 años en 1999, que se suaviza en el 2019 y se extiende hasta los 22 años. En el 2019 se reducen las tasas del primer hijo en edades jóvenes y se presenta un leve pico pasados los 30 años.

El patrón de las tasas condicionales de fecundidad de primeros nacimientos hasta los 40 años de las mujeres permite observar que México ha pasado de un perfil casi plano en 1999 (que iniciaba con una concentración de nacimientos a los

Gráfica 2

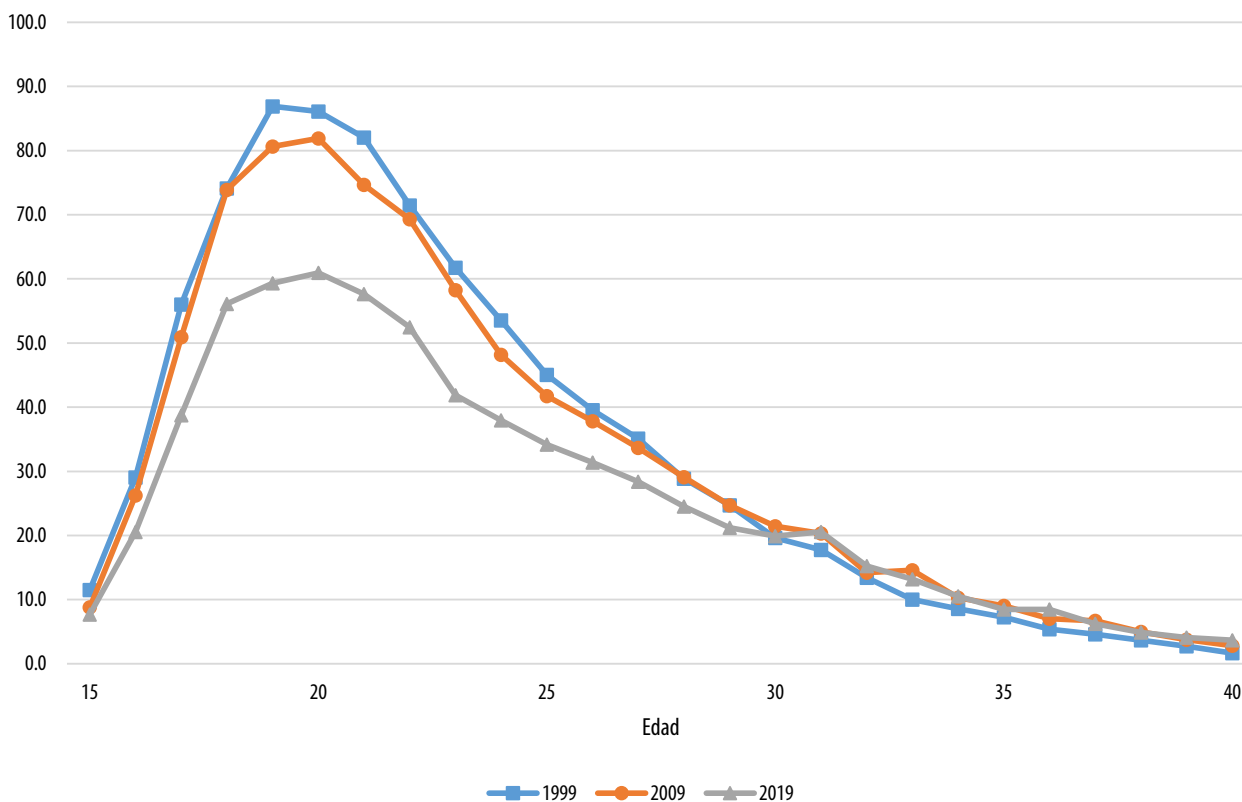
### Tasas específicas de fecundidad de las mujeres de 15 a 49 años de México por edad desplegada, por mil



Fuente: cálculos propios con base en INEGI, muestras poblacionales del *Cuestionario ampliado* de los censos de población y vivienda del 2000, 2010 y 2020.

Gráfica 3

### Tasas incondicionales de fecundidad de nacimientos de orden 1 de las mujeres de 15 a 40 años de México, por mil



Fuente: cálculos propios con base en INEGI, muestras poblacionales del *Cuestionario ampliado* de los censos de población y vivienda del 2000, 2010 y 2020.

20 años de edad de la mujer) a la aparición de un pico pronunciado hacia los 31 años en el 2019 que supera los niveles de la fecundidad alrededor de los 20 años (ver gráfica 4). En el 2019 se observa un patrón bimodal, con una concentración de primeros nacimientos entre los 21 y 22 años de la mujer y otro pico muy marcado a los 31.

### Diferencias de fecundidad por niveles de escolaridad

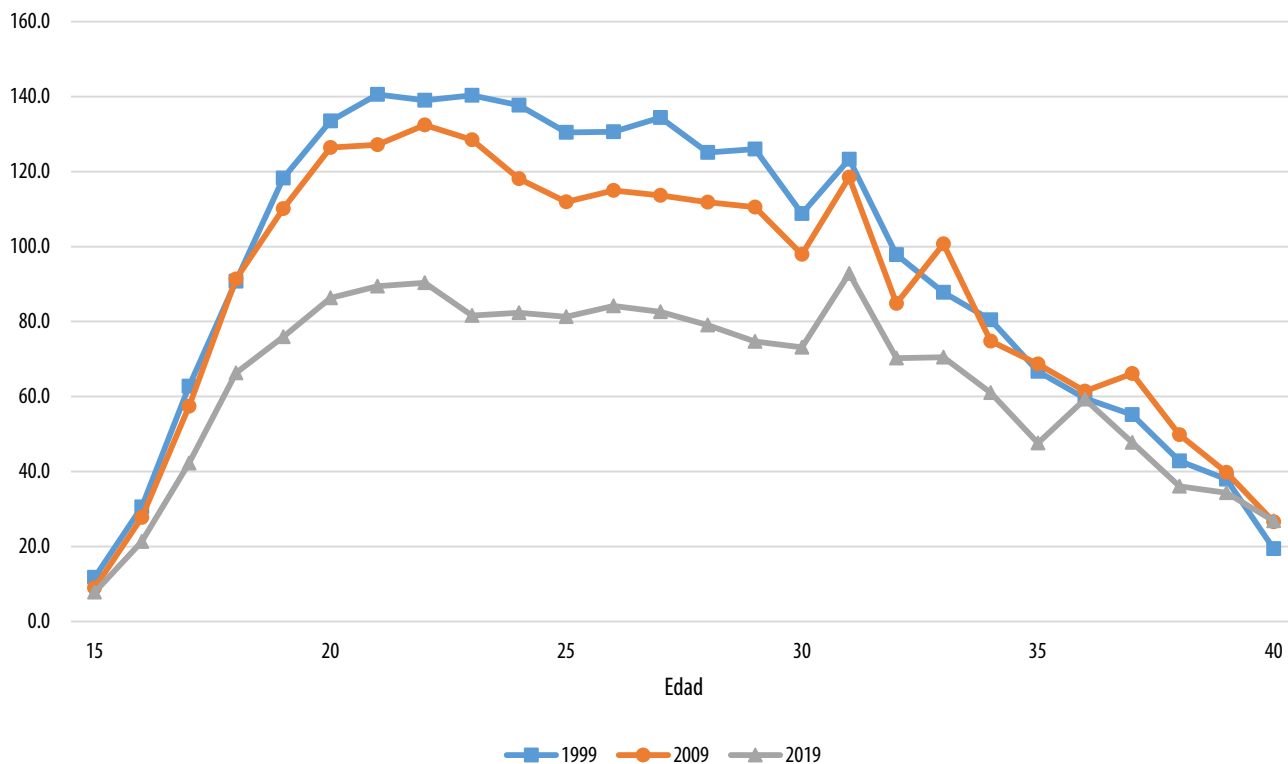
En los años transcurridos entre el Censo del 2000 y el del 2020, México ha experimentado un gran incremento en la escolaridad de las mujeres. El cuadro 2 muestra las proporciones de la población femenina en edad reproductiva de acuerdo con el nivel de escolaridad alcanzado. Los de medio supe-

rior y superior son los que han tenido los mayores aumentos entre el 2010 y el 2020.

Las tendencias de las tasas de fecundidad y las edades medias de la fecundidad y al primer hijo por escolaridad (ver cuadro 3) dan cuenta de los diferenciales que aún existen en el país y las reducciones que se han dado. La brecha en la TGF entre las mujeres de niveles de escolaridad extremos se ha reducido; en 1999, las del más bajo tenían 2.1 hijos más que las del superior y en el 2019 este valor se redujo a 1.5. Sin embargo, se sigue presentando una relación inversa entre la TGF y la escolaridad, siendo mayor la fecundidad para las mujeres de menor nivel escolar; en el 2019, las de nivel superior presentan una tasa de 1.2 hijos por mujer, que en los estudios de fecundidad se considera en extremo bajo (Frejka, 2017).

Gráfica 4

### Tasas condicionales de fecundidad de nacimientos de orden 1 de las mujeres de 15 a 40 años de México, por mil



Fuente: cálculos propios con base en INEGI, muestras poblacionales del *Cuestionario ampliado* de los censos de población y vivienda del 2000, 2010 y 2020.

Cuadro 2

### Proporción de mujeres de 15 a 49 años de edad por nivel escolar en los censos del 2000, 2010 y 2020

Escolaridad	Censo		
	2000 (%)	2010 (%)	2020 (%)
Sin escolaridad y primaria	41.8	26.6	15.7
Secundaria	26.7	31.8	31.5
Media superior	20.5	23.5	29.3
Superior	11.1	18.2	23.5

Nota: las mujeres consideradas son las que se indicaron en la sección de métodos; se excluyen los casos allí señalados.

Fuente: cálculos propios con base en INEGI, muestras poblacionales del *Cuestionario ampliado* de los censos de población y vivienda del 2000, 2010 y 2020.

Cuadro 3

Continúa

### Medidas resumen de las tendencias de la fecundidad en México por nivel de escolaridad

	Nivel de escolaridad			
	Sin escolaridad y primaria	Secundaria	Media superior	Superior
TGF				
1999	3.8	2.9	2.2	1.7

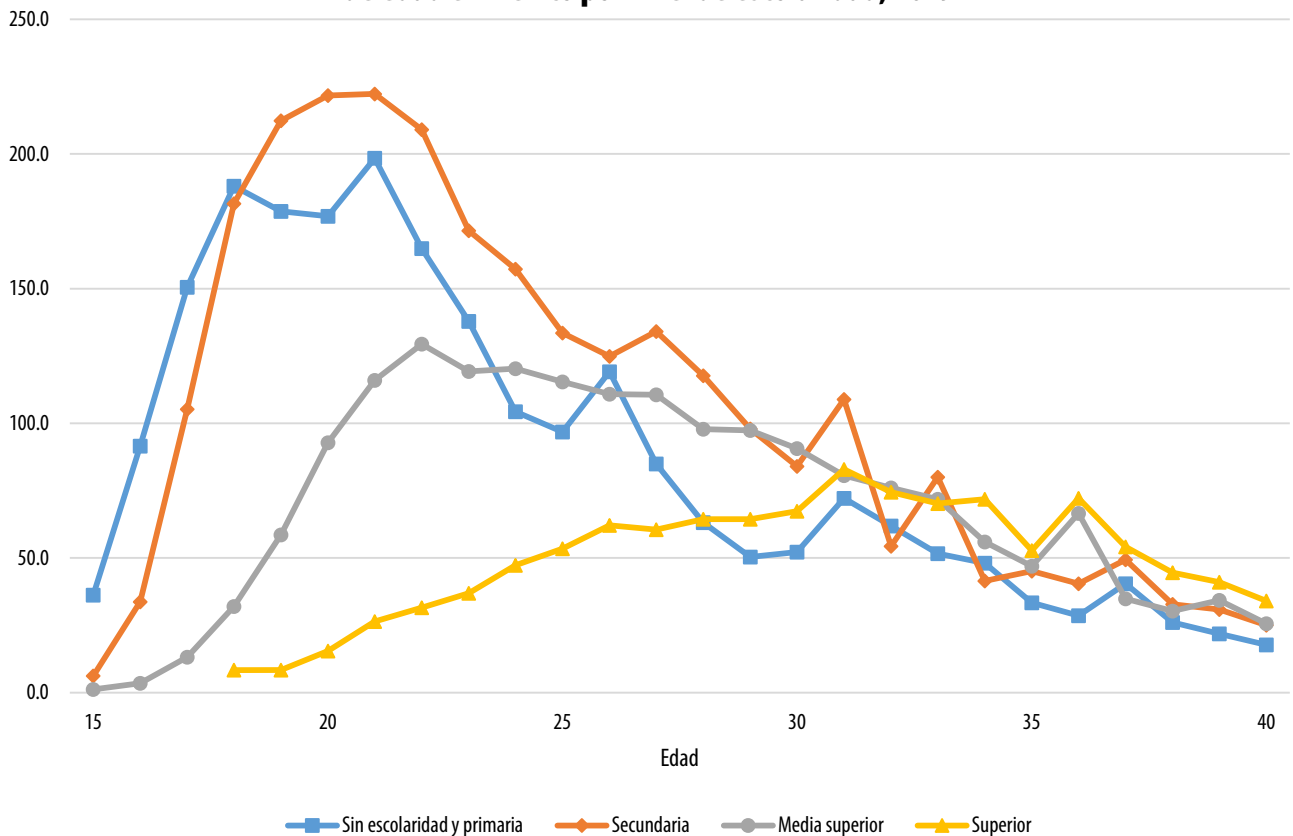
### Medidas resumen de las tendencias de la fecundidad en México por nivel de escolaridad

	Nivel de escolaridad			
	Sin escolaridad y primaria	Secundaria	Media superior	Superior
2009	3.2	2.7	2.2	1.6
2019	2.7	2.5	1.8	1.2
Edad media de la fecundidad				
1999	27.1	26.8	28.2	30.8
2009	26.4	26.4	27.9	30.8
2019	26.0	26.1	27.9	31.2
Edad media al primer hijo				
1999	21.6	22.8	25.0	28.3
2009	21.3	22.3	24.7	28.5
2019	21.4	22.0	24.8	29.2

Fuente: cálculos propios con base en INEGI, muestras poblacionales del *Cuestionario ampliado* de los censos de población y vivienda del 2000, 2010 y 2020.

Gráfica 5

### Tasas condicionales de nacimientos de orden 1 de las mujeres de 15 a 40 años de edad en México por nivel de escolaridad, 2019



Fuente: cálculos propios con base en INEGI, muestras poblacionales del *Cuestionario ampliado* de los censos de población y vivienda del 2000, 2010 y 2020.

La edad media de la fecundidad por nivel de escolaridad solo se incrementa en la educación superior en el 2019; sus reducciones y estabilidad en los niveles bajos y medios de escolaridad se pueden explicar en términos de una limitación de nacimientos de órdenes altos. En cambio, el aumento en el superior se explica por un número reducido de nacimientos y su postergación a una mayor edad. Esta interpretación se ve reforzada en el análisis de la edad media al primer hijo donde, en el nivel superior, se observa claramente un incremento desde el 2009 y se acelera para el 2019.

A través de la presentación gráfica de las tasas de fecundidad condicionales de los nacimientos de orden 1 puede verse con mayor claridad el calendario diferenciado de la transición a la fecundidad por nivel escolar para el 2019 (se muestran las tasas hasta los 40 años, por ser muy bajas después de esa edad). Las de menor escolaridad (hasta primaria) y las de secundaria concentran sus primeros nacimientos alrededor de los 20 años, con una elevada fecundidad adolescente; quienes tienen nivel medio superior aplazan los primeros nacimientos entre los 22 y 27 años; en las de educación superior es donde se advierte la posposición de la edad al primer hijo hasta después de los 30 años.

La edad media al primer hijo aumentó un año entre 1999 y el 2019 (ver cuadro 1); esto significa que se está dando una posposición, aunque lenta, en el calendario de la fecundidad, tal como los hallazgos de Nathan y Pardo (2019) para Uruguay y Chile. El análisis por niveles de escolaridad hace más compleja la interpretación, porque solo en el grupo de mujeres con educación superior se presentan aumentos constantes de la edad media al primer hijo en los tres censos.

Esteve y Florez-Paredes (2014) se preguntan por qué con los aumentos en la escolaridad en los países de América Latina no se han dado cambios en la edad al primer hijo, y entre sus conclusiones sostienen que: "A pesar de su expansión casi universal, el sistema educativo no se ha transformado en un mecanismo de igualación

de oportunidades en todos los grupos sociales, sino que sus resultados en términos de calidad y eficiencia se encuentran estrechamente relacionados al nivel socioeconómico y cultural de los hogares de origen..." (p. 63). Otras investigaciones en Latinoamérica que han realizado análisis de descomposición de los factores que llevan al cambio en la edad del primer hijo encontraron que la escolaridad es una fuerza poderosa de la reestructuración de la transición a la vida adulta (Rosero-Bixby *et al.*, 2009) o el principal motor de los diferenciales de fecundidad, aunque no pueda considerarse causalidad (Rios-Neto *et al.*, 2018).

Nathan y Pardo (2019) mencionan que los altos niveles de desigualdad social en los países de América del Sur dan por resultado los mayores niveles de dispersión en el inicio de la posposición de la edad al primer hijo y esto es lo que puede apreciarse, igualmente, en las tendencias de México.

Con la estimación de las tasas condicionales de nacimientos de primer orden para el 2019 a partir de la muestra del CPV 2020 de México —al igual que encontraron Lima *et al.* (2018) para Chile y Brasil—, se observa el patrón bimodal de la fecundidad, donde las mujeres de los niveles escolares más bajos concentran los primeros nacimientos entre los 18 y los 21 años, en tanto que las de educación superior tienen la mayor intensidad entre los 31 y 36.

En Estados Unidos de América (EE. UU.), Sullivan (2005) encontró este patrón bimodal de la fecundidad con la estimación de tasas condicionales entre 1990 y el 2002 y luego, casi desapareció. En ese caso, dice el autor, parece haber sido un fenómeno temporal en la adopción desigual (por los distintos grupos raciales y étnicos) del retraso de la fecundidad. Proyectando hacia el futuro, sostiene que si se da una mayor difusión de la posposición de la edad a la maternidad, resultará en un patrón unimodal con una intensidad mayor hacia los 30 años, pero también podría ocurrir que se dieran las condiciones para que las mujeres pudieran estudiar y trabajar al mismo tiempo que tener hijos (por ejemplo, con una mejor oferta de guarderías),

que les permitiera ser madres a temprana edad o que por una percepción del riesgo a esperar demasiado la curva vuelva a ser bimodal.

La investigación de Burkimsher (2017) muestra que el patrón bimodal se sigue presentando en EE. UU., y si bien las tasas de fecundidad adolescente han disminuido, se muestra un primer pico alrededor de los 23 años y otro hacia los 30, sin que se tengan evidencias para saber por qué se produce este fenómeno.

La autora se pregunta si es resultado de la polarización de la sociedad en términos raciales, regionales, educativos o socioeconómicos o si es una influencia de los flujos de inmigrantes sin niños durante el siglo XX, o si ambos factores contribuyen. La información disponible no le permite responder esas interrogantes.

Se han postulado distintos factores relacionados con el aplazamiento de la edad al primer hijo en América Latina, aunque las fuentes disponibles no permiten establecer el sentido de la causalidad. El aumento en la proporción de mujeres jóvenes que alcanzan estudios superiores o que ingresan a la fuerza laboral podría asociarse con aspiraciones diferentes a la formación familiar y, debido a ello, con el retraso de la maternidad. Por otra parte, aplazar la edad al primer hijo podría ser una forma de enfrentar condiciones de vida inestables o incertidumbres económicas (Rose-ro-Bixby *et al.*, 2009).

Castro Torres (2021) propone ir más allá de las variables aisladas de escolaridad o participación en el mercado laboral y estudiar las diferentes condiciones materiales de vida y aspectos de la posición social de las personas para comprender el comportamiento reproductivo en América Latina, en términos de clases sociales y de la distancia entre ellas. Investigaciones futuras podrían ahondar en estos aspectos con la información censal disponible con el objetivo de diseñar políticas para atender los deseos y las necesidades relacionadas con las trayectorias de vida de las mujeres de las clases sociales más desfavorecidas.

## Conclusiones

La TGF de México se encuentra, por primera vez, por debajo del nivel considerado de reemplazo poblacional. Las diferencias entre la población femenina de distintos niveles educativos se han acortado entre el 2000 y 2020, pero persiste la relación inversa entre fecundidad y escolaridad, donde las mujeres que tienen menor grado escolar presentan las mayores tasas de fecundidad. Las edades medias de la fecundidad parecen mostrar que las mujeres hasta el nivel medio superior se encuentran en un proceso de limitación de la fecundidad, en tanto que las de educación superior están, a la vez, disminuyendo el número de nacimientos y postergando la edad de inicio de la fecundidad.

La edad media al primer hijo se incrementó un año entre el 2000 y 2020, fenómeno acompañado por el aumento en la escolaridad de las mujeres. Esto podría significar el inicio de la posposición de la edad a la fecundidad. A partir de las tasas incondicionales y condicionales de nacimientos de orden 1 se puede interpretar el inicio incipiente de un patrón bimodal de la fecundidad en el 2019.

El aumento en los niveles de escolaridad de la población femenina podría llevar a que se acentúe este patrón bimodal, ya que una proporción mayor de mujeres en la educación superior (junto con políticas apropiadas de servicios de anticoncepción para las jóvenes) podría resultar en un aumento de la intensidad de primeros nacimientos alrededor de los 30 años de edad, como se ha sugerido en investigaciones previas de otros países de América Latina. México se encuentra en un escenario de grandes cambios con respecto a la fecundidad y se requieren más estudios para dar cuenta de las tendencias recientes.

Como se indicó en la sección de métodos, la información que proviene de los censos tiene limitaciones y es necesario complementarla con otras fuentes para conocer las motivaciones del comportamiento reproductivo. Con información de las ENADID pueden estudiarse las necesidades no satisfechas de anticoncepción, que llevan a te-



ner hijos no deseados o no planeados y sirven para orientar las políticas de salud reproductiva (Hernández, Ramírez y Sánchez, 2020; Gayet y Juárez, 2018; Juárez, Gayet, Mejía-Pailles, 2018).

El objetivo de esta investigación fue la estimación de distintas medidas de fecundidad a nivel nacional y de acuerdo con el nivel escolar de las mujeres. Otros trabajos futuros pueden realizar estimaciones de estos indicadores con las muestras censales para dar cuenta de diferencias a nivel subnacional o por otros grupos de población (por entidad federativa, por residencia urbana y rural, por pertenencia indígena, etc.), que no se pudieron incluir por limitaciones de espacio. Es importante resaltar que las muestras de los censos analizadas representan a toda la población del país, por lo que no excluyen a ningún grupo de la población y los resultados obtenidos son representativos de la población nacional.

## Fuentes

- Bozon, Michel, Cecilia Gayet y Jaime Barrientos. "A life course approach to patterns and trends in modern Latin American sexual behavior," en: *JAIDS Journal of Acquired Immune Deficiency Syndromes*. 51, 2009, pp. S4-S12.
- Burkimsheer, Marion. "Evolution of the shape of the fertility curve: Why might some countries develop a bimodal curve?", en: *Demographic Research*. Vol. 37, 2017, pp. 295-324.
- Cabella, W. e I. Pardo. "¿Es hora de usar indicadores refinados para estudiar la fecundidad en América Latina?", en: *Revista Brasileira de Estudos de População*. 33(3), 2016, pp. 475-493.
- Castro, Teresa y Fatima Juárez. "La influencia de la educación de la mujer sobre la fecundidad en América Latina: en busca de explicaciones", en: *Perspectivas Internacionales en Planificación Familiar*. Número especial. 1995, pp. 4-10.
- Castro Torres, Andrés Felipe. "Analysis of Latin American Fertility in Terms of Probable Social Classes" en: *European Journal of Population*. 37(2), 2021, pp. 297-339.
- Esteve, A. y E. F. Florez-Paredes. "Edad a la primera unión y al primer hijo en América Latina: estabilidad en cohortes más educadas", en: *Notas de Población*. (99), 2014, pp. 39-65.
- Esteve, A., J. García-Román, R. Lesthaeghe y A. Lopez-Gay. "The 'Second Demographic Transition' Features in Latin America: the 2010 Update". Documento de trabajo. Barcelona, Centre d'Estudis Demogràfics, 2013

- (DE) última consulta el 5 de abril de 2021 en [https://www.researchgate.net/publication/258000744\\_The\\_Second\\_demographic\\_Transition\\_Features\\_in\\_Latin\\_America\\_the\\_2010\\_update](https://www.researchgate.net/publication/258000744_The_Second_demographic_Transition_Features_in_Latin_America_the_2010_update)
- Frejka, T. "Half the world's population reaching below replacement fertility", en: *N-IUSSP*. December 4 2017 (DE) última consulta el 6 de abril de 2021 en <http://www.niusssp.org/article/half-the-worlds-population-reachingbelow->
- Gayet, C. y F. Juárez. "Estimación de las necesidades no satisfechas de anticoncepción en México a través de la ENADID 2014", en: *Realidad, Datos y Espacio Revista Internacional de Estadística y Geografía*. (9), 2, 2018, pp. 54-65.
- Hernández, M. F., M. Ramírez y M. Sánchez. "Metodología para la estimación de la necesidad insatisfecha de métodos anticonceptivos en México", en: *Consejo Nacional de Población. La situación demográfica de México*. México, CONAPO, 2020, pp. 71-117.
- INEGI. *XII Censo General de Población y Vivienda 2000. Microdatos. Muestra (Cuestionario ampliado)*. México, INEGI, 2000 (DE) última consulta el 8 de abril de 2021 en <https://www.inegi.org.mx/programas/ccpv/2000/#Microdatos>
- \_\_\_\_\_ *Censo de Población y Vivienda 2010. Microdatos. Muestra (Cuestionario ampliado)*. México, INEGI, 2010 (DE) última consulta el 8 de abril de 2021 en <https://www.inegi.org.mx/programas/ccpv/2010/#Microdatos>
- \_\_\_\_\_ *Censo de Población y Vivienda 2020. Diseño de la muestra censal*. México, INEGI, 2021b (DE) última consulta el 18 de junio de 2021 en [https://www.inegi.org.mx/contenidos/productos/prod\\_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/nueva\\_estruc/702825197629.pdf](https://www.inegi.org.mx/contenidos/productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/nueva_estruc/702825197629.pdf)
- \_\_\_\_\_ *Censo de Población y Vivienda 2020. Microdatos. Muestra (Cuestionario ampliado)*. México, INEGI, 2020 (DE) última consulta el 8 de abril de 2021 en <https://www.inegi.org.mx/programas/ccpv/2020/#Microdatos>
- \_\_\_\_\_ *Censo de Población y Vivienda 2020. Resultados complementarios*. México, INEGI, 2021a (DE) última consulta el 5 de abril de 2021 en [https://www.inegi.org.mx/contenidos/programas/ccpv/2020/doc/Censo2020\\_Resultados\\_complementarios\\_EUM.pdf](https://www.inegi.org.mx/contenidos/programas/ccpv/2020/doc/Censo2020_Resultados_complementarios_EUM.pdf)
- Juárez, Fatima y Cecilia Gayet. "De la fecundidad a la salud reproductiva: tendencias y temas actuales", en: Giorguli, Silvia y Jaime Sobrino (eds.). *Dinámica demográfica de México en el siglo XXI*. México, El Colegio de México, 2020, pp. 163-207.
- Juárez, F., C. Gayet y G. Mejía-Pailles. "Factors associated with unmet need for contraception in Mexico: evidence from the National Survey of Demographic Dynamics 2014", en: *BMC Public Health*. 18, 546, 2018 (DE) <https://doi.org/10.1186/s12889-018-5439-0>
- Kohler, Hans-Peter y José Antonio Ortega. "Tempo-adjusted period parity progression measures, fertility postponement and completed cohort

- fertility”, en: *Demographic Research*. 6, 2002, pp. 91-144 (DE) <https://www.demographic-research.org/volumenes/vol6/6/>
- Lesthaeghe, R. “The second demographic transition, 1986-2020: sub-replacement fertility and rising cohabitation-a global update”, en: *Genus*. 76, 10, 2020, pp. 1-38 (DE) <https://doi.org/10.1186/s41118-020-00077-4>
- Lima, Everton et al. “The emergence of bimodal fertility profiles in Latin America”, en: *Population and Development Review*. 44 (4), 2018, pp. 723-743.
- Mier y Terán, Marta. “La fecundidad en México en las últimas dos décadas. Un análisis de la información censal”, en: *Coyuntura Demográfica*. 1, 2011, pp. 57-61.
- Mier y Terán Rocha, Marta y Víctor Manuel García Guerrero. “Changements démographiques récents et perspectives futures au Mexique” en: *Problèmes d'Amérique Latine*. 5, 87, 2012, pp. 49-78.
- Nathan, M. “La lenta transición hacia un régimen de fecundidad tardía en Uruguay: los cambios en la edad al primer hijo entre 1978 y 2011”, en: *RELAP*. 9(17), 2015, pp. 37-60.
- Nathan, M. y I. Pardo. “Fertility Postponement and Regional Patterns of Dispersion in Age at First Birth: Descriptive Findings and Interpretations”, en: *Comparative Population Studies*. 44, 2019 (DE) DOI:<https://doi.org/10.12765/CPoS-2019-07>
- Rios-Neto, E. L., A. Miranda-Ribeiro & P. Miranda-Ribeiro. “Fertility differentials by education in Brazil: From the conclusion of fertility to the onset of postponement transition”, en: *Population and Development Review*. 44(3), 2018, pp. 489-517.
- Rosero-Bixby, L., T. Castro-Martín y T. Martín-García. “Is Latin America starting to retreat from early and universal childbearing?”, en: *Demographic Research*. 20, 2009, pp. 169-194 (DE) DOI:<https://doi.org/10.4054/DemRes.2009.20.9>
- Sullivan, R. “The age pattern of first-birth rates among U.S. women: The bimodal 1990s”, en: *Demography*. 42(2), 2005, pp. 259-273.
- Welti-Chanes, C. “Análisis de la fecundidad en México con los datos del Censo de Población y Vivienda 2010”, en: *Papeles de Población*. 18(73), 2012, 45-76.
- Wilson, C. y G. Pison. “More than half of the global population lives where fertility is below replacement level”, en: *Population and Societies*. 405, 2004, pp. 1-4.
- Zavala, María Eugenia. “La transición demográfica de 1895-2010: ¿una transición original?”, en: Rabell, Cecilia (coord.). *Los mexicanos. Un balance del cambio demográfico*. México, Fondo de Cultura Económica, 2014, pp. 80-114.

## Anexo 1

### Fórmulas de los indicadores usados

#### 1. Tasa específica de fecundidad (TEF)

$$TEF = \frac{\text{Nacimientos de mujeres edad } x \text{ durante un año}}{\text{Mujeres de edad } x \text{ a mitad del año}} \times 1\,000$$

Las tasas pueden ser calculadas para cada grupo de edad quinquenal 15-19, 20-24, ..., 45-49, pero también por edad desplegada (a edades simples, sin agrupar).

La distribución de las TEF por lo común solo se obtiene para mujeres. Todos los nacidos vivos están incluidos, independientemente del estado marital de estas.

Numerador. Total de nacimientos de hijos nacidos vivos para mujeres de edad  $x$  en un año específico (ambos sexos combinados).

Denominador. Número de mujeres de edad  $x$  a mitad del año.

**Nota:** en esta investigación se consideró la población de mujeres de edad  $x$  al momento del Censo.

Ejemplo: TEF para mujeres de 20-24 años para el 2019:

$$TEF_{20-24} = \frac{\text{Nacimientos de mujeres edad 20-24 durante el año 2019}}{\text{Mujeres edad 20-24 a mitad del año 2019}} \times 1\,000$$

= 101.2 nacimientos (o hijos nacidos vivos) por cada mil mujeres de 20-24 años de edad.

#### 2. Tasa global de fecundidad (TGF)

$$TGF = \frac{\text{Suma de las TEF} \times 5}{1\,000}$$

## Interpretación:

TGF es el número de hijos que una mujer tendría si ella sobrevive a la edad de 50 años y a través de su vida reproductiva experimentara exactamente las TEF del año en cuestión:

Esta es la medida de fecundidad más utilizada en demografía.

La suma de las TEF tiene que ser multiplicada por 5 si la TEF está calculada por grupo de edad quinquenal, *i.e.*, cuando se refieren a 5 años, y se divide entre mil porque la TGF está expresada por una mujer.

Ejemplo: TGF para el 2019:

$$TGF = \frac{(TEF_{15-19} + TEF_{20-24} + \dots + TEF_{45-49}) \times 5}{1\ 000}$$

= 1.9 hijos nacidos vivos por mujer para el 2019.

TGF para el 2019 es 1.9 hijos por mujer para una cohorte sintética, *i.e.*, suponiendo que todas las mujeres sobrevivieron hasta la edad de 50 años y a lo largo de sus vidas reproductivas ellas experimentaron estas TEF.

### 3. Tasas específicas de fecundidad incondicionales (TEFI) del hijo de orden 1

$$TEFI_1 = \frac{\text{Nacimientos de orden 1 de mujeres edad } x \text{ durante un año}}{\text{Mujeres edad } x \text{ a mitad del año}} \times 1\ 000$$

Son iguales a las TEF, pero estas se refieren a los nacimientos de orden 1 (es decir, del primer hijo) y tienen las mismas características que las TEF. También se les han denotado como tasas de tipo II.

Se pueden calcular por grupo de edad quinquenal y por edad desplegada.

La distribución de las  $TEFI_1$  comúnmente solo se obtiene para mujeres. Todos los hijos nacidos

vivos de orden 1 (primer hijo) están incluidos, independientemente del estado marital de estas.

Numerador. Total de hijos nacidos vivos de orden 1 para mujeres de edad  $x$  en un año específico (ambos sexos combinados).

Denominador. Número de mujeres de edad  $x$  a mitad del año.

**Nota:** en esta investigación se consideró la población de mujeres de edad  $x$  al momento del Censo.

Ejemplo: TEFI del hijo de orden 1 para mujeres de 22 años para el 2019:

$$TEFI_{1(22 \text{ años})} = \frac{\text{Nacimientos de orden 1 de mujeres de edad 22 años durante el año 2019}}{\text{Mujeres de edad 22 años a mitad del año 2019}} \times 1\ 000$$

= 52.4 hijos nacidos vivos de orden 1 por cada mil mujeres de 22 años de edad.

### 4. Tasas específicas de fecundidad condicionales (TEFC) del hijo de orden 1

$$TEFC_1 = \frac{\text{Nacimientos de orden 1 de mujeres edad } x \text{ durante un año}}{\text{Mujeres sin hijos de edad } x \text{ a mitad del año}} \times 1\ 000$$

Se pueden calcular por grupo de edad quinquenal y por edad desplegada.

La distribución de las  $TEFC_1$  por lo común solo se obtiene para mujeres. Todos los hijos nacidos vivos de orden 1 (primer hijo) están incluidos, independientemente del estado marital de estas.

Numerador. Total de hijos nacidos vivos de orden 1 para mujeres de edad  $x$  en un año específico (ambos sexos combinados).

Denominador. Número de mujeres sin hijos de edad  $x$  a mitad del año.

**Nota:** en esta investigación se consideró la población de mujeres de edad  $x$  al momento del Censo.

A diferencia de las  $TEFI_1$ , las  $TEFC_1$  se refieren a los nacimientos de orden 1 entre las mujeres que no han tenido un hijo; es decir, es una tasa más precisa respecto al denominador, pues solo la población femenina sin hijos es la que está expuesta al riesgo de tener un primer hijo. Las tasas condicionales ponen en correspondencia el numerador y denominador. A pesar de su mayor precisión, una desventaja es que muchos países no disponen de la información

que se requiere: la población femenina por edad y paridez para el periodo de interés. A estas tasas también se le han denotado como tasas de tipo I.

Ejemplo: TEFC del hijo de orden 1 para mujeres de 22 años para el 2019:

$$TEFC_{1(22años)} = \frac{\text{Nacimientos de orden 1 de mujeres de edad 22 años durante el año 2019}}{\text{Mujeres sin hijos de edad 22 años a mitad del año 2019}} \times 1\,000$$

= 90.3 hijos nacidos vivos de orden 1 por cada mil mujeres sin hijos de 22 años de edad.

## Anexo 2

### Proporciones de no respuesta de las variables utilizadas (información sobre mujeres, datos ponderados)

Variable	Muestra censal		
	2000	2010	2020
Edad (todas las edades)	0.3 %	0.1 %	0.0 %
Escolaridad (15 a 49 años)	1.1 %	0.5 %	0.3 %
Fecha de nacimiento del último hijo (incluye la no respuesta al número de hijos) (15 a 49 años)	4.5 %	4.2 %	1.0 %

# Captación de la variable ***Condición de actividad*** en el Censo 2020

*Collection of the Economic Activity Variable  
in the Population and Household  
Census 2020*

Mercedes Pedrero Nieto\*

\* Centro Regional de Investigaciones Multidisciplinarias, UNAM, pedrero@unam.mx



Trabajadores de la construcción/Arturo López

La variable *Condición de actividad* es piedra angular del estudio del empleo; por lo tanto, se indagó sobre su idoneidad. El Censo de Población y Vivienda ofrece dos preguntas: una registra la respuesta espontánea y la segunda rescata a quienes por estereotipos no se consideran trabajadores. La estrategia de recolección se demuestra por la coherencia de las tasas de participación de variables clave para aplicar la perspectiva de género (como estado conyugal y parentesco); dichas tasas muestran que la estrategia de usar las dos preguntas es un acierto.

**Palabras clave:** condición de actividad; género.

## Actividad económica

En el estudio de la participación de la población siempre se debe hacer diferencia según sexo. Particularmente, si se desea analizarla con una perspectiva demográfica, por su relación con el curso de vida, se debe analizar por la edad, y si adopta una perspectiva de género, además del sexo, es necesario considerar las condicionantes de los roles de género, como el parentesco,<sup>1</sup> el estado conyugal y de la maternidad, esta última en el caso de las mujeres.

Todas las variables señaladas las proporciona el Censo de Población y Vivienda 2020 levantado por el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI); incluso, permite aplicar el enfoque diferencial e interseccional porque, además del sexo y la edad, también se pueden distinguir grupos étnicos y la discapacidad. Asimismo, con la información captada en su *Cuestionario ampliado*, es posible analizar sus aspectos estructurales: ocupación, rama de actividad y posición en el trabajo, así como

1 Extrañamente, en el *Cuestionario básico* no se captó relación de parentesco. De cualquier manera, el acceso a microdatos es solo para el *ampliado*, y ahí sí viene.

The activity status variable is a cornerstone of the study of employment; therefore, we inquired about its suitability. The Population and Housing Census offers two questions: one records the spontaneous response and the second captures those who, due to stereotypes, are not considered workers. The collection strategy is demonstrated by the consistency of the participation rates of key variables for applying the gender perspective (such as marital status and kinship); these rates show that the strategy of using the two questions is a wise choice.

**Key words:** economic participation; gender.

algunas condiciones laborales, como horas trabajadas, ingreso, acceso a prestaciones y tiempo de traslado.<sup>2</sup>

Las siguientes líneas solo van a estar dedicadas al registro de la variable *Condición de actividad*, que busca captar el trabajo para obtener ingreso, lo cual es medular en todo estudio del trabajo, pues si este falla todo lo subsecuente queda distorsionado.

La captación de la condición de actividad muestra haber alcanzado un alto grado de madurez, obtenido por la experiencia de una larga trayectoria del INEGI en otros censos y en las encuestas de empleo,<sup>3</sup> que reconoce que las preconcepciones sobre qué es un trabajo conducen a sesgos al usar una sola pregunta. Las preguntas diseñadas para captarla para las personas de 12 años y más de edad son la 16 y 17 en el *Cuestionario básico* y en el *ampliado*, la 30 y 31 (al final del texto se incluyen). La primera capta a todo aquel que trabaja y acep-

2 Se capta el tipo del lugar de trabajo, pero lamentablemente en la base de datos no aparece.

3 Las dos preguntas también se usaron en el *Cuestionario ampliado* del 2010.

ta que su actividad es un trabajo; para quienes no lo reconocen en primera instancia, está la segunda. La información recolectada en fecha cercana al Censo es la del primer trimestre del 2020 de la Encuesta Nacional de Ocupación y Empleo (ENOE) del Instituto, que registra proporciones siempre mayores a las censales, lo cual no es extraño por lo sofisticado del instrumento que evita ofrecerle al entrevistado opciones como en el Censo, donde al informante sí se le presentan varias y puede inclinarse a estereotipos y es probable que, en caso de duda, se oriente a lo concebido como *adecuado*. Como alternativa, en la Encuesta se desarrolla toda una secuencia de preguntas que van decantando las situaciones anómalas; esto no se puede hacer en un operativo tan complejo como el Censo.

Las tasas de participación se calcularon solo considerando a la población ocupada, esto es, sin considerar a los buscadores de empleo;<sup>4</sup> los resultados se presentan en el cuadro 1.

Como era de esperarse, el sesgo varía con el perfil de las personas, como edad, estado conyugal, parentesco y escolaridad. Sin duda, también sucede en todos sus aspectos estructurales y las condiciones de trabajo, pero esos no se abordarán ahora.

4 Esto se decidió porque en la ENOE, para que queden considerados como desempleados, deben cumplir varias condiciones que no se captan en el Censo.

Como se puede observar, la diferencia mayor entre la captación original y con rescates se da entre ellas alcanzando 4.67 puntos porcentuales; en términos absolutos, la diferencia es de 2 424 664 mujeres y de 1 116 890 hombres, lo que significa una omisión en la primera pregunta de 14.06 % de mujeres ocupadas y de 3.55 % en el caso de ellos. No obstante que hay diferencias con la ENOE, las preguntas de verificación del Censo dan muy buenos resultados; las diferencias<sup>5</sup> en la tasa masculina es de solo 1.55 % y la femenina, de 3.01 por ciento. Sin rescate, estas son más significativas, de 3.87 y 7.68.

La omisión en el registro del trabajo en la primera pregunta no es uniforme al interior de cada grupo; además del sesgo según sexo, se presentan diferencias al considerar otras características.

Entre los hombres, la mayor omisión se da en edades extremas, menores de 20 años y mayores de 60; el rango de las diferencias entre las primeras va de 2.89 a 4.55 % y en el de las segundas, de 3.07 a 4.44 %; en las edades centrales va de 0.95 a 2.03 por ciento. Entre las mujeres, al contrario, las omisiones son mayores en las centrales, en las cua-

5 Además, se debe tomar en cuenta que hay muchas diferencias entre los dos instrumentos que pueden ser responsables por las diferencias. Los resultados de la Encuesta son promedios de lo recolectado a lo largo de todo el primer trimestre del año, no se tomaron los datos del segundo porque es probable que la pandemia afectó el levantamiento. El Censo se levantó del 2 al 27 de marzo, así que los datos de empleo del levantamiento censal tienen como referencia la última semana de febrero y las tres primeras de marzo.

Cuadro 1

### Tasas de participación según sexo, de acuerdo con la fuente de la información

Continúa

	Hombres (%)	Mujeres (%)
1) Tasas obtenidas del Censo considerando solo la pregunta 30 (sin rescate)	65.23	33.24
2) Tasas Censo obtenidas del considerando; además de la P.30 se le suman los casos obtenidos como ocupados con la pregunta de verificación P.30 (con rescate)	67.55	37.91
3) Tasas obtenidas con el primer trimestre de la ENOE del 2020	69.10	40.92

**Tasas de participación según sexo, de acuerdo con la fuente de la información**

	Hombres (%)	Mujeres (%)
4) Diferencias entre las censales (2-1)	2.32	4.67
5) Diferencias ENOE I-20 con original (3-1)	3.87	7.68
6) Diferencias ENOE I-20 con rescate (3-2)	1.55	3.01

**Fuente:** cálculos propios a partir de la base de datos del *Cuestionario ampliado* y la de la ENOE I-2020.

les los roles de madre y esposa tienen más peso; las diferencias entre los 20 y los 69 años van de 4.74 a 6.23 por ciento.

Al analizar la situación conyugal, se observa que aquellas sin pareja son las que tienen menos subregistro: soltera, separada, divorciada o viudas, cuyo rango va de 3.19 a 4.49 por ciento. Entre las que tienen pareja es mayor: casadas o en unión libre; la mínima es de 5.24 %; las que omiten en mayor grado (6.89 %) son las casadas solo religiosamente; es posible que sean las mujeres más conservadoras que valoran su papel de amas de casa como lo más importante, el incremento con el rescate entre ellas es de 30.3 por ciento.

En cuanto a parentesco, el grupo que presenta mayor sesgo entre las mujeres es el de las cónyuges (6.07 %), seguida de las jefas de hogar (4.93 %). En el caso de los hombres, los mayores sesgos se encuentran entre los hijos (3.16 %) y los nietos (3.01 %), lo que puede corresponder a jóvenes aún dependientes.

Respecto a escolaridad, en todos los niveles, la participación masculina supera a la femenina, pero la brecha se reduce con el aumento del grado escolar, que impacta fuertemente en la participación de ellas en el mercado de trabajo: de una tasa de 17.85 % para aquellas sin estudios, se da un incremento sistemático de nivel a nivel, llegando a 79.16 % para quienes cuentan con doctorado. La variación en

las tasas de participación de los hombres en este ámbito no es tan drástica como entre las mujeres, sus rangos van de 51.44 a 81.51 por ciento. El grado de la omisión al usar las dos preguntas se va reduciendo conforme aumenta la escolaridad, las diferencias menores se presentan entre quienes tienen doctorado, para ellos se registró 1.45 % y para ellas, 1.31 por ciento.

## A manera de conclusión

El análisis presentado estuvo acotado a la captación de la variable *Condición de actividad*, que es la que clasifica a la población en ocupada, desempleada y no económicamente activa.<sup>6</sup> El estudio se concentró solo en la primera, que es aquella que en la semana previa a la entrevista tenía un trabajo para obtener ingresos. La captación se hizo a través de dos preguntas que se muestran en el cuadro 2; la primera sería suficiente, si no existieran estereotipos que inhiben a algunas personas a reconocerse a sí mismas como trabajadoras, a pesar de contribuir con su trabajo a la producción nacional, y es importante considerarlos en la población económicamente activa.

<sup>6</sup> En trabajos recientes se ha discutido lo inadecuado de denominar no económica a las actividades que se materializan en bienes y servicios por la vía no remunerada, pero en este espacio no es posible abordar tal discusión; su reconocimiento y valoración económica se puede hacer a través de las encuestas de uso del tiempo.



El concentrarse solo en la condición de actividad se debe a que es la piedra angular de todo el estudio del empleo; antes de proseguir con otros análisis, se requiere tener certeza sobre la idoneidad de esta variable. Así que, como punto de partida, es necesario evaluar a su registro, el resultado es que la pregunta de rescate es un acierto. Los valores de las tasas de actividad resultantes son muy cercanos a los de la ENOE, que ha demostrado proporcionar resultados robustos.

Por otra parte, al analizar las diferencias de las tasas de actividad según sexo, edad, parentesco, situación conyugal y escolaridad usando solo la primera pregunta comparada con los datos y agregando los rescates se obtienen diferencias coherentes con los estereotipos. Todo indica que podemos proseguir con el análisis sociodemográfico de la mano de obra, las características estructurales de la fuerza de trabajo y las condiciones laborales de la población trabajadora.

Cuadro 2

Continúa

30. CONDICIÓN DE ACTIVIDAD

Ahora le voy a preguntar por la situación laboral.

¿La semana pasada (NOMBRE):

**LEA LAS OPCIONES HASTA OBTENER UNA RESPUESTA AFIRMATIVA Y CIRCULE SOLO UN CÓDIGO**

trabajó (por lo menos una hora)?..... 1

tenía trabajo, pero no trabajó?..... 2

buscó trabajo?..... 3

¿Es pensionada(o) o jubilada(o)?..... 4

¿Es estudiante?..... 5

¿Se dedica a los quehaceres de su hogar?..... 6

¿Tiene alguna limitación física o mental permanente que le impide trabajar?.....7

¿Está en otra situación diferente a las anteriores?..... 8

## 31. VERIFICACIÓN DE CONDICIÓN DE ACTIVIDAD

Aunque ya me dijo que (NOMBRE) (RESPUESTA DE 30), ¿la semana pasada:

**LEA LAS OPCIONES HASTA OBTENER UNA RESPUESTA AFIRMATIVA Y CIRCULE SOLO UN CÓDIGO**

ayudó en un negocio (familiar o no familiar)?..... 1

vendió algún producto?..... 2

hizo algún producto para vender?..... 3

ayudó en las labores del campo o en  
la cría de animales?..... 4

a cambio de un pago realizó otro tipo de actividad?  
Por ejemplo: lavó o planchó ajeno, cuidó niños..... 5

estuvo de aprendiz o haciendo su servicio social?..... 6

¿No ayudó ni trabajó?..... 7

## Colaboran en este número

---

### Daniel Alba Cuéllar

De nacionalidad mexicana. Es licenciado en Matemáticas Aplicadas por la Universidad Autónoma de Aguascalientes (UAA), maestro en Ciencias en Estadística Oficial por el Centro de Investigación en Matemáticas (CIMAT) y doctor en Ciencias de la Computación por la UAA. De 2015 a la fecha, labora en la Dirección de Vinculación Estadística de Registros Administrativos, adscrita a la Dirección General de Estadísticas Económicas del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), en el diseño e instrumentación de modelos econométricos que incorporan datos provenientes de registros administrativos internos y externos, y que permiten investigar la dinámica de las unidades económicas pertenecientes a diversos sectores de la economía nacional; antes, trabajó en el diseño, desarrollo e instrumentación de aplicaciones interactivas de visualización (*Reloj de los ciclos económicos de México*, *Series de los componentes cíclicos* y *Tablero de indicadores económicos*), disponibles en la página web del INEGI.

**Contacto:** [daniel.alba@inegi.org.mx](mailto:daniel.alba@inegi.org.mx)

---

### Hugo Hernández Ramos

Nació en México. Obtuvo su licenciatura en Actuaría en la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) y su maestría en Ciencias con especialidad en Estadística en la UAA. Desde 1993, labora en la Dirección General de Estadísticas Económicas del (INEGI); actualmente, participa en el diseño e implementación del Registro Estadístico de Negocios y trabajó en el tratamiento de la información de las encuestas agropecuarias, en la definición de estrategias para el levantamiento de los Censos Económicos y en el diseño de la encuesta para captar información mediante una muestra en el área rural; además, es catedrático desde 1993 en el Instituto Tecnológico de Aguascalientes.

**Contacto:** [hugo.hernandez@inegi.org.mx](mailto:hugo.hernandez@inegi.org.mx)

---

### Francisco de Jesús Corona Villavicencio

De nacionalidad mexicana. Es licenciado en Economía por la Universidad Autónoma de Baja California (UABC), maestro en Estadística Aplicada por el Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey (ITESM) y doctor en Economía y Métodos Cuantitativos por la Universidad Carlos III de Madrid (UC3M). En la actualidad, es investigador en el INEGI y pertenece al Sistema Nacional de Investigadores (SNI), con nivel de candidato. Sus líneas de investigación están relacionadas con el análisis econométrico y pronóstico de series de tiempo; además, tiene una línea en *Sport Analytics*; referente a ellas, ha publicado diversos trabajos en revistas arbitradas de circulación internacional.

**Contacto:** [franciscoj.corona@inegi.org.mx](mailto:franciscoj.corona@inegi.org.mx)

---

### Jesús López-Pérez

De nacionalidad mexicana. Es licenciado en Economía y maestro en Estadística Aplicada por el ITESM. Actualmente, es investigador invitado en el INEGI en temas relacionados con el análisis econométrico de series

de tiempo. Con anterioridad, ocupó diversos cargos en áreas de administración y análisis de riesgo crediticio en instituciones financieras de los sectores público y privado.

**Contacto:** [jesus.lopezp@inegi.org.mx](mailto:jesus.lopezp@inegi.org.mx)

---

**Pedro Paulo Orraca Romano**

De nacionalidad mexicana. Es doctor en Economía por la University of Sussex, maestro en Economía por el Centro de Investigación y Docencia Económicas A. C. y licenciado en Economía por la UABC. Ha laborado en la Secretaría de Finanzas del gobierno del Distrito Federal, en la London School of Economics y en la UABC. Hoy en día, es investigador titular adscrito al Departamento de Estudios Económicos de El Colegio de la Frontera Norte y miembro del SNI, con nivel 1. Su línea de investigación se orienta en las áreas de economía laboral, migración internacional y economía transfronteriza. Entre sus publicaciones destacan artículos en revistas como *Oxford Development Studies*, *Review of Development Economics*, *Latin American Economic Review*, *Social Science Journal*, *El Trimestre Económico* y *Estudios Económicos*. Obtuvo los premios Economía Joaquín Xirau Icaza (por El Colegio de México) y Anual en Investigación Económica (por la Universidad Autónoma de Nuevo León).

**Contacto:** [porraca@colef.mx](mailto:porraca@colef.mx)

---

**Ignacio Javier Cruz Rodríguez**

De nacionalidad mexicana. Es doctor en Economía por la UNAM. Fue profesor en esa institución, y analista de regulación y competencia, así como de precios de transferencia; en la actualidad, ocupa una cátedra CONACYT y está asignado al Centro de Investigaciones Socioeconómicas de la Universidad Autónoma de Coahuila.

**Contacto:** [rodriguez.ignacio@uadec.edu.mx](mailto:rodriguez.ignacio@uadec.edu.mx)

---

**Dora Elena Ledesma Carrión**

De nacionalidad mexicana. Es doctora en Ingeniería por la UNAM. En el ámbito laboral, se ha desempeñado como profesora y servidora pública desde 1986 y 1995, respectivamente; en la actualidad es investigadora de la Dirección General Adjunta de Investigación de la Dirección General de Integración, Análisis e Investigación (DGIAI) del INEGI. Sus líneas de investigación se orientan en optimización, matemáticas aplicadas, modelos dinámicos y física de materiales.

**Contacto:** [dora.ledesma@inegi.org.mx](mailto:dora.ledesma@inegi.org.mx)

---

**Amós Antonio Pérez Hernández**

De nacionalidad mexicana. Es licenciado en Biología por la Universidad Autónoma Metropolitana. Ha trabajado como profesor y servidor público desde el 2000 y 1988, respectivamente, y hoy en día es subdirector de Regionalización en la Dirección de Recursos Naturales de la Dirección General de Geografía y Medio Ambiente del INEGI. Está asociado al Programa LEAD-COLMEX y sus áreas de investigación son matemáticas aplicadas, recursos naturales y medio ambiente.

**Contacto:** [amos.perez@inegi.org.mx](mailto:amos.perez@inegi.org.mx)

---

**Lidia Hernández Hernández**

De nacionalidad mexicana. Es licenciada en Física y Matemáticas por el Instituto Politécnico Nacional (IPN) y maestra en Sistemas por la UNAM. En el ámbito laboral se ha desempeñado como profesora, consultora finan-

ciera y asistente de investigación; en la actualidad, trabaja como enlace de coordinación con mandos de la Dirección de Acceso a Microdatos que pertenece a la Dirección General Adjunta de Investigación de la DGIAl del INEGI. Sus líneas de investigación son optimización, matemáticas aplicadas y modelos estadísticos.

**Contacto:** lidia.hernandezh@inegi.org.mx

---

**Rafael Gutiérrez Aguilar**

De nacionalidad mexicana. Es maestro en Manejo de Recursos Naturales por la Universidad Autónoma de Chihuahua. Es supervisor de Uso de Suelo en el Servicio Geológico Mexicano (SGM), donde realiza labores de coordinación, revisión y evaluación de manifestaciones de impacto ambiental, informes preventivos, ordenamientos ecológicos y territoriales, modelos de aptitud minera, estudios de línea de base y vinculación con la actividad minera.

**Contacto:** rafaelgutierrez@sgm.gob.mx

---

**Eduardo Flores Campos**

De nacionalidad mexicana. Es ingeniero ambiental por la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. Es técnico especializado en el SGM, donde elabora manifestaciones de impacto ambiental en materia de exploración minera y modelos de aptitud minera, así como estudios de línea de base, programas de ordenamiento territorial, atlas de riesgos y peligros y en auditorías internas.

**Contacto:** eduardoflores@sgm.gob.mx

---

**Alberto Peralta Cruz**

De nacionalidad mexicana. Es ingeniero forestal por la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. Es operativo eventual en el SGM, donde participa en la elaboración de plan de manejo forestal, conservación y restauración de suelos, manifestaciones de impacto ambiental en materia de exploración minera, modelos de aptitud minera, estudios de línea de base y programas de ordenamiento territorial.

**Contacto:** albertoperalta@sgm.gob.mx

---

**Fernando Gayosso Pérez**

De nacionalidad mexicana. Es ingeniero en tecnología ambiental por la Universidad Abierta y a Distancia de México. Es operativo eventual en el SGM, donde elabora informes y manifestaciones de impacto ambiental en materia de exploración minera, modelos de aptitud, estudios de línea de base, así como análisis y desarrollo de información geográfica mediante *software* ArcGis v.10.3.

**Contacto:** fernandogayosso@sgm.gob.mx

---

**Alfredo Tapia Téllez**

De nacionalidad mexicana. Es ingeniero geólogo ambiental por la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. Es operativo eventual en el SGM; cuenta con experiencia en el manejo de los sistemas de información geográfica, utilizando el *software* ArcGIS 10.3 y ERDAS Imagine 2014, además del desarrollo de ordenamientos territoriales, manifestaciones de impacto ambiental y cambio de uso del suelo, así como la elaboración de temas de ambiente geológico-minero.

**Contacto:** alfredotapia@sgm.gob.mx

---

**Eliud Donald Vite Ortega**

De nacionalidad mexicana. Es ingeniero geólogo ambiental por la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. Es operativo eventual en el SGM, donde elabora manifestaciones de impacto ambiental en materia de exploración minera, modelos de aptitud minera, estudios de línea de base y programas de ordenamiento territorial.

**Contacto:** eliudvite@sgm.gob.mx

---

**Rosa Elvira Acosta Ramos**

De nacionalidad mexicana. Es maestra en Hidrogeología Subterránea por la Universidad Autónoma de Chihuahua. Es técnico especializado en el SGM en hidrogeología y biogeoquímica aplicada a la exploración minera, prospección hidrogeológica, estudios de recarga artificial, actualización hidrogeológica y diseño de red de monitoreo piezométrico, así como en estudios hidrogeológicos de acuíferos.

**Contacto:** rosaacosta@sgm.gob.mx

---

**Karla Salgado Becerril**

De nacionalidad mexicana. Es ingeniera geóloga por el IPN. Es operativo eventual en el SGM, donde se dedica al manejo del sistema de información geográfica utilizando el *software* ArcGis 10.3, a la elaboración de manifestaciones de impacto ambiental en materia de exploración minera, así como a estudios de línea de base y programas de ordenamiento territorial.

**Contacto:** karlasalgado@sgm.gob.mx

---

**Adolfo Galicia Naranjo**

De nacionalidad mexicana. Es licenciado en Biología por la UNAM y maestro en Ciencias Biológicas por el Instituto de Biología de esa misma casa de estudios. En la actualidad, colabora en Servicios Ambientales y Cambio Climático (SACC) A. C. Su área de especialidad es el manejo integral de ecosistemas. Tiene experiencia en el desarrollo de inventarios de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) en la agricultura y el uso de suelo, cambio en el uso de suelo y silvicultura, así como en cambio climático, captura de carbono y en estudios de diversidad forestal.

**Contacto:** aaadolfo\_@hotmail.com

---

**José Antonio Benjamín  
Ordóñez Díaz**

De nacionalidad mexicana. Es licenciado en Biología por la UNAM y doctor en Ciencias Biomédicas por el Instituto de Ecología de la misma Universidad. En la actualidad, es director e investigador en SACC, así como profesor en la Facultad de Ciencias de la UNAM y en el ITESM. Es pionero en los estudios de captura de carbono y cambio climático en México; participó en la quinta comunicación nacional ante el cambio climático en México. Cuenta con 26 años de experiencia en inventarios nacionales y locales de emisiones de GEI, captura de carbono y pago por servicios ambientales.

**Contacto:** jabordonez@ciencias.unam.mx

---

**Anabell Munguía Bárcenas**

De nacionalidad mexicana. Concluyó los créditos de la Licenciatura en Biología en la Facultad de Ciencias de la UNAM. En la actualidad, es adjunta de investigador en SACC; se desempeña en actividades científico-administrativas. Coordina los programas de Servicio Social y de Jóvenes Construyendo el Futuro dentro de la asociación. Ha participado en la for-

mación de recursos humanos especializados, y ha desarrollado y participado en cursos, talleres y pláticas con temáticas de sensibilización ambiental, cambio climático y captura de carbono.

**Contacto:** llebana25904\_0125@hotmail.com

---

**Nuria Julieta Venegas Mancera**

De nacionalidad mexicana. Es licenciada en Biología por la UNAM y maestra en Ciencias Biológicas por el Instituto de Biología de esa misma casa de estudios. En la actualidad, es profesora en la Escuela Montessori de la Ciudad de México. Ha trabajado como docente durante ocho años en distintas instituciones; su inicio como educadora ambiental fue en escuelas rurales de Tepeji del Río, Hidalgo y, posteriormente, como profesora de Biología y Ecología. Su área de especialidad es la Ecología.

**Contacto:** nuria\_julieta@hotmail.com

---

**Luis Enrique Ortega Treviño**

De nacionalidad mexicana. Concluyó con los créditos de la Licenciatura en Biología en la Facultad de Ciencias de la UNAM. En la actualidad, es adjunto de investigador en SACC, donde también desempeña actividades como técnico de campo en proyectos de captura de carbono, apoyo a la divulgación científica y actividades relacionadas con la revisión de documentos dentro de la asociación.

**Contacto:** leot\_lito@ciencias.unam.mx

---

**María de Jesús Ordóñez Díaz**

De nacionalidad mexicana. Es licenciada en Biología por la Universidad Autónoma Metropolitana-Unidad Iztapalapa con área de especialidad en Ecología y Botánica; es maestra en Ciencias en Ecología y Recursos Bióticos por el Instituto Nacional de Investigaciones sobre Recursos Bióticos (INIREB) y doctora en Ciencias Biológicas por la Facultad de Ciencias de la UNAM. En la actualidad se desempeña como investigadora titular C de tiempo completo en el Centro Regional de Investigación Multidisciplinaria (CRIM-UNAM), Cuernavaca. Realiza investigación interdisciplinaria aplicando enfoques de sistemas complejos, ecología humana, etnoecología, geografía regional, estudios del territorio, relación sociedad-naturaleza, así como aspectos demográficos y económicos.

**Contacto:** mariapapiit@gmail.com

---

**Cecilia Inés Gayet**

De nacionalidad argentina. Es doctora en Estudios de Población y maestra en Demografía por El Colegio de México (COLMEX), además de maestra en Ciencias Sociales por la Facultad Latinoamericana de Ciencias Sociales (FLACSO) México. En la actualidad, se desempeña como profesora-investigadora en FLACSO México, donde coordina el seminario de Población y Salud. Es miembro del SNI, nivel 2. Sus temas de investigación se refieren a la salud sexual y reproductiva, sexualidad, infecciones de transmisión sexual, adolescentes y jóvenes.

**Contacto:** cgayet@flacso.edu.mx

---

**Fátima Juárez**

De nacionalidad mexicana. Es doctora y maestra en Demografía Médica por la Universidad de Londres. Ha trabajado en instituciones internacionales y extranjeras, como la Organización de las Naciones Unidas y la Universidad

---

de Londres. En la actualidad, se desempeña como profesora-investigadora en COLMEX. Es miembro del SNI, nivel 3. Sus temas de investigación se refieren a la salud sexual y reproductiva, riesgos sexuales como aborto y VIH/sida, además de adolescentes y jóvenes.

**Contacto:** fjuarez@colmex.mx

---

**Mercedes Pedrero Nieto**

Mexicana. Es licenciada en Actuaría por la UNAM y obtuvo la Maestría y el Doctorado en Demografía en la Universidad de Pennsylvania. En el ámbito laboral, trabajó en el INEGI, donde destacó su participación en la coordinación y rediseño de la Encuesta Nacional de Empleo y la reformulación de la Clasificación Mexicana de Ocupaciones; además, ha sido consultora de varias agencias de Naciones Unidas (UNSO, OIT, FAO, INSTRAW, UNIFEM, UNFPA, ONU-Mujeres) para misiones en casi todos los países de América Latina, así como en Mozambique y Pakistán; se encargó del diseño de las primeras encuestas de Uso del Tiempo de México, Ecuador, Perú, Costa Rica y Panamá, y en Pakistán reformuló su encuesta de empleo para captar adecuadamente el trabajo de la mujer; también, se ha desempeñado como docente en varias entidades de la UNAM, FLACSO, COLMEX y en la Universidad Eduardo Mondlane en Mozambique; desde 1988 es investigadora del CRIM-UNAM, y su especialidad es el estudio de la fuerza de trabajo para el mercado, el trabajo no remunerado y el uso del tiempo. Ha publicado ocho libros y más de ochenta artículos especializados en esos temas; el más reciente es "El trabajo y su medición. Antología de estudios del trabajo y género". Ha recibido varias distinciones, de las que destaca el Premio Universidad Nacional en el área de Investigación en Ciencias Sociales.

**Contacto:** pedrero@unam.mx



## Política y lineamientos editoriales

REALIDAD, DATOS Y ESPACIO REVISTA INTERNACIONAL DE ESTADÍSTICA Y GEOGRAFÍA es una publicación cuatrimestral que sirve de enlace entre la generación de la información estadística y geográfica oficial y la investigación académica para compartir el conocimiento entre especialistas e instituciones con propósitos similares.

Se publicarán solo artículos inéditos y originales relacionados con la situación actual del uso y aplicación de la información estadística y geográfica a nivel nacional e internacional.

Es una revista técnico-científica, bilingüe, cuyos trabajos son arbitrados por pares (especialistas), bajo la metodología doble ciego, con los siguientes criterios de evaluación: trabajos inéditos, originalidad, actualidad y oportunidad de la información, claridad en la definición de propósitos e ideas planteadas, cobertura de los objetivos definidos, estructura metodológica adecuada y congruencia entre la información contenida en el trabajo y las conclusiones.

El resultado del proceso de dictaminación se comunica por correo electrónico y contempla tres variantes: recomendado ampliamente (con modificaciones menores), recomendado (pero condicionado a modificaciones sugeridas) y no recomendado (rechazado). Dos dictámenes aprobados, se notifica al autor que se publica y se envía a corrección de estilo; un aprobado y uno rechazado, se le solicita realizar cambios; y dos rechazados, se notifica la no publicación.

### Indizaciones y registros

- LATINDEX Catálogo (Sistema Regional de Información en Línea para Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal).
- CLASE (Citas Latinoamericanas en Ciencias Sociales y Humanidades).
- REDIB (Red Iberoamericana de Innovación y Conocimiento Científico).

### Lineamientos para publicar

Se publicarán trabajos en español e inglés: artículos de investigación, revisión y divulgación; ensayos; metodologías; informes técnicos; comunicaciones cortas; reseñas de libros; revisiones bibliográficas y estadísticas, entre otros.

- 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).
- El trabajo se debe presentar en versión electrónica (formato *Word* o compatible) con: a) extensión no mayor de 20 cuartillas; b) letra Helvética, Arial o Times de 12 puntos y c) interlineado de 1.5 líneas. El material adicional al texto se requiere por separado: a) las imágenes, con resolución de 300 ppp y un tamaño no menor a 17 centímetros de base (ancho) en formato JPG o TIF —no remuestrear (ampliar) imágenes de menor resolución—; si son líneas o mapas, deben entregarse en formato vectorial (EPS o Ai), en caso de incluirse imágenes en mapa de bits, incrustarlas o enviarlas con el nombre con el cual se creó el vínculo (conservando los requerimientos de resolución y tamaño estipulados); y para fotografías, estas no deben ser menores a 5 megapíxeles; b) las fórmulas o expresiones matemáticas tienen que elaborarse con el editor de ecuaciones propio de *Microsoft*<sup>™</sup>, pero en caso de usar *software* de terceros, incluir en la entrega PDF testigo en el cual figuren exactamente cómo deben representarse; c) las gráficas, que incluyan el archivo en *Excel* con el cual se desarrollaron o, en su defecto, la imagen JPG legible, de origen, en alta resolución; y d) los cuadros, que sean editables, no se deben insertar como imagen.
- 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.
- 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.

- 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).
- 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.
- 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.
- 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>

