

# Análisis espacial bayesiano del Índice de Desarrollo Humano municipal, Oaxaca, 2010: una medida de eficiencia

## Bayesian spatial analysis of the municipal Human Development Index, Oaxaca, 2010: a measure of efficiency

ALEJANDRO CORONA AMBRIZ\*  
SERGIO PÉREZ-ELIZALDE\*  
PAULINO PÉREZ-RODRÍGUEZ\*

### *Abstract*

*This article presents a Bayesian geostatistical model for the analysis of the distribution of the Human Development Index (HDI) at the municipal level in Oaxaca, 2010. The model considers fixed effects (covariates: water, drainage and electricity indicators) and spatial effects, which are assumed to follow a conditional autoregressive process. The results indicate that the HDI is influenced by spatial factors. Furthermore, groupings of municipalities were identified that allowed to know the distribution of the HDI in the state. This confirms the need to consider the spatial factors as a fundamental element in the study of social phenomena.*

**Keywords:** *human development index, spatial effects, Gumbel II, Bayesian, efficiency.*

### **Resumen**

En este artículo se presenta un modelo geoestadístico bayesiano para el análisis de la distribución del Índice de Desarrollo Humano (IDH) a escala municipal en Oaxaca, 2010. El modelo considera efectos fijos (covariables: los indicadores de agua, drenaje y electricidad) y efectos espaciales, los cuales, se asume, siguen un proceso autorregresivo condicional. Los resultados indican que el IDH está influenciado por el factor espacial. Además, se identificaron agrupamientos de municipios que permitieron conocer la distribución del IDH en el estado, esto confirma la necesidad de considerar el factor espacial como un elemento fundamental en el estudio de fenómenos sociales.

**Palabras clave:** Índice de Desarrollo Humano, efectos espaciales, Gumbel II, bayesiano, eficiencia.

\* Universidad Autónoma Chapingo/Colegio de Posgraduados, correos-e: [aconoraa@chapingo.mx](mailto:aconoraa@chapingo.mx), [perpdgo@colpos.mx](mailto:perpdgo@colpos.mx) y [sergiop@colpos.mx](mailto:sergiop@colpos.mx)

## Introducción

Ampliar las opciones de las personas es el objetivo del desarrollo, opciones que, asimismo, pueden ser infinitas y cambiar con el tiempo. Las personas, generalmente, valoran logros que no se reflejan en absoluto, o no inmediatamente, en las cifras de ingresos o crecimiento, por ejemplo: mayor acceso al conocimiento, mejor nutrición y servicios de salud, medios de vida más seguros, seguridad contra el crimen y la violencia física, horas de ocio satisfactorias, políticas y libertades culturales y sentido de participación en las actividades comunitarias (Ul, 1995).

El concepto de desarrollo humano y de informes al respecto surgieron con la propuesta de Mahbub Ul Haq en 1990 (Deneulin y Shahani, 2009), un economista paquistaní que quería ver el progreso económico y social del mundo evaluado de una manera diferente —con base en la idea central de Sen (1988) sobre las capacidades y la agencia— lejos de las consideraciones habituales de ingresos y crecimiento económico caracterizados en la publicación anual del Banco Mundial (Deneulin y Shahani, 2009). En el primer informe, 1990, el desarrollo humano se definió como el proceso para ampliar las opciones de las personas y el nivel de bienestar alcanzado (PNUD, 1990).

Al considerar que el ingreso no refleja completamente el bienestar de las personas, el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) elaboró el Índice de Desarrollo Humano (IDH), que resume el logro total de un país en tres dimensiones: salud, educación y nivel de vida (Deneulin y Shahani, 2009). En este sentido, se asume que el IDH es una estadística compuesta destinada a medir el nivel de desarrollo humano de cualquier área, región, estado o país, posibilitando la comparación entre ellos.

Debido a sus características técnicas, el IDH es el indicador más utilizado en la medición del desarrollo humano y el bienestar social (Lengfelder y Cazabat, 2016). Es importante señalar que un factor que debe ser considerado en el análisis del IDH es la autocorrelación espacial, cuyo fundamento teórico retoma la primera ley de la geografía, planteada por Tobler (1970), donde argumenta que todos los elementos están vinculados entre sí, pero los cercanos en el espacio tienden a ser más similares o estar más relacionados que los distantes. La autocorrelación espacial mide el grado de dependencia o correlación de una variable que es atribuida a la proximidad de dichos valores en el espacio geográfico (Griffith y Chun, 2014).

La exploración de datos y su distribución geográfica permite —a través de gráficas, mapas y medidas de asociación espacial— conocer el fenómeno de estudio en la explicación del porqué ocurre la aglomeración en una ubicación específica y qué implicaciones hay para las áreas vecinas.

En años recientes, el fenómeno de la aglomeración se ha relacionado estrechamente con la distribución espacial de la inequidad, la cual ha sido tema central en varias disciplinas de las ciencias sociales. La existencia de núcleos de concentración de actividades generadoras de riqueza rodeadas por anillos de pobreza se relaciona directamente con el estudio territorial de los fenómenos del desarrollo económico (Goodchild *et al.*, 2000).

El objetivo de este estudio es proponer un modelo geoestadístico del IDH, con el que se analizan los datos del 2010, en los municipios del estado de Oaxaca para hacer notar las desigualdades regionales en desarrollo humano en el estado, el cual se ha caracterizado por su extrema pobreza y bajos niveles de desarrollo humano. Además, pretende mostrar que el análisis de los efectos espaciales aleatorios en el IDH permite identificar, en caso de existir, patrones o tendencias territoriales que provean de información en la toma de decisiones a los hacedores de políticas públicas para el mejoramiento del bienestar de las personas.

Este trabajo está organizado de la forma siguiente: en la primera sección se presenta una revisión sobre el Desarrollo Humano y su medición, además de lo relacionado con los servicios públicos y sus indicadores; en la segunda se define el modelo estadístico espacial y las distribuciones asignadas *a priori* a los parámetros del modelo; en el apartado tres se describe el tipo y origen de la información que es analizada, en el cuatro se integran los resultados y, finalmente, en el apartado quinto se desarrolla la discusión.

## 1. Medición del desarrollo humano

El PNUD (1990), en su primer Reporte de Desarrollo Humano (RDH), midió el desarrollo humano utilizando el IDH, este índice combina tres elementos para evaluar el progreso de los países en materia de desarrollo humano: el Producto Interno Bruto (PIB) por habitante, la salud y la educación; cada factor se incluye con la misma ponderación (Desai, 1991; Noorbakhsh, 1998; Neumayer, 2001; Harttgen y Klasen, 2010; Ravallion, 2012). Debido a su simplicidad y al fácil acceso a la información estadística que requiere para su cálculo, este índice se ha convertido en el mecanismo más utilizado para medir el desarrollo humano y el bienestar social, así como el éxito o fracaso de las políticas aplicadas en las naciones (PNUD, 2016; León Sáenz y Pereira Pérez, 2004; López-Calva *et al.*, 2003; López-Calva *et al.*, 2004).

En las décadas posteriores a su introducción y publicación, el IDH ha llegado a servir como el estándar para agencias gubernamentales, profesionales de la industria privada, grupos de desarrollo e investigadores

académicos interesados en estudiar y comparar los niveles nacionales de desarrollo humano. Durante una sesión en 2006, el Congreso Nacional de Desarrollo Humano de Indonesia reiteró que el uso del IDH sirve como indicador económico de los resultados del desarrollo y la satisfacción de las necesidades básicas de la vida humana (Fattah y Muji, 2012). El gobierno de Irlanda también proporcionó más ayuda para el desarrollo de los países clasificados como “desarrollo humano bajo” por el IDH (O’Neill, 2005; Wolff *et al.*, 2011).

En la industria privada, la compañía farmacéutica Merck vendía medicamentos con un descuento significativo a casi todos los países clasificados con bajo desarrollo humano (Petersen y Rohter, 2001; Wolff *et al.*, 2011). Además, ha habido propuestas –al diseñar la política internacional de cambio climático– para considerar la clasificación del IDH de cada país en la determinación de sus obligaciones de reducir emisiones de gases con efecto invernadero (Wolff *et al.*, 2011).

En la investigación, el IDH se usa ampliamente como una alternativa a los indicadores económicos tradicionales al evaluar el nivel relativo de desarrollo humano de una nación (Anand y Ravallion, 1993; Easterlin, 2000). Asimismo, el IDH no sólo es utilizado por economistas y otros científicos sociales, sino en una amplia gama de disciplinas académicas, incluida la comunidad de investigación médica.

Los estudios del Índice de Desarrollo Humano a través de modelos espaciales bayesianos son escasos, por ejemplo: Rinaldi y Nurwita (2010) intentaron explicar el patrón espacial del IDH a nivel subnacional en Indonesia utilizando un modelo econométrico espacial; por otra parte, Kwan *et al.* (2003) enfatizaron la importancia de considerar los efectos espaciales a escala regional para identificar patrones de ciertas variables de tipo social. En México, hasta el momento, no existen estudios específicos del IDH utilizando modelos espaciales bayesianos. Rodríguez Gámez y Cabrera Pereyra (2017) realizaron un análisis territorial del crecimiento económico municipal en México durante el periodo 1999-2009; a través del Análisis Exploratorio de Datos Espaciales (ESDA, por sus siglas en inglés) y el uso de técnicas geoestadísticas investigaron la importancia de la dependencia espacial en la propagación del crecimiento económico. García-Andrés (2012) analizó la distribución espacial del ingreso para los 2443 municipios del país con el ESDA y modelos econométricos espaciales.

En el caso de Oaxaca, el concepto de desarrollo humano lo tomó el Instituto de la Mujer Oaxaqueña (IMO) y el Centro de Investigaciones en Equidad de Género, se elaboró un informe en el 2003 titulado “Índices municipales de desarrollo humano en el estado de Oaxaca”, esta entidad ha sido objeto de varios estudios dirigidos conjuntamente por el Instituto Nacional de Estadística Geografía (Inegi) y la Organización de

las Naciones Unidas (ONU). Un estudio reciente, realizado por Gerónimo Antonio (2016), analizó la dimensión espacial de las desigualdades intermunicipales del estado de Oaxaca mediante el uso de las técnicas de análisis exploratorio de datos espaciales; a través del estadístico I de Moran global y los indicadores locales de asociación espacial (LISA, por sus siglas en inglés) encontró evidencia de autocorrelación espacial significativa, así como de heterogeneidad espacial en la distribución municipal del Índice de Desarrollo Humano (IDH) para los años 2000 y 2010.

### ***1.1. Indicadores de servicios públicos***

Los derechos humanos, como inherentes a las personas, suponen un derecho respetuoso del individuo, protegen la igualdad y la libertad, procuran el acceso a satisfactores indispensables para su desarrollo y se complementan con la declaración sobre el progreso y el desarrollo en lo social (Cordero Torres, 2011).

Los servicios públicos son todas aquellas actividades que realiza el ayuntamiento de manera uniforme y continua para satisfacer las necesidades básicas de la comunidad. Por ejemplo: el agua potable, drenaje, electricidad, mercados, panteones, rastros, calles, parques y transportes. Los servicios públicos desempeñan un papel muy importante dentro de las funciones que tiene el ayuntamiento, ya que a través de ellos se refleja la buena marcha de la administración y se responde a las demandas planteadas por la comunidad para mejorar sus condiciones de vida.

Por ley, los servicios públicos municipales deben ser provistos por los ayuntamientos. La constitución federal los enumera y las constituciones locales y las leyes orgánicas municipales señalan las atribuciones de los ayuntamientos estableciendo que corresponde a los municipios organizar y reglamentar su administración y funcionamiento. Es importante señalar que a partir de las reformas al artículo 115 constitucional, esa tarea adquirió el carácter de mandato constitucional al establecer en la fracción III que los municipios, con recursos de los estados, cuando así fuere necesario y lo determinen las leyes, tendrán a su cargo los servicios públicos que la misma enumera. El mismo artículo 115 de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos prevé que los “municipios de un mismo estado, previo acuerdo entre sus ayuntamientos y con sujeción a la ley, podrán coordinarse y asociarse para la más eficaz prestación de los servicios públicos que les correspondan” (Cámara de Diputados, 2021: 118).

De acuerdo con Acosta Romero (2003) los servicios públicos se pueden clasificar como servicios básicos: agua potable, drenaje, alcantarillado, calles y banquetas, energía eléctrica y alumbrado público y servicios

básicos complementarios: limpia, mercados, centrales de abasto, panteones, rastros, transporte público y ordenamiento territorial.

Por otra parte, cabe mencionar que existen principios que las autoridades municipales deben tomar en cuenta para prestar los servicios públicos a la población: 1) Principio de igualdad. Implica que un servicio se debe proporcionar a toda la población sin incurrir en distinciones, favoritismos ni discriminaciones, debe representar un beneficio colectivo, es decir, los servicios públicos se deben prestar en igualdad de condiciones a toda la población del municipio. 2) Principio de permanencia. El servicio público debe ser proporcionado de manera regular y continua, de tal manera que no haya interrupción en su prestación. 3) Principio de adecuación. Significa que el servicio público debe responder en cantidad y calidad a las necesidades de los habitantes del municipio.

El PNUD argumenta que la prosperidad económica, medida por el PIB per cápita, no es el único factor en la medición del desarrollo humano, porque un aumento en el PIB per cápita no significa necesariamente que la gente del país esté mejor en general. Así, desde que comenzó a calcularse, el IDH ha sido foco del debate público; por ejemplo, una crítica común es sobre la metodología de cálculo, la cual consiste en ponderar equitativamente los tres componentes del índice, lo que sugiere una sustitución perfecta entre la longevidad, el conocimiento y el nivel de vida y, con ello, compensaciones implícitas entre las tres dimensiones (Desai, 1991; Kelley, 1991).

A pesar de su popularidad, que se debe entre otras cosas a su transparencia y simplicidad, el IDH es criticado por varias razones, una de ellas es la idea de que descuida otras dimensiones del bienestar, como los derechos humanos, la seguridad y la participación política como se puede ver en Anand y Sen (1994) y Ranis *et al.* (2005); para hacer frente a estas limitaciones, se ha desarrollado una serie de alternativas en las que se incluye información adicional sobre múltiples facetas del desarrollo humano y, en particular, indicadores relacionados con las condiciones sociales de la población; se proponen los indicadores de servicios públicos (agua entubada, drenaje y electricidad) como una alternativa para sustituir la información relativa al PIB per cápita.

Como ejemplo, la investigación de Ramírez Magaña (1999) excluye al PIB per cápita y la tasa de matriculación infantil, pero incorpora las viviendas que cuentan con drenaje, electricidad y agua potable, en porcentaje, lo que llamó IDH con servicios. A pesar de considerar los servicios públicos en sustitución del PIB, no siempre resulta ser una medida confiable, sobre todo en lugares donde la mayor parte de la población se concentra en zonas urbanas y 90% o más de las viviendas cuenta con servicios públicos: en los municipios de Baja California Sur, la población

se concentra en las cabeceras municipales y, por consecuencia, aproximadamente 90% de las viviendas tienen drenaje, electricidad y agua potable, pero no se representa a la población de las localidades dispersas en el estado que no cuentan con dichos servicios.

## 2. Modelo estadístico

Una forma de analizar los índices relacionados con el desarrollo humano es aplicando estadística espacial. Sin embargo, la complejidad que se deriva de estas estructuras y la alta dimensionalidad de estos modelos dificulta hacer inferencia en este tipo de modelos. Esta dificultad puede resolverse planteando el problema bajo el enfoque de modelos espaciales bayesianos, además, la incorporación de la dependencia espacial, como efectos aleatorios, en el modelo, proporcionará una mejor explicación de la variabilidad y distribución del Índice de Desarrollo Humano.

El modelo geoestadístico considera efectos fijos (covariables) y efectos aleatorios espaciales, es decir:

$$y_i = x_i^t \boldsymbol{\beta} + u_i + \varepsilon_i, \quad i = 1, 2, 3, \dots, n \quad (1)$$

Matricialmente, se tiene:

$$\mathbf{y} = \mathbf{X}\boldsymbol{\beta} + \mathbf{u} + \boldsymbol{\varepsilon} \quad (2)$$

donde:

$\mathbf{y}$ : Vector de la variable respuesta.

$\mathbf{X}$ : Matriz de covariables.

$\boldsymbol{\beta}$ : Vector de parámetros asociados a las covariables.

$\mathbf{u}$ : Vector de efectos aleatorios espaciales; el cual se asume que sigue un proceso autorregresivo condicional (CAR, por sus siglas en inglés), donde  $\varepsilon \sim N_n(0, \sigma_u^2(I - \rho W)^{-1}M)$ ,  $W$  es la matriz de vecindades,  $\rho$  es la dependencia espacial,  $\sigma_u^2$  es la varianza de los efectos aleatorios espaciales y  $M = \text{diag}(\frac{1}{d_{ii}})$ ; donde  $d_{ii}$ : número de vecinos y finalmente,  $\boldsymbol{\varepsilon}$  es el error aleatorio cuya distribución se asume como:  $\varepsilon \sim N_n(0, \sigma^2 I)$ .

Para definir completamente el modelo geoestadístico bayesiano es necesario especificar las distribuciones *a priori* para cada uno de los parámetros desconocidos, que en este caso son:  $\boldsymbol{\beta}$ ,  $\mathbf{u}$ ,  $\sigma^2$ ,  $\sigma_u^2$  y  $\rho$ . La distribución *a priori* para el vector de parámetros  $\boldsymbol{\beta}$  se asume normal multivariada con media cero y matriz de covarianzas  $\mathbf{V}$ , es decir,  $\boldsymbol{\beta} \sim N_p(0, \mathbf{V})$ . La distribución *a priori* para  $\sigma^2$  es una gama inversa con parámetros  $a$  y  $b$ . Para la depen-

dencia espacial  $\rho$  es una distribución uniforme  $(0,1)$ . La matriz de vecindades ( $W$ ) es una matriz binaria tal que  $W_{ij} = 1$  si, y sólo si, las áreas  $i$  y  $j$  son vecinas, y  $W_{ij} = 0$  si las áreas  $i$  y  $j$  no son vecinas. Finalmente, para el hiperparámetro  $\sigma_u^2$  se utilizaron dos distribuciones *a priori*, las cuales son 1) La distribución Gama Inversa con parámetros  $c$  y  $d$ . 2) La distribución Half Cauchy con parámetro  $\lambda$  y para la precisión  $\tau = \frac{1}{\sigma_u^2}$  una distribución *a priori* compleja penalizada obtenida de acuerdo a los principios definidos en Martins *et al.* (2014),<sup>1</sup> Fuglstad *et al.* (2017) y Simpson *et al.* (2017).

### 3. Fuentes de información para el análisis: Índice de Desarrollo Humano municipal e índices de servicios públicos, Oaxaca, 2010

El IDH considera tres variables: 1) **Salud**: medida a través de la esperanza de vida (Esp); 2) **Educación**: medida por medio de la matriculación infantil y la alfabetización (Edu); 3) **Ingreso**: medido a través del Producto Interno Bruto per cápita (Pibp). El IDH se calcula como sigue:

$$IDH = \frac{InEsp + InEdu + InPibp}{3} \quad (3)$$

Otros índices que involucran los servicios básicos (agua, drenaje y electricidad) y que representan un bienestar adicional al dado por la salud y la educación (Ramírez Magaña, 1999) se proponen como covariables: el índice de agua (InAgu), el índice de drenaje (InDre) y el índice de electricidad (InEle), dados como la proporción de la población que cuenta con dicho servicio.

Los índices que miden el desarrollo humano y el acceso a los servicios básicos desempeñan una función importante al hacer notar las carencias y privaciones que tienen las personas, debido a que son el resultado de combinaciones lineales de una o más variables que se incluyen en el desarrollo humano. En este estudio se utiliza el IDH e índices de servicios públicos calculados por en el Departamento de Estadística, Matemática y Cómputo de la Universidad Autónoma Chapingo (Demyc, 2021).

<sup>1</sup> Documento preprint arXiv:1403.4630v1 [stat.ME]



## 4. Resultados

### 4.1. Análisis breve del IDH a escala municipal para Oaxaca, 2010

En esta sección se hace un breve análisis del IDH municipal de Oaxaca registrado en el 2010, para ello, se toma en cuenta el criterio de agregación de los valores del IDH utilizado por el PNUD; es decir, valores menores de 0.5 se denominan IDH bajo; de 0.5 a menos de 0.8, IDH medio y de 0.8 a 1 IDH alto. Oaxaca presentó un IDH de 0.733259, se ubica en la categoría de índice medio.

A escala municipal, trescientos noventa y tres municipios, que representan 68.9% del total, registraron un IDH bajo, lo cual implica que más de 50% de la población de la entidad no cuenta con las condiciones mínimas para disfrutar una vida prolongada y saludable, adquirir conocimientos y lograr un nivel de vida decente, mientras que 176 municipios (31%) alcanzaron un IDH medio y solamente un municipio, la capital, Oaxaca de Juárez, registró un IDH alto (0.823831), esto es, con las condiciones mínimas para ampliar sus opciones de salud, educación y nivel de vida.

Los municipios de Oaxaca presentan un IDH que va desde un valor de 0.365404 –registrado por el municipio de Santa Catarina Mechoacán– hasta 0.823831 –que corresponde al municipio de Oaxaca de Juárez– lo que evidencia la variabilidad del IDH que existe entre los municipios.

En el cuadro 1 se presentan los cinco municipios con el IDH más bajo: Santa Catarina Mechoacán, Coicoyán de las Flores, Santa María Temascaltepec, Eloxochitlán de Flores Magón y Huauteppec. Algunas características que comparten tales municipios son que la principal actividad económica es la primaria (agricultura), que el porcentaje de población indígena es significativo y, generalmente, que se ubican en regiones montañosas. En contraste, los cinco municipios con mayor IDH se presentan en el cuadro 2: Oaxaca de Juárez, Heroica Ciudad de Huajuja-

**Cuadro 1**  
**Municipios con menor IDH en Oaxaca**

<i>Clave</i>	<i>Municipio</i>	<i>IDH</i>
367	Santa Catarina Mechoacán	0.365404
16	Coicoyán de las Flores	0.366042
433	Santa María Temascaltepec	0.368004
29	Eloxochitlán de Flores Magón	0.372714
40	Huauteppec	0.377363

Fuente: elaboración propia con información del Departamento de Estadística, Matemática y Cómputo de la Universidad Autónoma Chapingo (Demyc, 2021).

pan de León, San Juan Bautista Tuxtepec, Santa Cruz Xoxocotlán y San Sebastián Tutla. Cabe mencionar que estos municipios se caracterizan porque sus actividades económicas se dan en el sector secundario (industria) y terciario (servicios), principalmente.

**Cuadro 2**  
**Municipios con mayor IDH en Oaxaca**

<i>Clave</i>	<i>Municipio</i>	<i>IDH</i>
350	San Sebastián Tutla	0.703675
385	Santa Cruz Xoxocotlán	0.713587
184	San Juan Bautista Tuxtepec	0.718114
39	Heroica Ciudad de Huajuapán de León	0.718536
67	Oaxaca de Juárez	0.823831

Fuente: elaboración propia con información del Departamento de Estadística, Matemática y Cómputo de la Universidad Autónoma Chapingo, (Demyc, 2021).

De acuerdo con el análisis anterior, es evidente que existe una heterogeneidad en desarrollo humano en la entidad; los municipios con mayor índice se ubican en el centro (Oaxaca de Juárez), norte (San Juan Bautista Tuxtepec), sur (Santa María Huatulco y San Pedro Mixtepec (Puerto Escondido), este (Matías Romero Avendaño y Asunción Ixtaltepec) y noroeste (Huajuapán de León) del estado; mientras que los municipios con IDH bajo se encuentran distribuidos en toda la entidad. En general, los municipios presentan diferencias en términos de desarrollo e inversión social, de cobertura de necesidades básicas y atención educativa. Por lo tanto, hay oportunidad de diseñar, emprender políticas públicas y acciones sociales que reduzcan la brecha que existe entre ellos.

#### ***4.2. Ajuste del modelo espacial bayesiano***

Dado que el índice de desarrollo humano (IDH) toma valores de cero a uno, se aplicó la transformación presentada en la ecuación (4) con el propósito de que la respuesta tenga soporte en los números reales; es decir,

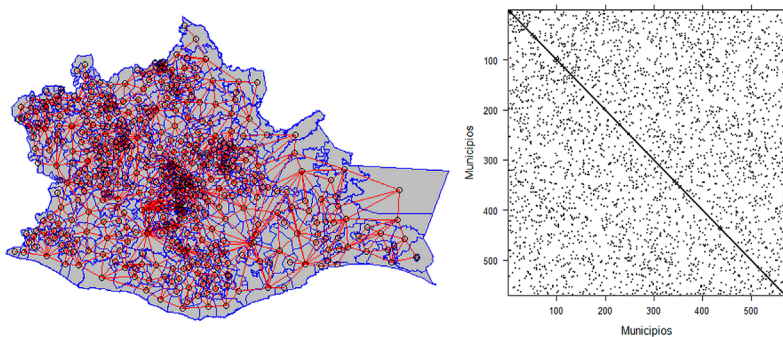
$$y = \log\left(\frac{IDH}{1 - IDH}\right) \quad (4)$$

Además, el modelo propuesto considera tres covariables definidas por los indicadores de los servicios públicos (InAgu, InDre e InEle) y los efectos aleatorios espaciales ( $\boldsymbol{u}$ ). La inclusión de los indicadores de servi-

cios públicos al modelo se debe a que existe una estrecha relación con el IDH y, por lo tanto, se espera obtener una mejor predicción de la distribución del IDH al incorporar información que no está contemplada en dicho índice.

Por otra parte, para realizar el ajuste del modelo espacial definido en la ecuación (2) fue necesario determinar los vecinos de cada municipio con el propósito de especificar la matriz de vecindades ( $W$ ), la cual establece la estructura espacial de los efectos aleatorios, en este caso, corresponde a una matriz simétrica de orden  $570 \times 570$ , donde cada fila y columna corresponde a un municipio del estado de Oaxaca y los puntos indican los municipios vecinos (figura 1, derecha). Con respecto a los vecinos, se consideraron aquellos municipios que comparten límites o fronteras (figura 1, izquierda). Cabe mencionar que la matriz de vecindades ( $W$ ) determina la estructura espacial y por consecuencia el nivel de dependencia espacial entre los municipios. En el presente estudio sólo se consideraron vecinos de primer orden, con base en el principio de la geografía de que las cosas cercanas son más semejantes que las lejanas. Sin embargo, existe la posibilidad de considerar otros municipios que, a pesar de no ser colindantes, influyen en las actividades económicas, educación y salud, principalmente.

**Figura 1**  
**Relaciones de vecindad en los municipios de Oaxaca**



Nota: Vecinos de primer orden: líneas rojas (izquierda) y matriz de vecindades (derecha).

Fuente: elaboración propia con información del Departamento de Estadística, Matemática y Cómputo de la Universidad Autónoma Chapingo, (Demyc, 2021) y *software* estadístico R (R Core Team, 2020).

El modelo definido en la ecuación 2 fue ajustado utilizando los algoritmos del muestreador de Gibbs y Metropolis-Hastings, con 15,000 iteraciones, se descartaron las primeras 5000 como burnin para verificar

convergencia de las cadenas. Para comparar los modelos ajustados con las diferentes distribuciones *a priori* se calculó el Criterio de Información de la devianza (DIC, por sus siglas en inglés), el cual fue introducido por Spiegelhalter *et al.* (2002); tales resultados se resumen en el cuadro 3.

**Cuadro 3**  
**Estimadores de los parámetros del modelo usando tres distribuciones *a priori***

<i>Parámetro</i>	<i>Gama inversa</i>	<i>Half cauchy</i>	<i>Gumbel tipo II</i>
$\beta_1$	-0.0303	-0.0424	-0.0461
$\beta_2$	-0.1728	-0.1693	-0.1683
$\beta_3$	0.2748	0.2831	0.2873
$\sigma^2$	0.0251	0.0232	0.0239
$\sigma_u^2$	0.0732	0.0994	0.1139
$\rho$	0.7454	0.7465	0.7389
DIC	-250.61	-255.12	-262.58
P	278.75	239.07	233.58

Fuente: cálculos propios con el *software* estadístico R (R Core Team, 2020).

De acuerdo con los resultados presentados en el cuadro 3, se observa que los estimadores de  $\beta_1$ ,  $\beta_2$  y  $\beta_3$  son más semejantes cuando se usaron las distribuciones Half Cauchy y Gumbel tipo II como *a priori* para el parámetro de escala  $\sigma_u^2$ . Entre las tres *a priori* consideradas, la distribución Gumbel tipo II obtuvo el DIC más pequeño. Por lo tanto, el modelo espacial con una *a priori* Gumbel tipo II provee una mejor descripción del comportamiento del IDH en los municipios del estado de Oaxaca, involucrando el aspecto espacial, comparado con las otras distribuciones *a priori* (Gama Inversa y Half Cauchy).

Cabe mencionar que con la distribución Half Cauchy se consiguieron resultados muy semejantes en general. Sin embargo, el DIC fue mayor al registrado por la distribución Gumbel tipo II. Por el contrario, con un DIC mayor, el modelo ajustado con una distribución Gama Inversa como *a priori*, se espera que describa inadecuadamente el comportamiento del IDH municipal comparado con las otras *a priori*.

Con respecto a la dependencia espacial ( $\rho$ ) siempre fue superior a 0.7, sin importar la distribución *a priori* utilizada; además, dado que los intervalos de probabilidad no contemplaban al cero se concluye que la dependencia espacial es positiva y estadísticamente significativa. Por otra parte, es conveniente mencionar que el modelo ajustado con una distribución

*a priori* Gama Inversa presentó el mayor número efectivo de parámetros (P) lo que sugeriría un problema de sobreajuste, mientras que para las otras distribuciones *a priori* fue menor el número de parámetros (cuadro 3). A pesar de que los resultados obtenidos con la distribución Half Cauchy y la Gumbel II fueron muy semejantes, en términos absolutos favorecieron a la última; por ejemplo, el DIC fue menor, así como el número de parámetros estimados y los intervalos de credibilidad fueron más estrechos en general (cuadro 4).

**Cuadro 4**  
**Intervalos de credibilidad (95%) de los parámetros**

Parámetro	Gama inversa		Half cauchy		Gumbel tipo II	
$\beta_1$	-0.12632	0.06589	-0.14385	0.05669	-0.14638	0.05059
$\beta_2$	-0.26134	-0.08702	-0.25733	-0.08165	-0.25421	-0.08172
$\beta_3$	0.20414	0.34542	0.21260	0.35391	0.21647	0.35682
$\sigma^2$	0.01906	0.03142	0.01891	0.02956	0.01612	0.02987
$\sigma_{ii}^2$	0.04827	0.10432	0.08664	0.11378	0.09006	0.13682
$\rho$	0.70326	0.99187	0.69702	0.78446	0.68714	0.78625

Fuente: cálculos propios con el *software* estadístico R (R Core Team, 2020).

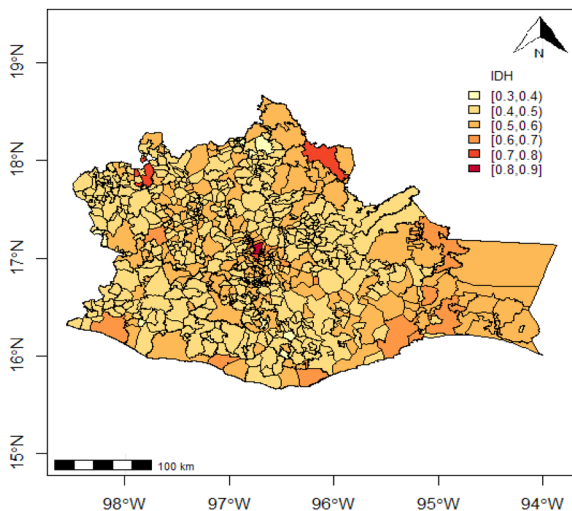
### ***4.3. Análisis del IDH a escala municipal considerando el efecto aleatorio espacial***

Considerar el factor espacial en este tipo de estudios es muy importante debido a que, además de los índices registrados en los municipios, tienen información geográfica adjunta generada por la existencia de la dependencia espacial. Más aún, Kwan *et al.* (2003) enfatizan la importancia del efecto espacial como un factor que debe considerarse al estudiar y analizar variables de tipo social.

Para un primer acercamiento al análisis del IDH (observado), se hace una exploración de la distribución geográfica del IDH en los municipios de Oaxaca a través del mapa 1. En dicho mapa se observa una heterogeneidad que se puede interpretar como la existencia de una desigualdad en términos de desarrollo humano; sin embargo, a pesar de tal situación es posible observar ciertas tendencias del IDH. Asimismo, el mapa 1 permite visualizar que los municipios con registro de IDH similar se ubican en diferentes zonas, pero predominan los municipios con IDH bajo. En general, existen cinco zonas donde se registraron los IDH más altos en la entidad.

## Mapa 1

### Comportamiento del IDH observado en los municipios de Oaxaca



Fuente: elaboración propia con información del Departamento de Estadística, Matemática y Cómputo de la Universidad Autónoma Chapingo, (Demyc, 2021) y *software* estadístico R (R Core Team, 2020).

La exploración geográfica del IDH sugiere que existe un conjunto de conglomerados en la distribución del IDH; sin embargo, este tipo de análisis no brinda información suficiente para concluir que la tendencia o comportamiento del IDH es significativa desde el punto de vista estadístico y que está influenciada por la dependencia espacial que existe entre los municipios del estado. Por lo tanto, considerar el efecto aleatorio espacial para el análisis permitirá identificar y concluir si existe una tendencia, de tal manera que se determinen grupos o conglomerados de municipios, donde el IDH de los mismos cambien de un grupo a otro o si efectivamente el comportamiento del IDH es aleatorio; es decir, no existe alguna tendencia dominante hacia la aglomeración o a la dispersión, si el IDH es disperso, los municipios con un IDH alto, medio y bajo aparecerán distribuidos en todo el estado.

Para realizar el análisis del IDH considerando los efectos aleatorios espaciales es necesario tener presente la primera ley de la geografía que según Tobler (1970) menciona que todo está relacionado con todo lo demás, pero las cosas cercanas están más relacionadas que las distantes. En este caso, se espera que el IDH de los municipios sea semejante o similar al IDH de los municipios con los que colinda. Así, el análisis estará enfocado en identificar grupos o tendencias en el comportamiento del IDH, partiendo del hecho de que, al considerar los efectos aleatorios

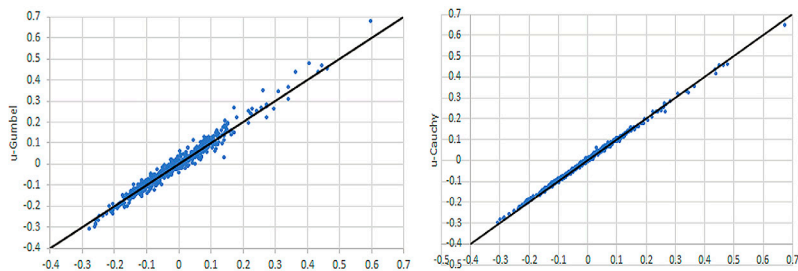
espaciales, los valores predichos de estos últimos podrán interpretarse como una medida de qué tan eficientes o no han sido los municipios para mejorar el bienestar de su población y, por consecuencia, su desarrollo humano.

#### 4.3.1. Municipios eficientes

En este trabajo se define un municipio eficiente como aquél cuyo efecto aleatorio espacial predicho fue positivo. Como se mencionó anteriormente, los resultados obtenidos con la distribución Half Cauchy fueron muy similares a los obtenidos con la distribución Gumbel II, con una correlación de 0.998; tal como se observa en la figura 2 (derecha), por tal motivo se omitirá la primera distribución en el análisis y se realizará el contraste con la distribución gama inversa (figura 2, izquierda).

Los municipios que se consideran eficientes con la distribución Gumbel II fueron 246, mientras que con la distribución Gama Inversa resul-

**Figura 2**  
**Comparación de los efectos aleatorios espaciales predichos (u) en los municipios de Oaxaca**



Nota: Gama inversa-Gumbel (izquierda) y Gumbel II-Cauchy (derecha).

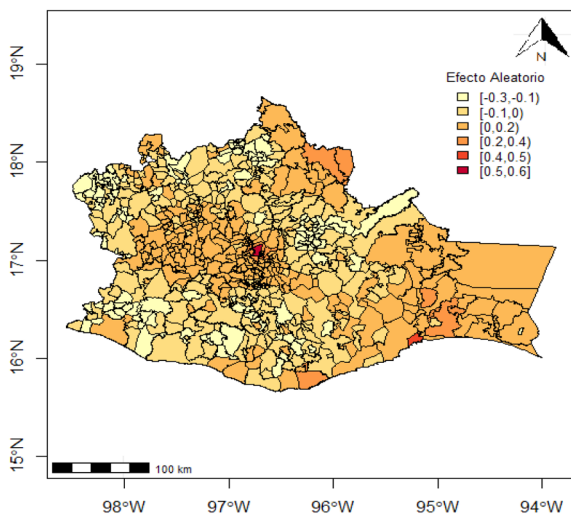
Fuente: elaboración propia con información del Departamento de Estadística, Matemática y Cómputo de la Universidad Autónoma Chapingo, (Demyc, 2021) y *software* estadístico R (R Core Team, 2020).

taron 234 –representan 43.16% y 41.05% del total estatal, respectivamente– lo cual implica que tales municipios han utilizado de manera eficiente sus recursos para mejorar el bienestar de su población con respecto a lo esperado, aunque en algunos municipios la eficiencia fue mejor al presentar un efecto aleatorio mayor, como se observa en los mapas 2 y 3.

Adicionalmente, en dichos mapas, a través de la intensidad del color, se pueden identificar zonas o grupos de municipios donde los efectos

## Mapa 2

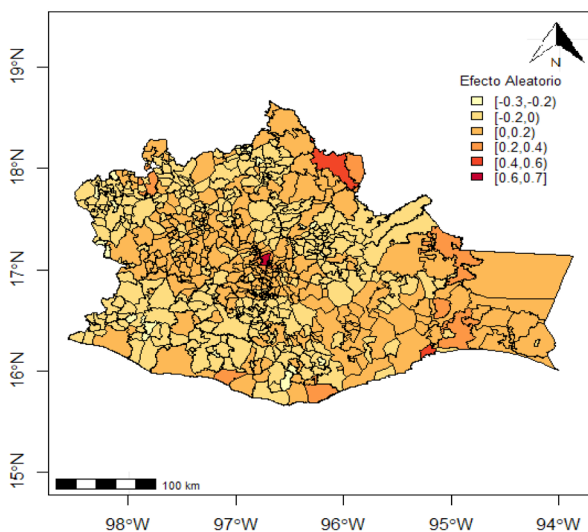
### Valores predichos de los efectos aleatorios espaciales ( $u$ ) en los municipios de Oaxaca con la distribución *a priori* Gama inversa



Fuente: elaboración propia y cálculos con información del Departamento de Estadística, Matemática y Cómputo de la Universidad Autónoma Chapingo, (Demyc, 2021) y *software* estadístico R (Core Team, 2020).

## Mapa 3

### Valores predichos de los efectos aleatorios espaciales ( $u$ ) en los municipios de Oaxaca con la distribución *a priori* Gumbel II



Fuente: elaboración propia y cálculos con información del Departamento de Estadística, Matemática y Cómputo de la Universidad Autónoma Chapingo, (Demyc, 2021) y *software* estadístico R (Core Team, 2020).



aleatorios predichos fueron cercanos, mayores y menores a cero, así, se logran identificar cuatro grupos o conglomerados: el primero se ubica en el centro del estado, representado por la capital Oaxaca de Juárez, donde las principales actividades económicas son el turismo y el comercio; el segundo se localiza en el norte, destacando el municipio de San Juan Bautista Tuxtepec, en el que las principales actividades económicas corresponden al sector terciario, específicamente, el comercio y los servicios, se encuentra asimismo la industria manufacturera y la agricultura (Ayuntamiento de San Juan Bautista Tuxtepec, 2011); el tercer grupo se sitúa al oriente del estado, donde despuntan los municipios Heroica Ciudad de Juchitán de Zaragoza, aquí se ubica el corredor eólico de La Venta, uno de los principales proyectos energéticos no sólo de Oaxaca sino de México y Matías Romero Avendaño; el cuarto grupo se encuentra al sur del estado, sobresalen los municipios de Santa María Huatulco y San Pedro Mixtepec, ahí se ubican los centros turísticos de Huatulco y Puerto Escondido, respectivamente.

Los cinco municipios que obtuvieron los efectos predichos más altos fueron San Juan Bautista Tuxtepec, San Jacinto Amilpas, San Sebastián Tutla, Salina Cruz y Oaxaca de Juárez; es decir, su IDH predicho es mayor al IDH obtenido sin considerar el efecto aleatorio espacial en el modelo. Cabe mencionar que los municipios con valor más grande de los efectos espaciales predichos se encuentran cercanos a los municipios con mayor IDH: Oaxaca de Juárez, San Juan Bautista Tuxtepec, Santa María Huatulco, San Pedro Mixtepec y San Juan Bautista Tuxtepec, principalmente.

#### 4.3.2. *Municipios ineficientes*

Un municipio ineficiente es aquel cuya predicción del efecto aleatorio ( $u$ ) es negativa; es decir, el IDH predicho es menor al obtenido con el modelo sin considerar el efecto aleatorio espacial. Al igual que en el caso anterior, dado que los resultados obtenidos con la distribución *a priori* Half Cauchy fueron muy similares a los obtenidos con la Gumbel II, se hará el análisis con la última distribución.

Los municipios que se categorizaron como ineficientes fueron 324, que representan 56.84% del total estatal, lo cual implica que no han utilizado de manera eficiente sus recursos para mejorar su calidad de vida y por consecuencia para incrementar su índice de desarrollo humano, cabe mencionar que el grado de ineficiencia es más grave en algunos municipios de la entidad.

Los cinco más ineficientes fueron Santa María Temaxcaltepec, Santa Catarina Mechoacán, Coicoyán de la Flores, Santiago Texcalcingo y San Francisco Huehuetlán. Tales municipios se encuentran distribuidos en la

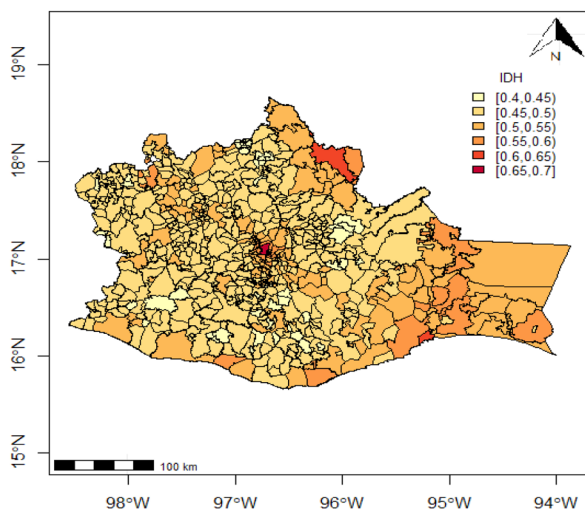
entidad y se caracterizan por ubicarse en las regiones montañosas, sus actividades económicas se basan en el sector primario y la población indígena es significativa, mayor a 50 por ciento.

Lo anterior muestra que más de la mitad de los municipios presentan carencias en los servicios de salud, educación e ingreso. Un hallazgo interesante en los municipios considerados como ineficientes es que no tienden a formar grupos como los nominados eficientes (mapa 2 y 3); es decir, a pesar de que su ubicación está asociada con características demográficas y orográficas similares, no se cumple la primera ley de la geografía.

#### 4.4. Comportamiento del IDH predicho a escala municipal

En los mapas 4, 5 y 6 se muestra el comportamiento del IDH a escala municipal en Oaxaca para cada una de las distribuciones *a priori* utilizadas (Gama Inversa, Gumbel II y Half Cauchy). Al comparar los tres mapas se observa que usando la distribución *a priori* Gumbel tipo II se identificaron mejores tendencias en el IDH con respecto a la Gama Inversa, que presenta problemas de sobreajuste y sensibilidad; es decir, se observan grupos de municipios cuyo IDH son similares (mapa 4). Tal tendencia, evidentemente, favorece a los municipios del norte.

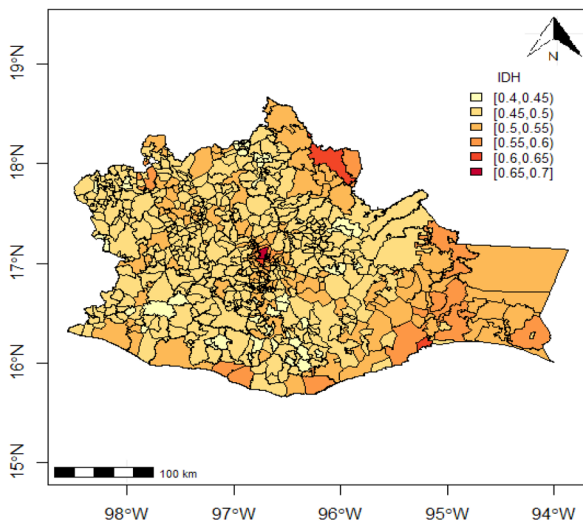
**Mapa 4**  
**Comportamiento del IDH predicho en los municipios de Oaxaca con la distribución Gama Inversa como *a priori***



Fuente: elaboración propia y cálculos con información del Departamento de Estadística, Matemática y Cómputo de la Universidad Autónoma Chapingo, (Demyc, 2021) y *software* estadístico R (R Core Team, 2020).

### Mapa 5

#### Comportamiento del IDH predicho en los municipios de Oaxaca con la distribución Gumbel II como *a priori*



Fuente: elaboración propia y cálculos con información del Departamento de Estadística, Matemática y Cómputo de la Universidad Autónoma Chapingo, (Demyc, 2021) y *software* estadístico R (R Core Team, 2020).

Como se mencionó en secciones anteriores, los resultados de la Half Cauchy fueron semejantes a los obtenidos con la distribución Gumbel II; por lo tanto, el comportamiento y tendencia fue muy semejante (mapas 5 y 6). Sin embargo, con la distribución Gama Inversa los resultados fueron diferentes, es decir, el comportamiento de la distribución del IDH fue más heterogéneo haciendo difícil identificar alguna tendencia o patrón de comportamiento del IDH (mapa 4), de tal manera que existe la posibilidad de llegar a conclusiones equivocadas.

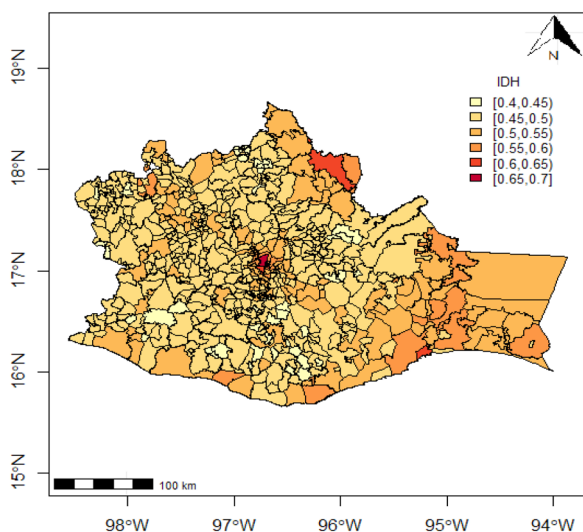
Los agrupamientos municipales con un IDH alto se localizan principalmente en cinco áreas. El agrupamiento más grande está formado por municipios ubicados en la región de Valles Centrales e incluye a la mayoría de los que conforman la zona metropolitana de Oaxaca; es decir, los cercanos y colindantes con Oaxaca de Juárez, la capital, entre los que sobresalen Santa Lucía del Camino, San Sebastián Tutla y San Juan Bautista Tuxtepec. El segundo agrupamiento está localizado en el norte del estado, encabezado por el municipio de San Juan Bautista Tuxtepec y colindantes: Loma Bonita, San José Chiltepec, San Lucas Ojitlan, San Miguel Soyaltepec, entre otros. San Juan Bautista Tuxtepec es el principal centro urbano de la región de la Cuenca del Papaloapan, entidad con gran actividad

agrícola, ganadera, industrial y en esencia comercial; es punto de convergencia de las actividades de los estados de Oaxaca, Veracruz y Puebla.

El tercer grupo se encuentra al sureste y este del estado, destaca Salina Cruz, importante centro industrial del estado debido a la presencia de la refinería “Ing. Antonio Dovalí Jaime” de Petróleos Mexicanos, la cual brinda trabajo a una parte de la población y beneficia la economía, directa e indirectamente, de la ciudad. Salina Cruz también es considerado un puerto de altura y de los más importantes del litoral del pacífico mexicano, además de la importancia de las actividades mercantiles que se llevan a cabo. En este grupo se encuentran los municipios de Matías Romero Avendaño, Asunción Ixtaltepec, San Mateo del Mar, Ciudad Ixtepec y Unión Hidalgo, principalmente.

El cuarto grupo se encuentra al sur del estado, está representado por los municipios de Santa María Huatulco y San Pedro Mixtepec, donde se ubican los centros turísticos Huatulco y Puerto Escondido, respectivamente; por lo tanto, la principal actividad económica son los servicios. Finalmente, el quinto grupo se ubica en la región mixteca, al noroeste de la entidad, destaca el municipio de Huajuapán de León, cuya principal actividad económica es el comercio, tanto local como foráneo, seguida de la construcción, los servicios y las industrias manufactureras. En resumen, los resultados expuestos en los mapas 5 y 6 revelan que los grupos

**Mapa 6**  
**Comportamiento del IDH predicho en los municipios de Oaxaca con la distribución Half Cauchy como *a priori***



Fuente: Elaboración propia y cálculos con información del Departamento de Estadística, Matemática y Cómputo de la Universidad Autónoma Chapingo, (Demyc, 2021) y *software* estadístico R (R Core Team, 2020)

de municipios con mejor IDH se conforman por los municipios más importantes, de acuerdo a sus actividades económicas, y por los municipios colindantes, principalmente.

## 5. Discusión

En el presente trabajo se propuso un modelo geoestadístico para analizar el comportamiento y distribución del IDH municipal para el 2010, con el propósito de evidenciar las desigualdades existentes en el estado de Oaxaca. El ajuste del modelo geoestadístico se hizo con un enfoque bayesiano debido a la complejidad que se deriva al considerar la dependencia espacial, efectos espaciales aleatorios y la alta dimensionalidad. Además, se consideraron los indicadores de agua potable, drenaje y electricidad como covariables para explicar y mostrar como el IDH municipal se distribuye en el estado de Oaxaca. Las covariables, que representan parte de los servicios públicos, se incluyen en el modelo para determinar si a través de éstas y del factor espacial se puede explicar la distribución del IDH.

Los resultados obtenidos revelaron la existencia de una dependencia espacial positiva y se identificaron tendencias y agrupamientos en los municipios de acuerdo con su IDH. Es importante destacar que las conclusiones son semejantes a las reportados por Gerónimo Antonio (2016), único estudio encontrado para el estado, quien realizó un análisis espacial a través del estadístico índice de Moran global (I); es decir, determinó simplemente si la dependencia espacial era significativa por medio de tal estadístico. Evidentemente, a pesar de obtener conclusiones semejantes, la metodología que se usa en este trabajo es distinta debido a que considera más información –covariables, la dependencia espacial y los efectos espaciales aleatorios– de tal manera que se obtienen más resultados, como los efectos aleatorios predichos, usados para determinar la eficiencia o ineficiencia de un municipio y mejorar el desarrollo humano de su población.

La matriz de vecindades ( $W$ ) determina la estructura espacial y por consecuencia el nivel de dependencia espacial entre los municipios. En el presente trabajo sólo se consideraron vecinos de primer orden, municipios colindantes. Sin embargo, existe la posibilidad de incluir otros municipios que, a pesar de no ser colindantes, influyen en las actividades socioeconómicas, principalmente. Por lo tanto, se sugiere considerar municipios de segundo orden, es decir, aquellos que se encuentran a una determinada distancia.

## Conclusiones

El IDH es influido por el factor espacial, en este trabajo se presentó evidencia de que los municipios mantienen un proceso de propagación del IDH que puede explicarse, entre otros factores, por el propio arreglo espacial de las áreas geográficas, de ahí la necesidad de conocer el patrón espacial que explica el comportamiento del IDH entre los municipios del estado de Oaxaca. En este sentido, se confirma la necesidad de considerar al espacio como un elemento estructural fundamental en el estudio de fenómenos sociales.

Al examinar los efectos aleatorios predichos en los municipios de la entidad se logró identificar a los más eficientes e ineficientes, ello podría servir para mejorar sus condiciones de vida y por ende su desarrollo humano. Los cinco municipios más eficientes fueron San Juan Bautista Tuxtepec, San Jacinto Amilpas, San Sebastián Tutla, Salina Cruz y Oaxaca de Juárez; en contraste, los más ineficientes fueron Santa María Temascaltepec, Santa Catarina Mechoacán, Coicoyán de las Flores, Santiago Texcalcingo y San Francisco Huehuetlán.

Los resultados del presente trabajo permitieron conocer las tendencias o patrones del IDH en los municipios del estado de Oaxaca considerando el componente aleatorio espacial, así como identificar la presencia de la dependencia espacial, es decir, el efecto que tiene la proximidad geográfica en el IDH es diferenciado y más evidente en los municipios más desarrollados.

En este entendido, el principal reto es disminuir la brecha del desarrollo humano a través del diseño e implementación de políticas públicas que consideren este tipo de información como referencia. El IDH municipal no se distribuye de forma independiente en la entidad, por el contrario, existe una dependencia espacial positiva y estadísticamente significativa debido a que la dependencia espacial ( $\rho$ ) estimada fue mayor a 0.7, lo cual implica que el IDH está espacialmente relacionado y, por lo tanto, se presentan tendencias en la distribución del IDH logrando identificar grupos con índices semejantes.

Los municipios que colindan con municipios, cuyos índices de desarrollo humano son altos o bajos, presentan características socioeconómicas similares. Los agrupamientos municipales con alto IDH están representados por Oaxaca de Juárez, San Juan Bautista Tuxtepec y Santa María Huatulco ubicados en las regiones de Valles Centrales, Papaloapan y Costa, respectivamente. En contraste, los principales grupos con bajo IDH se identifican con los siguientes municipios: Santa María Temascaltepec, Santa Catarina Mechoacán, Coicoyán de la Flores, Santiago Texcalcingo y San Francisco Huehuetlán, los cuales se localizan en las regiones Sierra Norte, la Cañada y en la Mixteca. Así, se puede inferir que el grado de

desarrollo humano de algunos municipios oaxaqueños está influenciado por factores socioeconómicos, culturales y políticos de sus vecinos.

Con las distribuciones *a priori*, Half-Cauchy y Gumbel Tipo II, se obtuvieron resultados similares y más robustos. La distribución gamma inversa como *a priori* conjugada para los parámetros de escala debe utilizarse con mayor precaución, considerando que puede “pesar demasiado” en la distribución *a posteriori* y por consecuencia en las inferencias. Además, entre las tres distribuciones *a priori* consideradas, la gama inversa presentó la mayor devianza y el mayor número efectivo de parámetros evidenciando posibles problemas de sobreajuste.

### Fuentes consultadas

- Acosta Romero, Miguel (2003), *Compendio de derecho administrativo: parte general*, México, Porrúa.
- Anand, Sudhir y Sen, Amartya (1994), “Human development index: methodology and measurement”, *Human Development Report Office Occasional Papers*, Nueva York, Human Development Report Office, pp. 1-25.
- Anand, Sudhir y Ravallion, Martin (1993), “Human Development in Poor Countries: On the Role of Private Incomes and Public Services”, *Journal of Economic Perspectives*, 7 (1), Nashville, American Economic Association, pp. 133-150, doi: 10.1257/jep.7.1.133
- Ayuntamiento de San Juan Bautista Tuxtepec (2011), Plan de Desarrollo Municipal 2011-2013, San Juan Bautista Tuxtepec, Ayuntamiento de San Juan Bautista Tuxtepec.
- Cámara de Diputados (2021), “Artículo 115. Título quinto: de los estados de la Federación y de la Ciudad de México”, Cámara de Diputados, <<https://acortar.link/E1GzKu>>, 16 de mayo de 2021.
- Cordero Torres, Jorge Martín (2011), “Los servicios públicos como derecho de los individuos”, *Ciencia y sociedad*, 36 (4), Santo Domingo, Instituto Tecnológico de Santo Domingo, pp. 43-162.

- Demyc (Departamento de Estadística, Matemática y Cómputo) (2021), “Programa de Estadísticas Sociales”, Texcoco, Universidad Autónoma Chapingo, <<https://acortar.link/juHX2B>>, 10 de junio de 2019.
- Deneulin, Séverine y Shahani, Lila (2009), *An introduction to the human development and capability approach: Freedom and agency*, Londres, IDRC-Earthscan.
- Desai, Meghnad (1991), “Human development, concepts and measurement”, *European Economic Review*, 35 (2-3), Londres, London School of Economics, pp. 350-357.
- Easterlin, Richard (2000), “The globalization of human development”, *The Annals of the American Academy of Political and Social Science*, 570 (1), Los Ángeles, University of Southern California, pp. 32-48, doi: 10.2307/40204320
- Fattah, Sanusi y Muji, Aspa (2012), “Local government expenditure allocation toward Human Development Index at Jeneponto Regency, South Sulawesi, Indonesia”, *Journal of Humanities and Social Science*, 5 (6), Macasar, Hasanuddin University, pp. 40-50, doi: 10.9790/0837-0564050
- Fuglstad, Geir-Arne; Simpson, Daniel; Lindgren, Finn y Rue, Håvard (2017), “Constructing Priors that Penalize the Complexity of Gaussian Random Fields”, *Journal of the American Statistical Association*, 114 (525), Trondheim, Norwegian University of Science and Technology, pp. 1-50, doi: 10.1080/01621459.2017.1415907
- García Andrés, Adelaido (2012), “Distribución municipal del ingreso en México: análisis desde un enfoque espacial”, *Quantitativa, Revista de Economía*, 2 (1), Colima, Universidad de Colima, pp. 125-144.
- Gerónimo Antonio, Victor Manuel (2016), “Disparidades municipales en desarrollo humano en Oaxaca: evidencia desde un enfoque espacial”, *Revista de Economía*, 33 (86), Yucatán, Universidad Autónoma de Yucatán, pp. 9-44, doi: 10.33937/reveco.2016.60
- Goodchild, Michael; Anselin, Luc; Appelbaum, Richard y Harthorn, Barbara (2000), “Toward spatially integrated social science”,



*International Regional Science Review*, 23 (2), Santa Bárbara, University of California, pp. 139-159.

- Griffith, Daniel y Chun, Yongwan (2014), “Spatial Autocorrelation and Spatial Filtering”, en Manfred Fischer y Peter Nijkamp (eds.), *Handbook of Regional Science*, Berlín, Springer, pp.1477-1507, doi: [https://doi.org/10.1007/978-3-642-23430-9\\_72](https://doi.org/10.1007/978-3-642-23430-9_72)
- Harttgen, Kenneth y Klasen, Stephan (2010), “A household-based Human Development Index”, *World Development*, 40 (5), Elsevier, pp. 878-899, doi: 10.1016/j.worlddev.2011.09.011
- Kelley, Allen (1991), “The Human Development Index: ‘Handle with Care’”, *Population and Development Review*, 17 (2), Nueva York, Population Council, pp. 315-324.
- Kwan, Mei-Po; Janelle, Donald y Goodchild, Michael (2003), “Accessibility in space and time: A theme in spatially integrated social science”, *Journal of Geographical Systems*, 5 (1-3), Springer, pp. 1-3, doi: 10.1007/s101090300100
- Lengfelder, Christina y Cazabat, Christelle (2016), “A review of conceptual and measurement innovations in national and Regional Human Development Reports 2010-2016”, Nueva York, United Nations Development Programme-Oxford University Press.
- León Sáenz, Ana Teresa y Pereira Pérez, Zulay (2004), “Desarrollo humano, educación y aprendizaje”, *Revista Electrónica Educare*, núm. 6, Heredia, Universidad Nacional de Costa Rica, pp. 71-92, doi: 10.15359/ree.2004-6.5
- López-Calva, Luis-Felipe; Rodríguez Chamussy, Lourdes y Székely, Miguel (2004), “Medición del Desarrollo Humano en México. Introducción”, *Estudios Sobre Desarrollo Humano*, núm. 2003-6, Ciudad de México, Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, pp. 1-29.
- López-Calva, Luis-Felipe; Rodríguez García, Cristina y Vélez Grajales, Roberto (2003), “Estimación del IDH estatal en México, análisis de sensibilidad a distintas decisiones metodológicas y comparaciones internacionales”, *Estudios Sobre Desarrollo Humano*, núm. 2, Ciudad de México, Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, pp. 1-39.

- Martins, Thiago; Simpson, Daniel; Riebler, Andrea y Rue, Havard (2014), “Penalising model component complexity: a principled, practical approach to constructing priors”, *Statistical Science*, Trondheim, Norwegian University of Science and Technology, pp. 1-32, preprint arXiv:1403.4630v1 [stat.ME], <<https://cutt.ly/IDesmTN>>, 18 de septiembre de 2020.
- Neumayer, Eric (2001), “The human development index and sustainability – A constructive proposal”, *Ecological Economics*, 39 (1), Londres, London School of Economics and Political Science, pp. 101-114, doi: 10.1016/S0921-8009(01)00201-4
- Noorbakhsh, Farhad (1998), “The Human Development Index: some technical issues and alternative indices”, *Journal of International Development*, 10 (5), Glasgow, University of Glasgow, pp. 589-605, doi: 10.1002/(SICI)1099-1328(199807/08)10:5<589::AID-JID484>3.0.CO;2-S
- O’Neill, Helen (2005), “Ireland’s Foreign Aid in 2004”, *Irish Studies in International Affairs*, vol. 16, Dublín, University College Dublin-Centre for Development Studies, pp. 279-316, doi: 10.3318/isia.2005.16.1.279
- Petersen, Melody y Rohter, Larry (2001), “Maker agrees to cut price of 2 AIDS drugs in Brazil”, *The New York Times*, 31 de marzo, p. 4, New York, <<https://acortar.link/pTbpnD>>, 18 de septiembre de 2020.
- PNUD (Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo) (2016), Informe sobre Desarrollo Humano 2016. Desigualdad y movilidad, Ciudad de México, PNUD.
- PNUD (Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo) (1990), Informe de Desarrollo Humano 1990, Nueva York, PNUD.
- R Core Team (2020), “R: a language and environment for statistical computing”, versión 4.0.2 (2020-06-22), Viena, R Foundation for Statistical Computing.
- Ramírez Magaña, Alejandro (1999), “Índice de Desarrollo Humano del estado de Guanajuato”, *Revista del Centro de Desarrollo Humano de Guanajuato*, 3 (34), Guanajuato, Centro de Desarrollo Humano, pp. 9-28.

- Ranis, Gustav; Stewart, Frances y Samman, Emma (2005), "Human Development: beyond the human development index", *Journal of Human Development*, 7 (3), Taylor & Francis, pp. 323-358.
- Ravallion, Martin (2012), "Troubling tradeoffs in the Human Development Index", *Journal of Development Economics*, núm. 99, Washington D. C., World Bank, pp. 201-209, doi: 10.1016/j.jdeveco.2012.01.003
- Rinaldi, Rullan y Nurwita, Eva (2010), "The spatial dimension of Human Development Index in Indonesia", Working Paper in Economics and Development Studies, núm. 6, Bandung, Padjadjaran University, pp. 1-43.
- Rodríguez Gámez, Liz Ileana y Cabrera Pereyra, José Antonio (2017) "Análisis espacial de las dinámicas de crecimiento económico en México (1999-2009)", *Economía Sociedad y Territorio*, 17 (55), Zinacantepec, El Colegio Mexiquense, pp. 709-741, doi: 10.22136/est2017913
- Sen, Amartya (1988), "The concept of development", *Handbook of Development Economics*, núm. 1, Cambridge, Elsevier Science Publishers/Harvard University, pp. 9-26.
- Simpson, Daniel; Rue, Havard; Riebler, Andrea; Martins, Thiago y Sorbye, Sigrunn (2017), "Penalising model component complexity: a principled, practical approach to constructing priors", *Statistical Science*, 32 (1), Ohio, Institute of Mathematical Statistics, pp. 1-28, doi: 10.1214/16-STS576
- Spiegelhalter, David; Best Nicola; Carlin Bradley y Van der Linde Angelika (2002), "Bayesian measures of model complexity and fit", *Journal of the Royal Statistical Society. Statistical Methodology, Series B*, 64 (4), Cambridge, Royal Statistical Society, pp. 583-639, doi: 10.1111/1467-9868.00353
- Tobler, Waldo (1970), "A computer movie simulating urban growth in the Detroit region", *Economic Geography*, vol. 46, Taylor & Francis, pp. 234-240, doi: 10.2307/143141
- Ul, Mahbub (1995), *Reflections on human development*, Oxford, Oxford University Press.

Wolff, Hendrik; Chong, Howard y Auffhammer, Maximilian (2011), "Classification, detection and consequences of data error: evidence from the Human Development Index", *Economic Journal*, 121 (553), Oxford, Oxford University, pp. 843-870, doi: 10.1111/j.1468-0297.2010.02408.x

*Recibido:* 7 de octubre de 2020.

*Reenviado:* 22 de septiembre de 2021.

*Aceptado:* 15 de octubre de 2021.

**Alejandro Corona Ambriz.** Doctor y maestro en estadística por el Colegio de Postgraduados, Montecillos. Realizó sus estudios de licenciatura en la Universidad Autónoma Chapingo (UACH). Actualmente es profesor-investigador de tiempo completo del Departamento de Estadística, Matemática y Cómputo de la División de Ciencias Forestales en la UACH. Es colaborador del Programa de Desarrollo Humano de la UACH. Sus líneas de investigación se relacionan con el análisis de desarrollo humano en México a escala localidad, municipio y estado; estadística espacial; estadística bayesiana y ciencia de datos. Entre sus publicaciones más recientes se encuentran, como coautor: "Xilotecnia de la madera de *Schinus molle* L. de una plantación forestal comercial en Hidalgo, México", *Madera y bosques*, 27 (1), Xalapa, Instituto de Ecología, A. C., pp. 1-19 (2021); "Propagación por estacas y calidad de planta en *Acer negundo* L.", *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 10 (51), Ciudad de México, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, pp. 224-243 (2019) y "Xilotecnia of the wood of *Acacia schaffneri* from the state of Hidalgo, Mexico", *Maderas. Ciencia y Tecnología*, 19 (3), Concepción, Universidad del Bío-Bío, pp. 293-308 (2017).

**Sergio Pérez-Elizalde.** Doctor en estadística e investigación operativa por la Facultad de Matemáticas de la Universidad de Valencia. Maestro en ciencias con especialidad en estadística en el Colegio de Postgraduados. Ingeniero agrónomo del departamento de Economía Agrícola de la Universidad Autónoma Chapingo. Es profesor-investigador en el Posgrado en Estadística del Colegio de Postgraduados; es integrante del Sistema Nacional de Investigadores desde 2008. Además de su actividad docente y de investigación, ha prestado servicios de consultoría a instituciones públicas y privadas. Entre sus líneas de investigación están métodos estadísticos e inferencia bayesiana con aplicación en Agronomía y en las Ciencias Sociales. Entre sus más recientes publicaciones se cuentan, como coautor, "El uso del riego como indicador de la rentabilidad en empresas agrícolas familiares en México", *Revista Ingeniería y Región*, núm. 26,

Huila, Universidad Surcolombiana, pp. 45-54 (2021); “Funciones de producción para madera aserrada en la Empresa Forestal Comunitaria en México”, *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 12 (67), Ciudad de México, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, pp. 109-129 (2021) y “Application of multi-trait bayesian decision theory for parental genomic selection”, *G3 Genes|Genomes|Genetics*, 11 (3), Oxford, Oxford University Press, pp. 1-14 (2021).

**Paulino Pérez-Rodríguez.** Doctor en ciencias en estadística por el Colegio de Postgraduados, México. Actualmente es profesor-investigador, titular del Colegio de Postgraduados, campus Montecillo donde colabora en los departamentos de estadística y computación aplicada. Es miembro del Sistema Nacional de Investigadores, nivel II. Su línea de investigación actual es computación en estadística y cómputo de alto desempeño con datos masivos. Entre sus más recientes publicaciones destacan, como coautor, “Genome-wide association study for resistance to tan spot in synthetic hexaploid wheat”, *Plants*, 11 (3), 433, Basel, MDPI, pp. 1-19 (2022); “Genomic prediction of the performance of hybrids and the combining abilities for line by tester trials in maize”, *The Crop Journal*, 10 (1), Beijing, KeAi, pp. 109-116 (2022); “Application of Genomic Selection at the Early Stage of Breeding Pipeline in Tropical Maize”, *Frontiers in Plant Science*, núm. 12, Lausanne, Frontiers, pp. 1-11 (2021); e “Implementation of Genomic Selection in the CIMMYT Global Wheat Program, Findings from the Past 10 Years”, *Crop Breeding, Genetics and Genomics*, 3 (2), Londres, Hapres, pp.1-33 (2021).