AREA 32(1)
NOVIEMBRE DE 2025
ABRIL DE 2026
ISSN 2591-5312

DOSSIER
© SI-FADU-UBA

PROPUESTA PARA MODELAR EL DESARROLLO TERRITORIAL CON UN ENFOQUE SOCIOECOSISTÉMICO. EL CASO DEL SURESTE MEXICANO

A PROPOSAL FOR MODELING TERRITORIAL DEVELOPMENT USING A SOCIAL-ECOLOGICAL SYSTEMS APPROACH. THE CASE OF SOUTHEASTERN MEXICO

PALABRAS CLAVE
Planeación regional,
Desarrollo sustentable,
Análisis de redes sociales

KEYWORDS
Regional planning,
Sustainable development,
Social network analysis

LORELEI RAMÍREZ REYES BRITO[1], CARLOS DÍAZ-ÁVALOS[2] y EFTYCHIA D. BOURNAZOU MARCOU[3]

1 Universidad Nacional Autónoma de México
Facultad de Ciencias
2 Universidad Nacional Autónoma de México
Instituto de Investigaciones en Matemáticas Aplicadas y en Sistemas
Departamento de Probabilidad y Estadística
3 Universidad Nacional Autónoma de México
Facultad de Arquitectura
Ciudad de México, México

RECIBIDO
31 DE OCTUBRE DE 2025
ACEPTADO
23 DE MARZO DE 2026

INFORMACIÓN PARA CITAR ESTE ARTÍCULO
Ramírez Reyes Brito, Lorelei; Díaz-Ávalos, Carlos y Bournazou Marcou, Eftychia D. (Noviembre 2025-Abril 2026). Propuesta para modelar el desarrollo territorial con un enfoque socioecosistémico. El caso del sureste mexicano. *AREA*, *32*(1), 1-23.
https://doi.org/10.62166/area.32.1.3958

EL CONTENIDO DE ESTE ARTÍCULO ESTÁ BAJO LICENCIA DE ACCESO ABIERTO CC BY-NC-ND 2.5 AR

AREA 32(1) | NOVIEMBRE DE 2025 - ABRIL DE 2026 | ISSN 2591-5312

RESUMEN

El desarrollo territorial puede profundizar desigualdades a distintas escalas, por lo que la planeación con sentido de justicia socioespacial precisa considerar, desde su diseño, las relaciones de poder preexistentes. Este artículo propone un método para el monitoreo y la evaluación interdisciplinaria del *desarrollo territorial sustentable* en el sureste mexicano mediante el análisis de redes sociales a escala municipal. Con datos censales y de la Red Nacional de Medición de Calidad del Agua, se examinan los saldos migratorios, los desplazamientos cotidianos por motivos laborales y la presencia de nitratos en el agua subterránea, para caracterizar los desequilibrios entre municipalidades desde un enfoque socioecosistémico.

ABSTRACT

Territorial development can exacerbate inequalities at multiple scales; therefore, planning focused on socio-spatial justice must consider pre-existing power relations from the design stage. This paper proposes a method for the interdisciplinary monitoring and evaluation of sustainable territorial development *in southeastern Mexico using social network analysis at the municipal level. Drawing on census data and information from the National Water Quality Monitoring Network, migration balances, daily work-related mobility, and nitrate concentrations in groundwater are examined to characterize imbalances among municipalities from a socio-ecosystem perspective.*

ACERCA DE LAS AUTORAS Y EL AUTOR

Lorelei Ramírez Reyes Brito. Matemática Aplicada por el Instituto Tecnológico Autónomo de México y maestra en Estudios Urbanos por El Colegio de México. Actualmente está adscrita a la Facultad de Ciencias de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), donde es candidata a doctora en Ciencias de la Sostenibilidad. Ha trabajado en el sector público, la consultoría internacional y la docencia. Sus áreas de especialización incluyen sostenibilidad, análisis espacial y equidad territorial. Recientemente ha colaborado con ONU-Habitat México en la evaluación ex ante del Tren Maya, y con WRI México en el diseño del Índice de Desigualdad Urbana.

✉ <lorelei.brito@comunidad.unam.mx>

https://orcid.org/0009-0000-3131-4625

Carlos Díaz-Ávalos. Biólogo por la Facultad de Estudios Superiores (FES Zaragoza) de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) y Maestro en Estadística e Investigación de Operaciones por la UNAM, Doctor en Ciencias Cuantitativas por la Universidad de Washington, Seattle. Investigador Titular B en el Instituto de Investigaciones en Matemáticas Aplicadas y Sistemas (IIMAS) de la UNAM desde 2014. Miembro del Sistema Nacional de Investigadores (SIN) nivel II y del programa de Primas al Desempeño Académico de Tiempo Completo (PRIDE) nivel C de la UNAM. Sus principales líneas de investigación son la estadística espacial y el manejo de recursos naturales. Tiene publicaciones indizadas en campos como estadística espacial, ciencia pesquera, ciencias de la sostenibilidad, ecología, ciencias biomédicas y geología. Cuenta con más de 500 citas a sus trabajos.

✉ <carlos@sigma.iimas.unam.mx>

https://orcid.org/0000-0002-1455-8676

Eftychia D. Bournazou Marcou. Arquitecta por el Instituto Politécnico Federal de Zúrich, Suiza (ETH-Z), Maestra y Doctora en Urbanismo por la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). Profesora de Tiempo Completo, Nivel "C", en la Licenciatura de Arquitectura (desde 2011) y Urbanismo (desde 1985); en los Posgrados en Urbanismo (desde 2007) y Ciencias de la Sostenibilidad (2016), donde forma además parte del padrón de Tutores. Es miembro del Sistema Nacional de Investigadores (SIN) y del Technical Chamber of Greece. Ha presentado diversas conferencias y ponencias a nivel nacional e internacional y tiene varias publicaciones arbitradas sobre sus temas principales de investigación, como segregación espacial, gentrificación urbana y política pública.

✉ <e.bournazou@fa.unam.mx>

https://orcid.org/0000-0002-1115-8167

CONTRIBUCIONES DE AUTORÍA (CRediT)

Lorelei Ramírez Reyes Brito: Conceptualización, Investigación, Metodología, Análisis formal, Curación de datos, Validación, Visualización, Redacción del borrador original, Redacción, revisión y edición.

Carlos Díaz-Ávalos: Investigación, Metodología, Análisis formal, Curación de datos, Software, Validación, Visualización, Redacción del borrador original, Redacción, revisión y edición.

Eftychia D. Bournazou Marcou: Conceptualización, Investigación, Metodología, Análisis formal, Supervisión, Validación, Redacción del borrador original, Redacción, revisión y edición.

© SI-FADU-UBA | DOSSIER

Introducción

La planeación del *desarrollo territorial sustentable* se ha convertido en una de las principales aspiraciones del mundo globalizado (CEPAL, 2019); sin embargo, existen pocas referencias técnicas en América Latina para llevarla a cabo desde una perspectiva sistémica debido, en parte, a las dificultades que presenta el ordenamiento territorial para conciliar las dimensiones ambiental, económica y social (Massiris Cabeza, 2015). Ello impide contar con un respaldo analítico pertinente puesto que, si en su diseño se omiten aspectos sustantivos –como la exclusión de algunas dimensiones de análisis– estos permanecerán ocultos en la evaluación (Figura 1). En consecuencia, cuando los planteamientos metodológicos se orientan principalmente hacia la dimensión económica, se reduce la posibilidad de que la planeación del desarrollo territorial sea efectivamente sustentable. Esta situación cobra particular relevancia ante las diversas incertidumbres asociadas con la construcción de infraestructura a gran escala (Bojórquez-Tapia, Eakin, Hernández-Aguilar y Shelton, 2021).

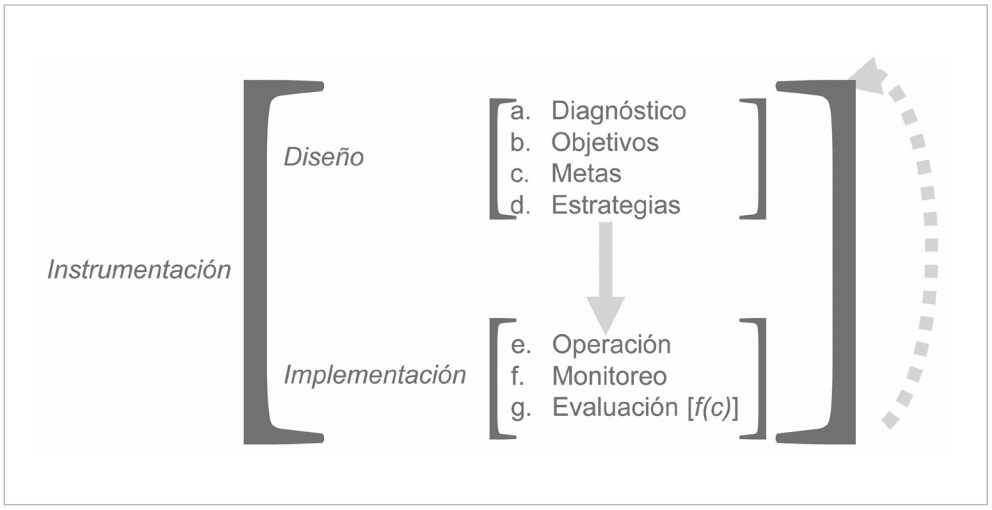


Figura 1
Instrumentación de una política pública como proceso iterativo. Fuente: elaboración propia, con base en Lascoumes y Le Galès (2007).

Nota: la instrumentación es un proceso iterativo en el que se evalúa la implementación con base en las metas parciales, lo que permite su ajuste y rediseño. El diagnóstico inicial, de carácter prospectivo, da lugar al diseño de política que luego se ajusta mediante diagnósticos reactivos o correctivos, según los efectos observados.

En México, la Estrategia Nacional de Ordenamiento Territorial (ENOT) 2020-2040, diseñada por la Secretaría de Desarrollo Agrario, Territorial y Urbano (SEDATU, 2021), establece una regionalización en dos escalas, mediante la cual define la espacialidad del Plan Nacional de Desarrollo y de todos los programas que de éste se derivan, tanto sectoriales como regionales, promoviendo "el uso racional del territorio y el desarrollo equilibrado" (LGAHOTDU, 2024, art. 24). De esta manera, organiza 20 sistemas urbano-rurales (SUR), es decir, conglomerados municipales con objetivos, metas y lineamientos regionales, en seis macrorregiones: agrupaciones de entidades federativas destinadas a la coordinación interestatal de cada SUR (SEDATU, 2021, p. 128).

En particular, la macrorregión Sursureste que integra entidades federativas tan contrastantes en términos socioeconómicos como Chiapas y Quintana Roo –además de Campeche, Tabasco y Yucatán–, alberga uno de los proyectos de desarrollo territorial más ambiciosos de los últimos tiempos: el Tren Maya.

© SI-FADU-UBA | DOSSIER

Para evaluar su efecto en el desarrollo regional, es indispensable contar con herramientas que permitan identificar y monitorear sus resultados.

La ENOT tiene dentro de sus principios procurar la justicia socioespacial (SEDATU, 2021, p. 23) y, en concordancia con el Eje Nacional de Desarrollo Territorial, busca garantizar el aprovechamiento sostenible de los recursos naturales (SEDATU, 2021, p. 174). No obstante, si bien los SUR fueron diseñados bajo una lógica sistémica, su construcción se basó en un análisis gravitacional de los flujos de pasajeros y carga entre ciudades, específicamente en "el monto de los ingresos captados por las unidades económicas de transporte" (SEDATU, 2021, p. 345); es decir, el eje analítico se centra en la movilidad para la producción, que constituye uno de los principales procesos de valorización del capital "que participan directamente de la reproducción del sistema económico" (Castro Ibarra, 2017, p. 14) y, por tanto, se trata de un sistema orientado a la funcionalidad económica, el cual podría complementarse con una visión socioambiental que permita evaluar sus avances en términos de sustentabilidad.

Además, la ENOT deja abierta la posibilidad de ampliar el sistema de seguimiento "para conducir políticas públicas hacia un desarrollo territorial incluyente" (SEDATU, 2021, p. 317). En este contexto, y siguiendo a Gastón Becerra y José Antonio Castorina (2016), para profundizar en la planeación del *desarrollo territorial sustentable* del sureste mexicano –y procurar que los fenómenos socioambientales no queden invisibilizados en la política pública– parece no sólo factible, sino también recomendable, ampliar el marco epistémico de la macrorregión de modo que sea posible concebirla como un *socioecosistema*.

El objetivo central de este trabajo es proponer una herramienta de apoyo para el monitoreo y la evaluación interdisciplinaria de la planeación del desarrollo territorial sustentable, con sentido de justicia socioespacial, en una región heterogénea –el sureste mexicano–, a partir del estudio de las desigualdades socioecosistémicas presentes en su territorio mediante el análisis de redes sociales al nivel más desagregado posible, de acuerdo con la disponibilidad de datos; es decir, a escala municipal. Este trabajo ofrece evidencia para responder a las siguientes preguntas:

1. ¿De qué manera el enfoque socioecosistémico contribuye a comprender las desigualdades regionales y permite visibilizar nuevas facetas de éstas?
2. ¿Cómo diseñar una herramienta que facilite el diálogo interdisciplinario y multiescalar para la planeación del desarrollo territorial en el sureste mexicano?

El antecedente metodológico del caso de estudio es la visión sistémica de la evaluación ex ante del Tren Maya (Morales Díaz Covarrubias, Ramírez Reyes Brito, Nava García y Ramírez Muñoz, 2020), la cual se discute y amplía con el apoyo de una red compleja tridimensional, no limitada al análisis de flujo máximo. Los resultados aportan información no sólo sobre las ciudades centrales, sino también sobre las intermedias y pequeñas, además de revelar algunas dinámicas metropolitanas.

Este documento se estructura en cuatro apartados. El primero delimita el dominio empírico del caso de estudio, el sureste mexicano. El segundo, relativo al marco epistémico, propone modelar el desarrollo territorial desde un

© SI-FADU-UBA | DOSSIER

enfoque socioecosistémico, a partir del análisis de las desigualdades regionales mediante redes sociales. El tercero presenta los principales resultados. El cuarto discute los alcances y limitaciones del trabajo, así como de las potencialidades del *análisis de redes sociales* (ARS) como herramienta para el monitoreo y la evaluación de políticas públicas implementadas a distintas escalas dentro de la región de estudio.

El sureste mexicano, una región de contrastes

La región territorial de estudio, de escala subnacional, está conformada por las entidades federativas de Campeche, Chiapas, Quintana Roo, Tabasco y Yucatán. En conjunto, representa el 12% de la superficie del país y alberga al 10% de la población mexicana, actualmente distribuida en 271 municipios. Su contorno incluye varios kilómetros de frontera natural –tanto con el océano Atlántico como con el Pacífico– y de frontera artificial con Guatemala y Belice. De acuerdo con el Sistema Urbano Nacional (SUN) 2020 (SEDATU y CONAPO, 2024), la región cuenta con 70 ciudades, en su mayoría pequeñas (menos de 200 mil habitantes), cuatro medianas (hasta 500 mil habitantes) y tres grandes, de las cuales sólo Mérida supera el millón de habitantes (Tabla 1 y Figura 2 en la pág. siguiente). Con más de la mitad de su población asentada en zonas rurales, la mayoría de los asentamientos humanos está compuesto por localidades poco densas y dispersas, (con un promedio de 421 habitantes por localidad, frente al promedio nacional de 713) en función de la disponibilidad de agua potable (Núñez en El Colegio de México A.C., 2021).

Tabla 1. Ciudades de más de 200 mil habitantes en la zona de estudio

CIUDAD	ENTIDAD	MUNICIPIOS	POBLACIÓN
Campeche	Campeche (CAMP)	Campeche	258.594
Tapachula	Chiapas (CHIS)	Tapachula	232.124
Tuxtla Gutiérrez	CHIS	Tuxtla Gutiérrez, Chiapa de Corzo	658.419
Playa del Carmen	Quintana Roo (QROO)	Solidaridad	304.942
Cancún	QROO	Benito Juárez, Isla Mujeres	915.254
Villahermosa	Tabasco (TAB)	Centro, Nacajuca	443.223
Mérida	Yucatán (YUC)	Mérida, Kanasín, Umán, Conkal, Ucú	1.166.196

Fuente: elaboración propia con información del SUN 2020 (SEDATU y CONAPO, 2024).

Desde la perspectiva socioecosistémica, que incorpora las condiciones biofísicas, es importante señalar que la principal fuente de abastecimiento hídrico en la región es el agua subterránea (CONAGUA s.f.a). La geología de Yucatán, caracterizada por su suelo kárstico, impide la formación de cauces de ríos superficiales, pero favorece la captación de agua en el principal acuífero peninsular. En consecuencia, la cantidad de agua disponible no representa un problema, pero sí lo es su calidad (CONABIO, 2023).
La región, integrada por 27 acuíferos, se organiza en dos Regiones Hídrico-Administrativas (RHA), "definidas con criterios hidrológicos y respetando la división política municipal para facilitar los procesos administrativos y la integración de información socioeconómica" (SEMARNAT y CONAGUA, 2022):

© SI-FADU-UBA | DOSSIER

Península de Yucatán y Frontera Sur. A su vez, éstas se subdividen en unidades de planeación que consideran "a la cuenca hidrológica como unidad básica para la gestión integrada de los recursos hídricos" (SEMARNAT y CONAGUA, 2022). Por lo tanto, se trata de un proceso complejo de gestión de un bien natural a distintas escalas. La modelación del flujo del agua subterránea es compleja, pero existen indicios de que la circulación en la RHA Península de Yucatán es como se muestra en la Figura 2.

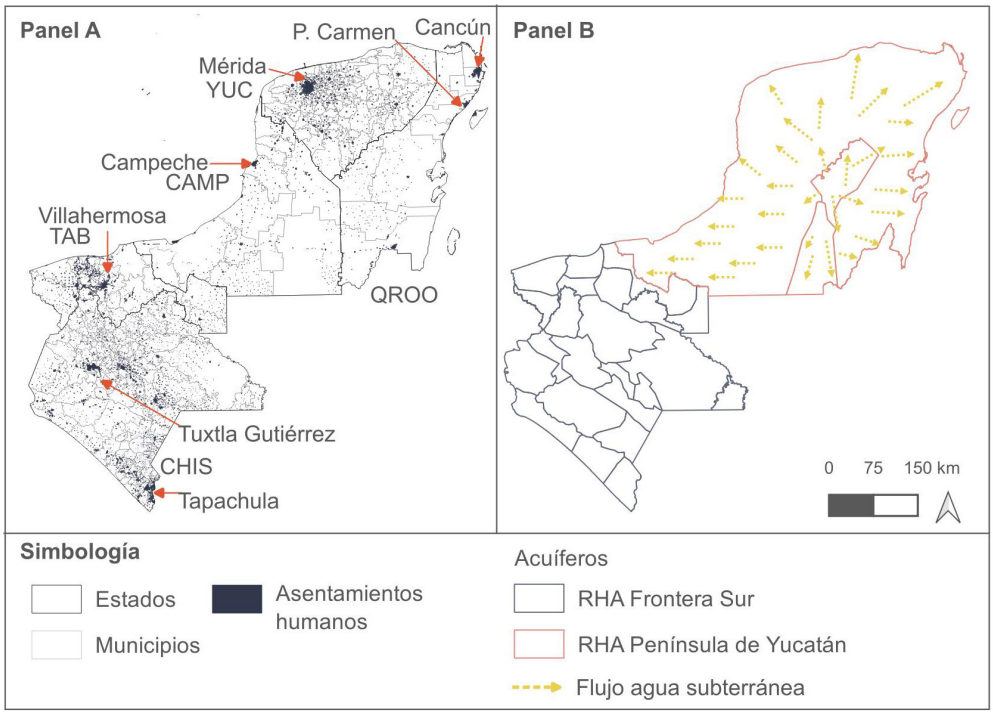


Figura 2

Dos particiones para administrar la región.

Fuente: elaboración propia con información de las localidades urbanas y rurales amanzanadas del Marco Geoestadístico Nacional (INEGI, 2019), los acuíferos de CONAGUA (s.f.b) y la tendencia del flujo de agua subterránea hacia el mar en la RHA de la Península de Yucatán con base en SEMARNAT y CONAGUA (2022, p. 20) y en Peter Bauer-Gottwein y colegas (2011, p. 516); visualizada en *QGis*, con los mapas proyectados en México ITRF2008/Lambert Conformal Conic (LCC).

Nota: el Panel A muestra la partición político-administrativa, los asentamientos humanos e identifica las principales ciudades de la región. El Panel B, los acuíferos por RHA en la zona de estudio con el flujo de agua en la Península de Yucatán.

Caracterizada por su riqueza cultural y natural, es una región heterogénea y contrastante. Con la tercera parte de la población nacional indígena y diversas áreas naturales protegidas, alberga a la zona turística del Caribe mexicano y grandes desarrollos petroleros, como el Complejo Cantarell, que promovieron la migración interna y centroamericana durante los años ochenta, acelerando el crecimiento poblacional que ha sido sostenido y superior al promedio nacional desde entonces (Rojas en El Colegio de México A.C., 2021). Sin embargo, el sector restaurantero y hotelero es de subsistencia para la mayoría de las entidades de la región –excepto para Quintana Roo, que en 2019 representó el 23% del Producto Interno Bruto Estatal–; además, tanto Tabasco como Campeche están en proceso de decrecimiento económico debido a la disminución de la actividad petrolera (Albornoz en El Colegio de México A.C., 2021). Al interior de la región de estudio, en 2010, la desigualdad en el ingreso fue tal que el decil más bajo representó tan sólo el 0,05% de la riqueza acumulada por el decil más alto; en 2020, una de cada dos personas era pobre, cuatro de cada diez se encontraban en pobreza moderada y la pobreza extrema tuvo una incidencia equivalente a 2,3 veces el promedio nacional (Núñez en El Colegio de México A.C., 2021).

En las cuatro regiones hidrológicas del sureste del país, que incluyen la zona de estudio y partes de los estados de Oaxaca y Veracruz, se concentra el

© SI-FADU-UBA | DOSSIER

66% del agua renovable, el 25% de la población y menos del 20% del PIB nacional (SEMARNAT, 2016). La riqueza del territorio y la desigualdad social hacen de la región proclive a la movilización del mercado de suelo. Entre 1993 y 2018, se registró un cambio en el uso de suelo de parcelas pertenecientes a "ejidos colindantes a las ciudades de Mérida, Campeche, Cancún, Playa del Carmen y Bacalar" (SEDATU, 2021, p. 137) para el desarrollo de proyectos inmobiliarios o turísticos; en 2014, 60 mil hectáreas dejaron de ser comunales. Esta situación es especialmente relevante ante el fenómeno del cambio climático, considerando que el 15% de las emisiones de gases de efecto invernadero en México están asociadas al cambio en el uso del suelo (De la Torre, Fajnzylber y Nash, 2009).

En 2013, la Península de Yucatán perdió el 2,3% de su cobertura arbórea –equivalente a 80 mil hectáreas y al 40% de la pérdida nacional en ese año–. "En los últimos 30 años ha disminuido considerablemente la superficie con vegetación primaria [y] en las últimas décadas, las actividades agroindustriales, ganaderas a gran escala y el turismo masivo han afectado a la península" (SEMARNAT y CONAGUA, 2022, p. 35). Entre las actividades industriales de la región, además de la petrolera, destacan la porcícola, la avícola, los desarrollos agrícolas y la minería, principalmente vinculada a la extracción de piedra caliza para construcción. En 2014, las concesiones de agua otorgadas a la minería representaron el 2% del total nacional (*CartoCrítica*, 2016).

Para 2020, el índice de Gini estatal en la región osciló alrededor de 0.46, con una diferencia del 3% entre Tabasco y Chiapas, las entidades con menor y mayor desigualdad, respectivamente. La mediana municipal disminuyó un 15% respecto a 2010; sin embargo, este cambio no fue suficiente para mantener la posición relativa frente al país y, en 2020, la desigualdad regional superó en 0,7% a la nacional.

Como se muestra en la Tabla 2 (pág. siguiente), en 2010 sólo el 7% de los municipios regionales estaban por debajo del umbral de desigualdad establecido, todos ellos en Yucatán. Diez años después, esta proporción se multiplicó por más de cinco, con una notable permanencia de los mismos municipios (excepto un par de casos) y sin incluir a Quintana Roo. En contraste, Chiapas experimentó un crecimiento acelerado, con una tasa de cambio quinquenal más de cuatro veces superior a la de Yucatán.

Tabasco, pese a contar con un promedio estatal relativamente favorable, ocupa el segundo peor lugar en porcentaje de municipios con índice de Gini inferior al umbral. Esto revela que el indicador depende fuertemente de la escala de medición; además, una distribución más homogénea del ingreso no implica necesariamente mejores condiciones de bienestar. Como ha sido mencionado, existen diversos elementos que evidencian los contrastes regionales y que pueden complementar esta información.

En este contexto socioeconómico y ambiental, en diciembre de 2023 se inauguró el Tren Maya, con sus 1.554 km de vía férrea (Figura 3, pág. siguiente). Según René Rodrigo Morales Díaz Covarrubias y colegas (2020), citando al Gobierno de la República (2019), este proyecto busca "formular un nuevo paradigma del sector turístico en el sureste mexicano" y se rige por lineamientos políticos que incluyen "la protección al medio ambiente, detonar el crecimiento económico, fomentar la inclusión social mediante el respeto a las etnias y al género, y establecer la sostenibilidad ambiental del territorio y los centros urbanos" (Morales Díaz Covarrubias et al., 2020,

© SI-FADU-UBA | DOSSIER

p. 13). Dicho estudio se centró en las localidades donde se construirían las estaciones del tren, identificadas como los sitios con mayor impacto esperado en términos de dinamismo económico y desarrollo urbano. Los municipios en estas condiciones mostraron niveles de desigualdad en la distribución del ingreso superiores al umbral establecido en la Tabla 2, con excepción de Umán, Kanasín e Izamal, todos ellos en Yucatán. No obstante, el proyecto ha generado gran controversia, especialmente en términos ecológicos y sociales. Como señala Alejandra Trejo Nieto (2024), citando a Javier Pérez Corona, aún está pendiente revisar las políticas de desarrollo del sureste mexicano desde un planteamiento que integre coherentemente la sustentabilidad, tanto en el ámbito conceptual como en la práctica. Por ello, faltan elementos para evaluar plenamente sus resultados (Trejo Nieto, 2024, p. 306).

Tabla 2. Porcentaje de municipios con índice de Gini menor o igual a la mediana municipal a nivel nacional en 2020 (0.339)

ENTIDAD	2010	2015	2020
Campeche	0%	0%	8%
Chiapas	0%	2%	40%
Quintana Roo	0%	0%	0%
Tabasco	0%	0%	6%
Yucatán	17%	27%	70%
Región	7%	12%	46%

Fuente: elaboración propia con base en CONEVAL (s.f.).

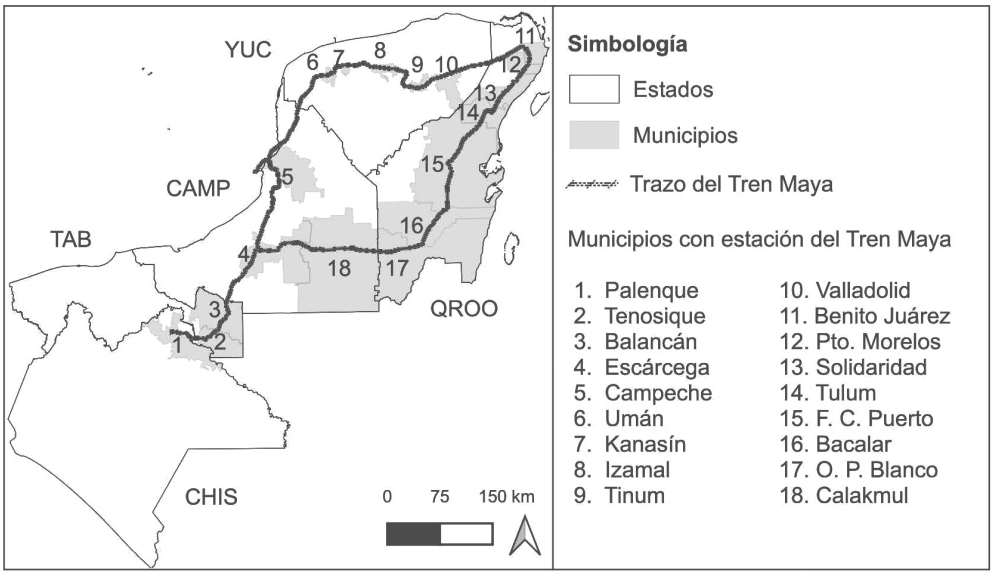


Figura 3
Trazo del Tren Maya y municipios con estación.
Fuente: elaboración propia con el trazo del Tren Maya de SEMARNAT (s.f.), las estaciones de Turismo Tren Maya (s.f.), visualizada en *QGis*, con los mapas proyectados en México ITRF2008/Lambert Conformal Conic (LCC).

El enfoque socioecosistémico para la evaluación del desarrollo territorial

El concepto de *desarrollo sustentable* ha sido interpretado de diversas maneras desde su definición en el informe seminal de Brundtland en 1987. Sin embargo, Ali Madanipour y colegas (2022) citando a Bill Hopwood, Mari Mellor y Geoff O'Brien aseguran que todos los modelos asociados a dicho concepto integran

objetivos sociales, económicos y ambientales. Como mecanismo de gestión territorial, está orientado a promover el bienestar económico y social de una región mediante el uso responsable de sus recursos naturales y reconociendo las características específicas del territorio, tales como sus recursos, cultura, estructura productiva y población (CEPAL, 2019). No obstante, el desarrollo territorial también puede profundizar desigualdades a distintas escalas. Por ello, la planeación con sentido de justicia socioespacial requiere considerar, desde su diseño, las relaciones de poder preexistentes y orientarse por los principios de espacialidad, integración e inclusión, con el fin de distribuir de manera equitativa los beneficios y las cargas socioambientales entre territorios y generaciones (Madanipour, Shucksmith y Brooks, 2022)[1].

Tradicionalmente, la planeación del desarrollo territorial ha estado basada en los flujos de capital, que delimitan zonas de influencia de los centros económicos y estructuran el territorio bajo una lógica jerárquica sustentada en economías de aglomeración. Esta organización funcional refuerza la concentración de recursos destinados a la producción, la infraestructura y los servicios urbanos, reproduciendo así desigualdades territoriales.

Además, la delimitación de las regiones funcionales depende de la variable analizada y del momento de recolección de los datos, y rara vez coincide con la regionalización institucional formal, lo que dificulta la gobernanza de las políticas públicas. Esta fragmentación territorial puede generar vacíos de responsabilidad política, debilitando los mecanismos de rendición de cuentas, particularmente en materia socioambiental.

A diferencia de la evaluación *ex ante* del Tren Maya, basada en una región funcional no exhaustiva en las cinco entidades federativas intervenidas por el proyecto (Morales Díaz Covarrubias et al., 2020), este trabajo considera a su totalidad, es decir, a la región formal.

Análisis de las desigualdades regionales mediante redes sociales

Este trabajo considera a la unidad territorial denominada macrorregión en la ENOT 2020-2040 –en lo sucesivo, región– como el espacio de factibilidad para el desarrollo territorial sustentable a partir de la planificación del sistema de asentamientos humanos, toda vez que constituye la instancia de gestión interestatal de los sistemas urbano-rurales (SUR). Es decir, se propone a la región, en términos de Henri Lefebvre (1976), como el *espacio concebido*: un espacio destinado a la planeación territorial, sobre el cual pueden identificarse precedentes históricos que delinean las relaciones de poder entre sus componentes subregionales elementales, los municipios para el caso de estudio. Estas relaciones participan del sistema de desigualdades que caracteriza a la región, mismas que no son exclusivamente sociales (Hiernaux y Lindón, 1997). Por tanto, siguiendo el marco teórico de los sistemas socio-ecológicos acoplados (Binder, Hinkel, Bots y Pahl-Wostl, 2013) y complementándolo con el enfoque de la panarquía (Liu, Dai y Yin, 2023), el objeto de estudio es concebido como un sistema anidado de distintas escalas jerárquicas para la gestión territorial (municipal, metropolitano, estatal y regional).

1 Madanipour, Shucksmith y Brooks (2022) dialogan con los principales expositores del giro espacial de la justicia social –como son Henri Lefebvre, David Harvey, Edward W. Soja y Doreen Massey– para proponer una definición de justicia espacial que engloba y amplía la noción de justicia social. Su propuesta se fundamenta en un análisis detallado de la regulación de la Unión Europea, referente clave para discutir los alcances de este tipo de justicia, especialmente en cuanto al *desarrollo sustentable* a escala regional.

A continuación se fundamenta cómo desde la ecología evolucionista se logra la síntesis entre la noción de *socioecosistema* y los *sistemas complejos adaptativos*, los cuales pueden modelarse adecuadamente mediante ARS (Goinheix, 2023), permitiendo su estudio integral bajo un planteamiento metodológico interdisciplinario (García, 2006).

La región como socioecosistema

Manuel Maass, citando a Fikret Berkes y Carl Folke, señala que, en función de "su concepción del mundo como sistemas socioecológicos, plantean que las relaciones entre sociedad y naturaleza se deben atender de manera integrada, considerando al sistema social como parte del sistema natural con el cual coevoluciona". Añade, en referencia a Lance Gunderson y C. S. Holling, que esta concepción coincide con la noción de sistemas complejos adaptativos (Maass, 2018, p. 52). Por su parte, Simon Levin (1998) explica que, en un determinado ecosistema se acoplan diversos componentes que evolucionaron a distintas escalas espaciotemporales y que es su interacción la que constituye un sistema complejo adaptativo. En sintonía con ello, Maass destaca que el socioecosistema, a diferencia de las nociones de territorio y territorialidad, incorpora una definición del espacio más allá del ámbito social, al considerar las conexiones biofísicas entre sus componentes, los cuales coevolucionan integralmente "en múltiples escalas jerárquicas y anidadas" (Maass, 2018, p. 58).

Desde estos referentes, se define a la región como un socioecosistema (SES); es decir, como un sistema complejo adaptativo (SCA) que evoluciona y se transforma mediante retroalimentaciones no necesariamente lineales, ni en escala ni en tiempo. Esta capacidad de adaptación y transformación se manifiesta en la forma en que los componentes sociales, económicos y ambientales responden a perturbaciones internas o externas –como la implementación de macroproyectos de desarrollo–, ajustando sus interacciones y reorganizándose para mantener cierta funcionalidad del sistema.

La Figura 4 (pág. siguiente) presenta la construcción del marco analítico. Partiendo de la noción de *socioecosistema anidado*, proveniente de los estudios urbanos por Bob Giddings, Bill Hopwood y Geoff O'Brien (2002), se retoma el planteamiento que, desde la ecología funcional, proponen Sandra Lavorel y equipo (2017) para representar al SES mediante la interacción entre el sistema ecológico y los sistemas socioeconómico y político desde una perspectiva antropocéntrica, en la cual el sistema ecológico está definido por la gestión y los beneficios que brinda a la sociedad. Finalmente, empleando las nociones de política económica de Lefebvre (1976), se identifica el área de trabajo de este proyecto en la planeación del sistema de asentamientos humanos.

Por otra parte, Levin y equipo (2012) reconocen que la modelación de los SCA constituye un desafío, pero también una necesidad ineludible para avanzar en su comprensión y diseñar políticas cada vez más efectivas, capaces de reducir efectos contraproducentes. Maass (2018), citando a John Holland, destaca la idoneidad de la teoría de redes para describir formalmente a los sistemas complejos, mientras que Levin y equipo (2012) se refieren específicamente a las *redes sociales* en sus planteamientos.

Concebir la región como una red social permite resaltar la capacidad de agencia de cada actor involucrado –en este caso, las municipalidades– a partir de sus capacidades actantes, entendidas como formas de interacción de distinta naturaleza e intensidad (Scott, 2000). De este modo, se les reconoce como tomadores de decisiones con responsabilidad directa en el desarrollo de su territorio.

© SI-FADU-UBA | DOSSIER

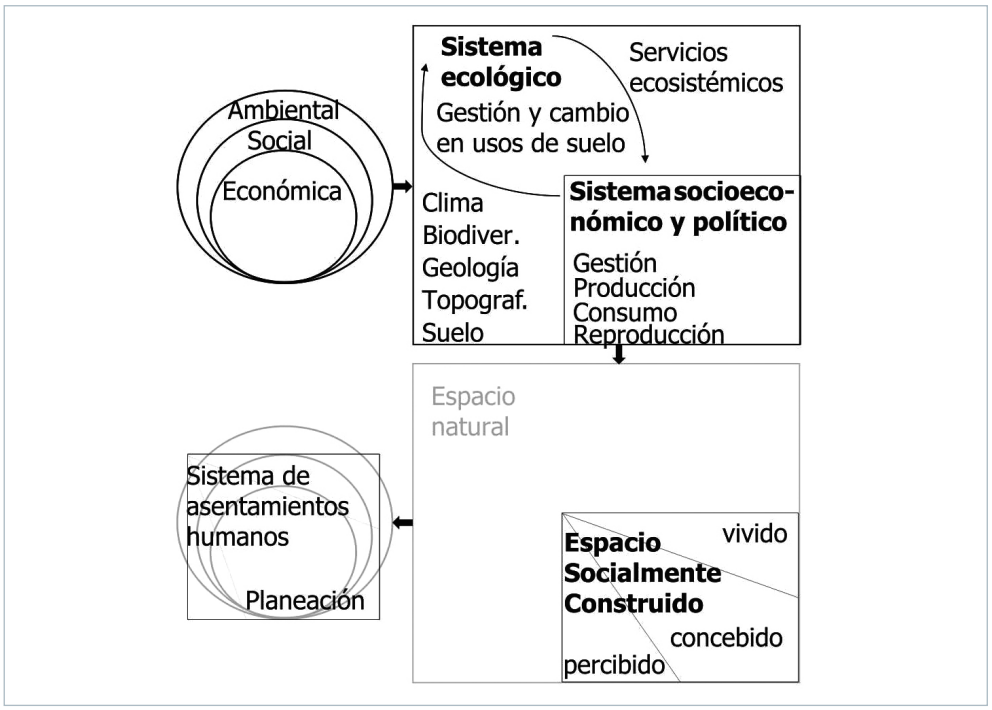


Figura 4
Marco Analítico.
Fuente: elaboración propia con base en Giddings et al. (2002), Lavorel et al. (2017) y Lefebvre (1976).

Para estudiar a la región desde una perspectiva interdisciplinaria, considerando las diferentes escalas de anidación y dimensiones de interacción, se propone la creación de una red en tres capas: económica, social y ambiental. La Tabla 3 sintetiza la relación entre los conceptos utilizados para el análisis territorial, bajo un *enfoque socioecosistémico*, a partir de los conceptos de SCA, y su vínculo con el ARS.

Tabla 3. Marco conceptual

PLANEACIÓN	DEFINICIÓN	MODELO
Región	SES - SCA	ARS
Municipio	Agente	Nodo
Variables	Interacción (puede ser flujo)	Aristas (pueden tener peso o dirección)
Sistema de asentamientos humanos	Ensamblaje	Comunidad
Relevancia	Jerarquía	Centralidad

Fuente: elaboración propia con base en Preiser et al. (2018) y Bianconi (2018).

Aportes del enfoque socioecosistémico a la evaluación del desarrollo territorial

El enfoque dominante en la evaluación del desarrollo territorial ha consistido en la construcción de modelos predictivos orientados a anticipar los escenarios derivados de intervenciones de planeación en regiones funcionales. Para ello, se establece una línea base a partir de la cual se proyectan trayectorias futuras, generalmente bajo supuestos de estabilidad estructural y relaciones funcionales simplificadas que difícilmente capturan las dinámicas no lineales propias de los sistemas territoriales.

Aunque el concepto de *desarrollo territorial sustentable* incorpora las dimensiones ambiental, social y económica, su implementación histórica ha estado condicionada por lógicas de acumulación y por una organización funcional del territorio que reproduce desigualdades espaciales. En consecuencia, la

© SI-FADU-UBA | DOSSIER

incorporación de la justicia socioespacial no sólo implica integrar dichas dimensiones en la planificación, sino también cuestionar y transformar las relaciones de poder que estructuran el territorio.

En particular, la evaluación de proyectos a gran escala resulta compleja debido a los distintos tipos de incertidumbre que la atraviesan. Entre estos, Luis Antonio Bojórquez-Tapia y colegas (2021) identifican la incertidumbre profunda, caracterizada por la ausencia de bases confiables para asignar probabilidades a los posibles escenarios. En este contexto, si bien existen avances en la modelación dinámica del desarrollo sustentable –que proponen escenarios de cambio de uso de suelo complementados con indicadores de sustentabilidad mediante métodos estocásticos aplicados a sistemas de información geográfica y percepción remota (Henríquez y Azócar García, 2007)–, la viabilidad de su replicabilidad frente a megaproyectos de desarrollo aún no ha sido suficientemente demostrada.

En los últimos años, se ha revisado críticamente el impacto de la denominada revolución cuantitativa en el desarrollo de los sistemas de información geográfica, así como en la consolidación de una visión sistémica en la geografía humana y física. Una de las principales críticas señala que los estudios socioterritoriales desde perspectivas relacionales pueden invisibilizar dinámicas no dominantes y, con ello, reforzar un aparente antagonismo entre la geografía crítica y la cuantitativa (Barnes, 2009; O'Sullivan et al., 2018).

En este contexto, el enfoque socioecosistémico en red permite evidenciar desigualdades y relaciones de poder territoriales que tienden a ser invisibilizadas por los enfoques tradicionales. En una primera instancia, posibilita la construcción de un modelo descriptivo que favorece la trazabilidad en la toma de decisiones y contribuye a avanzar hacia una noción de sostenibilidad con sentido de justicia socioespacial, orientada a fortalecer la gobernanza de las políticas públicas. Asimismo, permite la construcción de escenarios futuros a partir del análisis de las desigualdades territoriales y la posible transformación de las relaciones de poder que estructuran el territorio, de manera similar a la visión sistémica propuesta en la evaluación *ex ante* del Tren Maya (Morales Díaz Covarrubias et al., 2021).

En el enfoque socioecosistémico se retoman los principios de espacialidad, integración e inclusión (Madanipour, Shucksmith y Brooks, 2022), reconociendo que la (in)justicia se materializa en el espacio, generando patrones territoriales de (des)ventajas susceptibles de reproducirse en el tiempo; la justicia distributiva y procedimental son interdependientes; y que la inclusión exige considerar todas las escalas de gestión territorial y sus implicaciones inter e intrarregionales a lo largo del tiempo.

En el siguiente apartado se muestra cómo el enfoque socioecosistémico, en el marco de los sistemas socioecológicos acoplados (Binder et al., 2013), permite analizar las interacciones entre municipios y su presión sobre los recursos, incluido el acuífero, con datos previos al Tren Maya. Los resultados aportan elementos para la planeación del desarrollo territorial frente a este megaproyecto.

ARS municipales del sureste mexicano, en la víspera del Tren Maya

En este apartado se presenta la aplicación del enfoque socioecosistémico a la región de estudio. En primera instancia, se detalla la selección de las variables y su pertinencia para el estudio del desarrollo territorial sustentable con sentido de justicia socioespacial. Se hace especial énfasis en la variable ambiental, ya que representa un aporte novedoso en este tipo de estudios,

© SI-FADU-UBA | DOSSIER

mientras que la variable social y, en particular, la variable económica, son ampliamente utilizadas en estudios regionales. Posteriormente, se describe el tratamiento aplicado a cada variable para la construcción de la red en tres capas. Finalmente, se ofrece un análisis descriptivo de los principales hallazgos.

Selección de las variables de análisis

Como se expuso en el apartado "El sureste mexicano, una región de contrastes", en términos medioambientales y debido al suelo kárstico en la península, la calidad del agua subterránea es fundamental para la integralidad ecológica de la región. Tras la revisión de diversas fuentes oficiales y el diálogo con expertos (Consejo de Cuenca de la Península de Yucatán, 2025), se identificó la relevancia de los compuestos químicos orgánicos presentes en el acuífero.

En particular, el nitrógeno de nitratos, cuando se presenta en altas concentraciones, puede reducir la capacidad de oxigenación sanguínea en lactantes. Su presencia se asocia con la expansión de actividades agroindustriales debido al uso de fertilizantes nitrogenados, así como con las excretas animales derivadas de la porcicultura y con los desechos municipales, industriales y del transporte (Pacheco Ávila y Cabrera Sansores, 2003).

El tratamiento terciario de las aguas residuales, indispensable para la eliminación de este tipo de nutrientes, representa uno de los principales retos para el Consejo de Cuenca de la Península de Yucatán. Esto se debe, en gran medida, a la dificultad de implementar sistemas de drenaje en el suelo kárstico. Por estas razones, se seleccionó la variable que mide la concentración de este compuesto en el agua subterránea para construir la red ambiental.

Por otro lado, dado el dinamismo poblacional en la región, las redes correspondientes a las dimensiones social y económica se construyen a partir de la migración interna y de los desplazamientos cotidianos por motivos laborales, respectivamente. El análisis de estas variables es crucial para la planeación territorial, que debe atender las necesidades y gestionar las implicaciones de los desplazamientos de migrantes y de población flotante. Esta movilidad impulsa el aumento del espacio construido para vivienda, equipamiento, servicios y producción, cuyas interacciones pueden generar efectos nocivos en cadena que también afectan a los recursos naturales. Por ejemplo, la producción agroindustrial puede contaminar el agua debido al uso de fertilizantes nitrogenados (López y Graizbord, 2025).

Bajo esta lógica, se presenta el tratamiento de las variables a partir de las cuales se construye la red en tres capas, como se detalla en la Tabla 4 (pág. siguiente). La variable utilizada para construir la red económica coincide con la empleada por Morales Díaz Covarrubias y colegas (2021), lo que permite realizar algunas comparaciones metodológicas.

Construcción de la red en tres capas

Existen diversas maneras en las que se puede diseñar una red a partir de las relaciones que se suceden en el territorio. Por ejemplo, ONU-Habitat, en su evaluación *ex ante* del Tren Maya desde una visión sistémica, recurrió a la noción de *árbol jerárquico* basado en el flujo máximo dentro de una red (Morales Díaz Covarrubias et al., 2020, p. 145), tomando como referencia el trabajo de John D. Nystuen y Michael F. Dacey (1961). En particular, respecto a los viajes predominantes, se especifica que "constituyen el enlace de flujo más relevante de un nodo de origen, y no pueden tener dirección hacia un nodo con menor capacidad de atracción de viajes de destino" (Morales Díaz Covarrubias et al., 2020, nota al pie 6, p. 18).

© SI-FADU-UBA | DOSSIER

Aunque el método de Nystuen y Dacey (1961) sigue vigente en estudios sobre infraestructuras de comunicaciones y transporte (Rico Galeana, 2004) y es ampliamente utilizado por su simplicidad algorítmica (Beauguitte, 2014), se basa en un método analítico de optimización conocido como programación lineal. Si bien es útil para analizar relaciones complicadas, este método no es compatible con sistemas complejos que no siguen procesos lineales (Preiser et al., 2018)[2], como se tiene en los socioecosistemas. En particular, resulta fundamental considerar también los flujos medios y bajos para identificar actores que pueden desarrollarse al margen de las dinámicas predominantes y aquellos que quedan fuera de la estructura analizada.

No obstante, como señala Laurent Beauguitte (2014), para ampliar el estudio de los flujos es necesario tomar decisiones que permitan sintetizar la información sustantiva evitando pormenorizaciones irrelevantes. Además, existen relaciones que no pueden analizarse de manera dirigida con la información disponible para este trabajo, como es el caso de la presencia de contaminantes en agua subterránea; por ello, un algoritmo enfocado en el flujo excluiría la dimensión ambiental, que es esencial para el presente análisis.

Con la intención de construir una herramienta útil para la planeación territorial que permita realizar análisis a distintas escalas, se considera al municipio como unidad de observación –mínima instancia de información disponible– a partir de la cual se pueden analizar conglomerados urbanos, metropolitanos, estatales y subregionales, como los conectados por el Tren Maya o que comparten un mismo acuífero.

Con base en el Marco Geoestadístico Nacional (MGN) del año 2019, empleado en el levantamiento censal más reciente y en el cual la región cuenta con 268 municipios, se diseñaron las redes mediante: (1) matrices origen-destino con las variables económica y social; y, (2) el registro máximo a nivel municipal, observado o predicho[3], de la variable ambiental. La Tabla 4 especifica el tipo de interacción considerada en cada red, es decir, el criterio utilizado para la selección de aristas y los filtros aplicados que justifican la pertinencia del análisis.

Tabla 4. Caracterización de las redes simples (capas de la red en tres dimensiones)

DIMENSIÓN SES	VARIABLE DE ESTUDIO	INTERACCIÓN	TIPO DE RED	NÚMERO	
				Aristas	Nodos
Económica	viajes laborales cotidianos	Saldo mayor a 100 (equivalente al 83% del total de posibilidades)	Dirigida con peso	362	204
Social	Inmigrantes	Saldo mayor a 500 (equivalente al 41% del total de posibilidades)	Dirigida con peso	64	41
Ambiental	Nitrógeno de nitratos en aguas subterráneas	Vecinos del mismo acuífero, distinta categoría: excelente, buena calidad, no apta	Tripartita	168	134

Fuente: elaboración propia con información del Censo de Población y Vivienda (INEGI, 2021) y de CONAGUA (s.f.c).

2 Mientras que los *problemas complicados* tienen soluciones únicas aproximadas mediante métodos lineales, los *problemas complejos* pueden tener soluciones múltiples a partir del análisis de sus múltiples interacciones.

3 La predicción por el método de kriging ordinario, consideró: anisotropía direccional a 45°, tolerancia angular de 22,5°, alcance de 180 km, meseta de 0,83 y pepita de 0,27.

© SI-FADU-UBA | DOSSIER

Dado que cada capa de la red representa relaciones entre municipios, resulta relevante establecer un criterio de corte, ya que algunas relaciones son de baja intensidad, como un saldo neto migratorio igual a uno, que resulta insustancial para el análisis deseado. El porcentaje de relaciones para la red social corresponde a la mitad del de la red económica, debido a que los viajes cotidianos se registran sólo en 2020, mientras que la migración abarca 2015-2020. Para asegurar la comparabilidad, se adoptó un corte proporcional cercano al 90% del total del flujo en la red económica. Se tomó como referencia esta variable, dado que las comparaciones se realizan con Morales Díaz Covarrubias y colegas (2020), cuyo estudio se basó en ella.

Es importante señalar que las relaciones reportadas por las capas económica y social de la red corresponden a saldos en el intercambio municipal, lo cual se asocia con los beneficios y las cargas sobre el espacio construido.

Por otra parte, la información del Sistema Nacional de Información del Agua (CONAGUA, s.f.c) sobre la calidad del agua subterránea promedio anual entre 2012 y 2022 es geográficamente incompleta –cubre 14 de 27 acuíferos y 218 de 232 pozos registrados– y desigual por RHA con mayor representación en la Península de Yucatán que en la Frontera Sur (171 y 47 observaciones), debido a que la autoridad decide los puntos de muestreo con base en su estimación del riesgo potencial. No obstante, este estudio requiere una calificación a nivel municipal; por ello se aplicó un kriging ordinario para estimar la distribución del contaminante en toda la región.

Dadas estas observaciones y considerando que el kriging puede suavizar los datos puntuales, se decidió construir una variable que sintetice la máxima calificación, observada o predicha, para cada municipio. Asimismo, ante la inviabilidad de una red ambiental dirigida, se optó por una red tripartita que refleja la vecindad de municipios dentro del mismo acuífero con distintos niveles de concentración de nitratos.

Finalmente, las distintas capas de la red se vinculan entre sí a través de los municipios cuyas relaciones se solapan en más de una dimensión.

La decisión de observar estas relaciones, considerando los cortes en cada una de las tres capas de la red, dialoga con los principios de espacialidad, integralidad e inclusión para el desarrollo territorial sustentable con sentido de justicia socioespacial (Madanipour, Shucksmith y Brooks, 2022). Este criterio permite identificar a los actores con carga económica y social significativa, así como a las vecindades que presentan cambios en la calidad del agua subterránea, considerando tanto las fronteras político-administrativas como los límites naturales de los acuíferos. Además, los solapamientos contribuyen a reforzar la estructura topológica de la red, con lo cual se facilita el estudio de ciclos en más de una dimensión.

Principales resultados

En esta sección se presentan los principales resultados de una inspección general de la red en tres capas, con la finalidad de describir las relaciones intermunicipales en el sureste mexicano antes de la puesta en marcha del Tren Maya. Para facilitar la visualización, únicamente se muestra completa la red ambiental, mientras que en los demás casos se emplean mapas o subredes para representar interacciones específicas. Las visualizaciones reflejan medidas derivadas del ARS, principalmente de asociación (comunidades), centralidad y frecuencia de interacción (Bianconi, 2018).

© SI-FADU-UBA | DOSSIER

Red ambiental

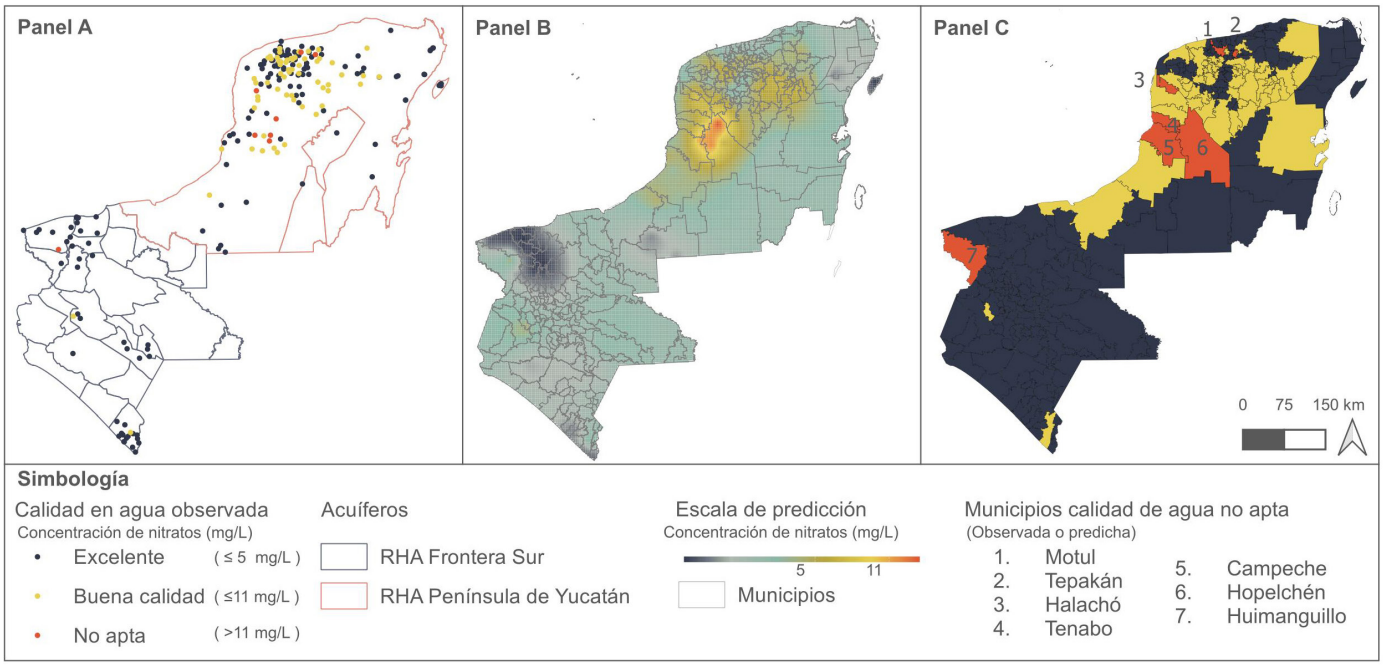
La Figura 5 muestra el tratamiento de la variable ambiental y en la Figura 6 la red correspondiente. En esta última destaca Hopelchén (agroindustrial), que comparte vecindad municipal con Tenabo, Campeche y Halachó. De los tres municipios yucatecos con calidad de agua no apta para consumo humano por presencia de nitratos, Halachó (avícola) es el ambientalmente más frágil, por su cercanía con Hopelchén y a municipios con calidad media; le siguen Tepakán y Motul (porcícola), este último con más vecinos de buena calidad. Resulta relevante el seguimiento a municipios urbanos, como Campeche y Mérida, particularmente si están en expansión, como es el caso del segundo.

Entre los municipios con estación del Tren Maya, además de identificar aquellos con vecinos de baja calidad –como Izamal, Bacalar y Calakmul– resulta pertinente destacar los que no aparecen en esta representación. Esta ausencia se explica por la estabilidad de los datos en su entorno, como ocurre en el caso de Benito Juárez.

Figura 5

Dimensión medioambiental: calidad municipal a partir de observaciones en pozos.

Fuente: elaboración propia con información de CONAGUA (s.f.c) y el MGN (INEGI, 2019), interpolada con el paquete *gstat* (Pebesma y Graeler, 2025) de *R* (R Core Team) y visualizada en *QGis*, con los mapas proyectados en México ITRF2008/ Lambert Conformal Conic (LCC).



Nota: en el mapa del Panel A se identifican los pozos con registros promedio anual entre 2012 y 2022 de nitrógeno de nitratos, en los distintos acuíferos. En el del Panel B, la predicción por kriging. En el del Panel C, la imputación municipal del valor máximo –observado o predicho– y enlista los municipios con nivel no apto como fuente de abastecimiento de agua potable.

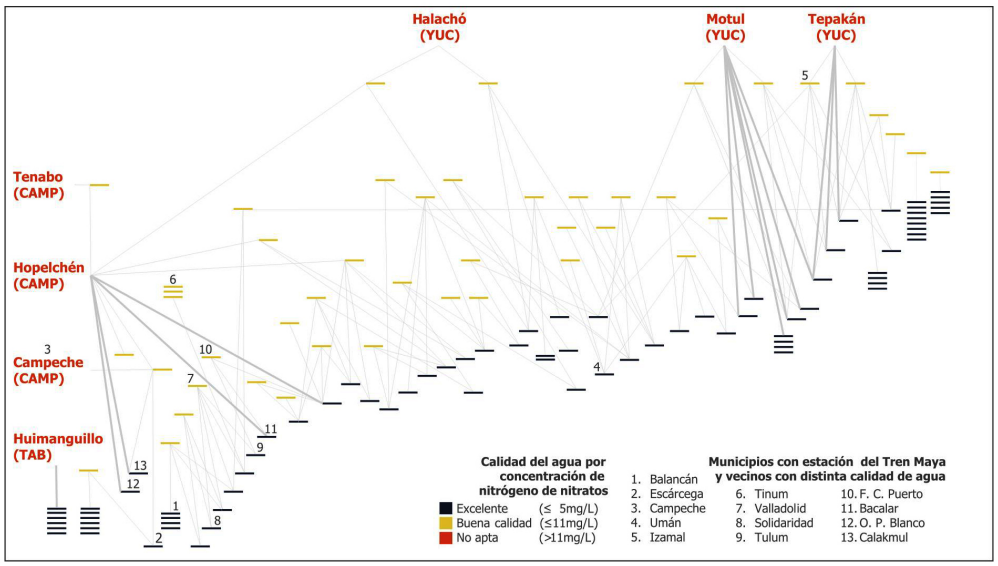


Figura 6

Red ambiental tripartita.

Nota: se apilan las líneas y se traza una única relación cuando el bloque sólo tiene un vecino en común con distinta calidad de agua. El grosor de las líneas resalta la contigüidad de municipios con calidad del agua opuesta en la escala de toxicidad por nitrógeno de nitratos.

Fuente: elaboración propia con información de CONAGUA (s.f.c) y el MGN (INEGI, 2019).

© SI-FADU-UBA | DOSSIER

Comunidades, centralidad y ciclos en la red económica

La Figura 7 contiene tres mapas que ilustran cómo el ARS amplía la visión sistémica de la evaluación *ex ante* del Tren Maya (Morales Díaz Covarrubias et al., 2020).

El mapa de comunidades municipales evidencia la preponderancia de ciertos territorios sobre otros, más allá de las fronteras político-administrativas, como Quintana Roo sobre Yucatán y Tabasco sobre Campeche; el primero podría explicarse por la actividad turística y el segundo por la petrolera. Además, se observan algunas relaciones territoriales discontinuas: para el caso del Tren Maya (Figura 3), se destaca la asociación de Palenque con la comunidad de Benito Juárez, relación que podría fortalecerse con la nueva infraestructura vial.

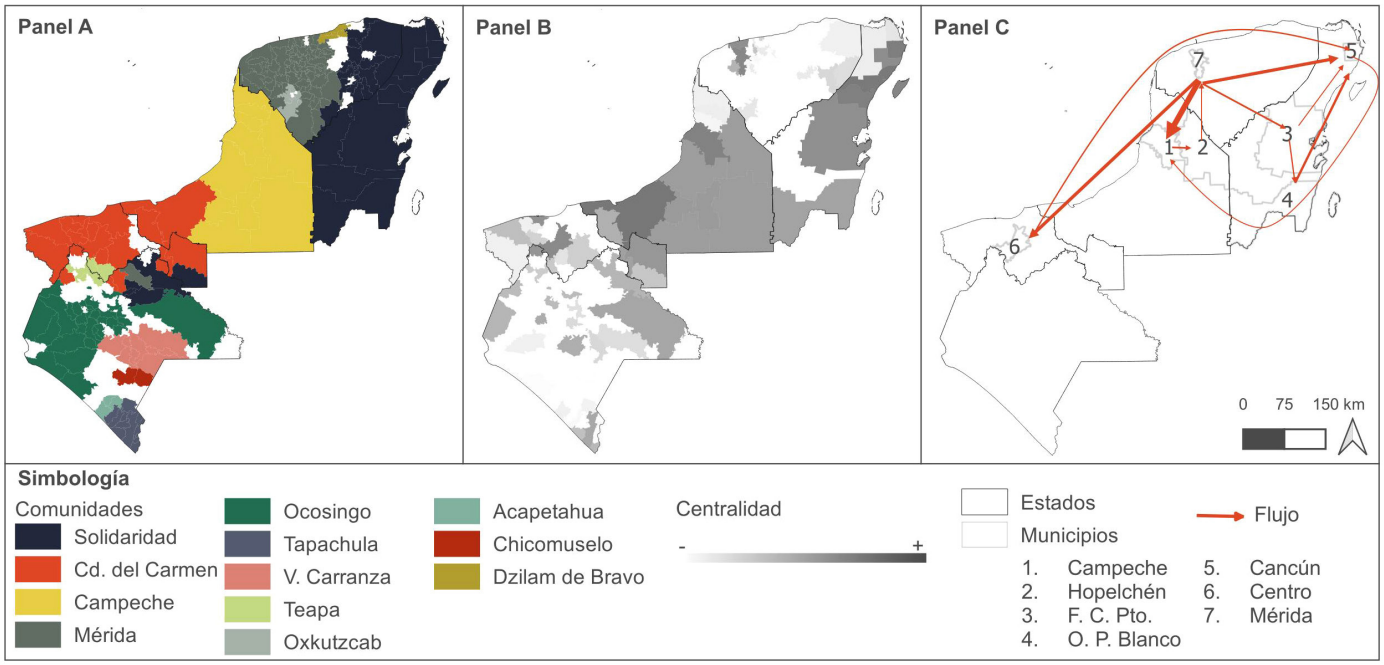
Por otro lado, al eliminar la restricción de flujo hacia el nodo de mayor captación, se posibilita: (1) integrar la comunidad de Benito Juárez y Solidaridad, evidenciando su estructura dominante –de las seis principales centralidades[4], la mitad pertenecen a esta comunidad– a diferencia de la comunidad centrada en Mérida, que carece de aliados relevantes fuera de Progreso; (2) explorar comunidades mediante distintas métricas de centralidad, más allá del flujo; y (3) identificar zonas que no participan en el análisis, posiblemente porque sus interacciones son pequeñas y aún inexistente; en cualquier caso, a diferencia del análisis de flujo máximo, esta modelación permite reconocerlas y profundizar en sus particularidades.

El análisis de los municipios que forman ciclos –conectados secuencialmente entre sí y que cierran en el mismo punto, (mapa derecho de la Figura 7)– permite estudiar la complementariedad, competencia y especialización económica, particularmente si se profundiza en la clasificación de los viajes cotidianos por motivos laborales. Destaca la primacía territorial de Benito Juárez como principal atractor en los ciclos regionales, evidenciando su notable potencial

Figura 7

Red económica: comunidades, centralidades por *eigenvector* y ciclos entre municipios.

Fuente: elaboración propia con base en la variable de viajes cotidianos por motivos laborales del Censo de Población y Vivienda (INEGI, 2021), considerando el MGN (INEGI, 2019); para el análisis de comunidades y centralidades se utilizó *Gephi* y para identificar los ciclos en la red el paquete *multinet* de *R*; la visualización se realizó en *QGis*, con los mapas proyectados en México ITRF2008/Lambert Conformal Conic (LCC).



Nota: los paneles muestran, en orden ascendente, las comunidades, centralidades y ciclos económicos.

4 En el mapa se utiliza la centralidad por *eigenvector*, relativa al número de conexiones con otros municipios influyentes.

© SI-FADU-UBA | DOSSIER

de interacción. Además de este municipio, en los ciclos participan las capitales de todas las entidades federativas, excepto Chiapas, así como Hopelchén y Felipe Carrillo Puerto, cuyas interacciones podrían configurar nuevas centralidades en la región y posibles corredores industriales.

Interacciones entre redes

El Panel B de la Figura 8 muestra algunas dinámicas a escala metropolitana. Por ejemplo, en la ciudad de Tuxtla sugiere una posible expansión hacia el oriente, específicamente hacia Berriozábal, mientras que en la ciudad de Mérida apunta a un potencial proceso de gentrificación en la zona metropolitana.

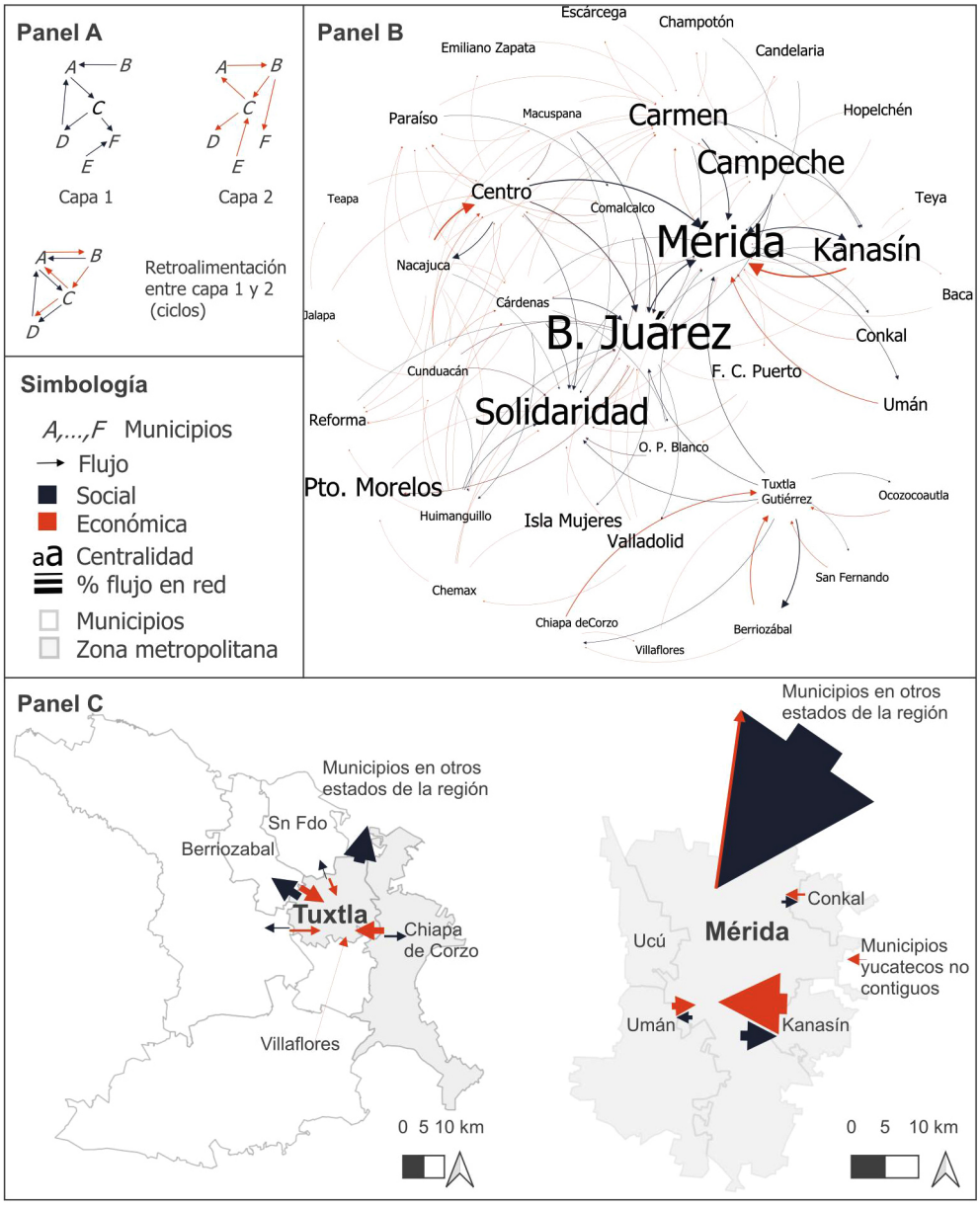


Figura 8
Retroalimentación entre la red económica y social.
Fuente: elaboración propia con información del Censo de Población y Vivienda (INEGI, 2021) y el MGN (INEGI, 2019), analizada con el paquete *multinet* de *R*, visualizada tanto en *Gephi* con los nombres de los municipios de acuerdo con la centralidad por *eigenvector*, como en *QGis*, con los mapas proyectados en México ITRF2008/Lambert Conformal Conic (LCC)

Nota: se entiende por *retroalimentación entre redes* a los ciclos entre municipios considerando ambas redes de manera conjunta. Para fines de comparabilidad, se analizó el flujo relativo al interior de cada red por separado. El panel A presenta un esquema general para construir una red de retroalimentación entre dos capas. El panel B contiene la red para el caso de estudio sin referentes geoespaciales. El panel C muestra los mapas de dos ejemplos metropolitanos específicos: Tuxtla Gutiérrez a la izquierda y Mérida a la derecha.

El análisis de los ciclos de interacción permite identificar fortalezas en la estructura de la red. La Figura 9 (pág. siguiente) muestra que, en general, los flujos

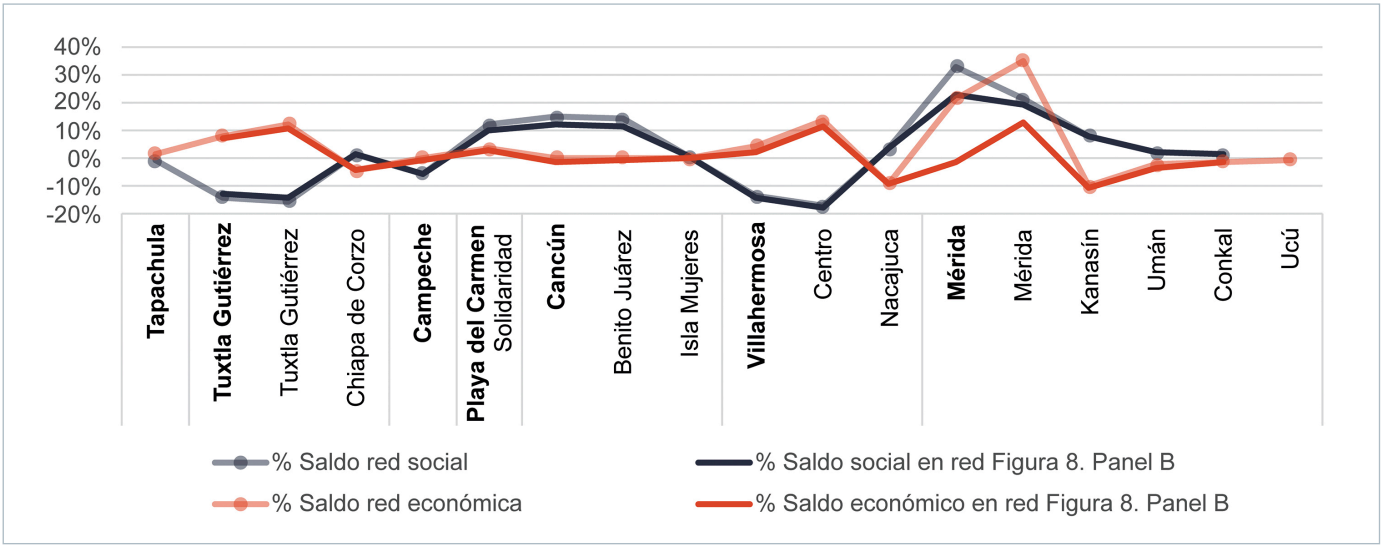
© SI-FADU-UBA | DOSSIER

evidencian la dinámica de cada ciudad. Destacan dos excepciones: Tapachula, que no participa de los ciclos y presenta una actividad aislada; y, Mérida, que exhibe las mayores brechas entre redes independientes y cíclicas, lo que podría ser interpretado como un desarrollo particularmente dinámico.

Los municipios con porcentajes de saldos cercanos a cero muestran una expresión más acotada del desarrollo. Esto puede explicarse ya sea por un proceso de consolidación –como en el caso de Isla Mujeres– o por una etapa incipiente de desarrollo –como ocurre con Ucú– que prácticamente queda fuera de esta representación.

Fuera del área directamente intervenida por el Tren Maya, Villahermosa y Tuxtla Gutiérrez son predominantemente expulsoras de población –como lo es Campeche– pero también son centros de empleo dentro de su entidad y –de manera similar a Mérida– presentan un equilibrio metropolitano entre el municipio central y los municipios conurbados en ambos flujos. Mérida, Playa del Carmen y Cancún están en expansión; las dos primeras mantienen saldo positivo de empleo, pero la última –intensiva en la red de ciclos– prácticamente salda la movilidad de viajes laborales, reduciendo la carga de la gestión municipal sobre la población flotante, salvo en lo relativo a infraestructura de movilidad.

Figura 9
Comparación entre estructuras de red: saldos en ciclos y saldos en redes completas.
Fuente: elaboración propia con información del Censo de Población y Vivienda (INEGI, 2021) y el MGN (INEGI, 2019), con base en la Figura 8.



Nota: se resalta en negritas el dato de las ciudades.

En cuanto a los solapamientos entre redes –interacciones en la misma dirección entre dos municipios– tanto en la dimensión social como en la económica, destacan los municipios urbanos de la Tabla 1. En general, el porcentaje de la red social supera al de la red económica: Benito Juárez concentra mayor atracción social desde municipios chiapanecos y tabasqueños; Solidaridad desde municipios chiapanecos, además del quintanarroense Othón P. Blanco; y Centro desde Macuspana, Tabasco. Sólo Benito Juárez presenta la relación opuesta con Puerto Morelos, su vecino en el mismo estado.

La coincidencia en la misma dirección sugiere que la predominancia económica incide en la dimensión social, favoreciendo la relocalización poblacional por motivos laborales. Por su parte, sólo Mérida articula la dimensión ambiental con la social mediante un par de sus municipios conurbados. En tanto, el solapamiento entre la dimensión ambiental y económica se observa en casos puntuales, entre los que destaca la única relación interestatal entre Quintana Roo y Yucatán.

© SI-FADU-UBA | DOSSIER

Finalmente, llama la atención que la mayoría de los municipios con estación del Tren Maya (Figura 3) participan en los ciclos de retroalimentación entre las redes económica y social (Figura 8). La comunidad con mayor centralidad económica (Figura 7) concentra la mayor cantidad de estaciones, y Benito Juárez, miembro de esta comunidad, destaca como atractor en los ciclos económicos. Considerando esta evidencia y que la ENOT 2020-2040 plantea para el SUR Sureste III, en la RHA Península de Yucatán, un incremento en la eficiencia productiva agrícola (SEDATU, 2021, p. 293), de no considerarse la calidad del agua en municipios con alta actividad agroindustrial, como Hopelchén con el cultivo de soya, el desarrollo proyectado podría no ser realmente sustentable (López y Graizbord, 2025).

Conclusiones

Los resultados de este trabajo muestran un avance concreto en uno de los principales retos metodológicos actuales: acompañar las narrativas orientadas a un desarrollo más justo mediante técnicas capaces de visibilizar problemáticas que suelen quedar fuera del alcance de los métodos analíticos tradicionales.

El análisis de redes sociales a nivel municipal evidenció su potencial para observar, de manera granular y escalable, relaciones complejas en múltiples dimensiones. A partir de medidas de asociación, centralidad y frecuencia de interacción, la topología de la red permite estudiar ciclos y solapamientos que revelan estructuras de poder territorial que favorecen o inhiben el desarrollo. En este marco, se identifican fenómenos como la expansión urbana, la gentrificación, el papel de las ciudades intermedias, la competencia económica y la presión sobre bienes comunes, como el acuífero.

En conjunto, estos resultados sugieren que la construcción de una red en tres capas constituye una herramienta novedosa que puede facilitar el diálogo entre diversos actores. Si bien aquí se presentan sólo algunas de sus potencialidades, la propuesta contribuye a la construcción de lo que Bojórquez-Tapia y colegas (2021) denominan un *objeto frontera*, capaz de articular saberes diversos, no necesariamente disciplinares, para la toma de decisiones en contextos de incertidumbre profunda ante megaproyectos de infraestructura.

Entre los principales retos del estudio se destacan el tratamiento de la variable ambiental y la visualización de los resultados. Una línea pendiente es abordar el socioecosistema como un sistema abierto, considerando sus interacciones con otras regiones dentro y fuera del país (García, 2006; Preiser et al., 2018).

Esta propuesta analítica puede contribuir a la ENOT 2020-2040 en la evaluación de proyectos de desarrollo. Actualmente, la metodología se aplica en la construcción de una medida de desigualdad intrarregional, como parte de un trabajo en curso que busca generar escenarios prospectivos para la evaluación del Tren Maya, incorporando un enfoque de justicia socioespacial.

La metodología es replicable en otras regiones, siempre que se identifiquen las variables relevantes de cada dimensión. Como línea de trabajo futura, su potencial radica en el desarrollo de índices que integren múltiples variables para caracterizar a cada dimensión, así como en profundizar un análisis relacional que trascienda los vínculos uno a uno e incorpore

© SI-FADU-UBA | DOSSIER

interacciones grupales entre municipios, lo que permitiría avanzar en el estudio de centralidades, presente en el sistema urbano-rural planteado en la ENOT 2020-2040.

En síntesis, estos hallazgos y la metodología desarrollada ofrecen un marco analítico robusto que puede contribuir en la evaluación y seguimiento de las políticas de desarrollo territorial sostenible, especialmente en el sureste mexicano ■

Agradecimiento

La primera autora agradece al Posgrado en Ciencias de la Sostenibilidad, Universidad Nacional Autónoma de México.

REFERENCIAS

Bauer-Gottwein, Peter; Gondwe, Bibi R. N.; Charvet, Guillaume; Marín, Luis E.; Rebolledo-Vieyra, Mario y Merediz Alonso, Gonzalo (2011). Review: The Yucatán Peninsula karst aquifer, Mexico. *Hydrogeology Journal*, *19*, 507–524. https://doi.org/10.1007/s10040-010-0699-5

Barnes, Trevor J. (2009). "Not Only ... But Also": Quantitative and Critical Geography. *The Professional Geographer*, *61*(3), 292-300. https://doi.org/10.1080/00330120902931937

Becerra, Gastón y Castorina, José Antonio (2016). Una mirada social y política de la ciencia en la epistemología constructivista de Rolando García. *Ciencia, Docencia y Tecnología, 27*(52), 459-480.

Beauguitte, Laurent (2014, 8 de diciembre). (re)lire les classiques : A graph theory interpretation of nodal regions de Nystuen et Dacey, 1961. *groupe fmr (flux, matrices, réseaux)*. https://groupefmr.hypotheses.org/3517

Bianconi, Ginestra (2018). *Multilayer Networks: Structure and function*. OUP Oxford.

Binder, Claudia R.; Hinkel, Jochen; Bots, Pieter W. G. y Pahl-Wostl, Claudia (2013). Comparison of frameworks for analyzing social-ecological systems. *Ecology and Society*, *18*(4), 1-19. https://www.jstor.org/stable/26269404

Bojórquez-Tapia, Luis Antonio; Eakin, Hallie; Hernández-Aguilar, Bertha y Shelton, Rebecca (2021). Addressing complex, political and intransient sustainability challenges of transdisciplinarity: The case of MEGADAPT Project in Mexico City. *Environmental Development, 38*, 1-14.

CartoCrítica (2016, 26 de enero). Concesiones de agua para las mineras. *CartoCrítica* – Investigación, mapas y datos para la sociedad civil. https://cartocritica.org.mx/2016/concesiones-de-agua-para-las-mineras/

Castro Ibarra, José María (2017). *A borde de carretera cachimbas, infraestructura de caminos y trabajo reproductivo-afectivo* [Tesis de maestría]. Universidad Autónoma de México.

Comisión Económica para América Latina y el Caribe-CEPAL (2019). *Planificación para el desarrollo territorial sostenible en América Latina y el Caribe* (LC/CRP.17/3). CEPAL.

Comisión Nacional del Agua-CONAGUA (s.f.a). *Registro Público de Derechos del Agua (REPDA)*. Gobierno de México. https://app.conagua.gob.mx/consultarepda.aspx

Comisión Nacional del Agua-CONAGUA (s.f.b). *Resultados de la Red Nacional de Medición de Calidad del Agua (RENAMECA)*. Gobierno de México. https://www.gob.mx/conagua/es/articulos/resultados-de-la-red-nacional-de-medicion-de-calidad-del-agua-renameca?idiom=es

© SI-FADU-UBA | DOSSIER

Comisión Nacional del Agua-CONAGUA (s.f.c). *Sistema Nacional de Información del Agua (SINA)*. Gobierno de México. https://sinav30.conagua.gob.mx:8080/SINA/?opcion=calidad

Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad-CONABIO (2023). *La biodiversidad en Yucatán: Estudio de Estado*. Gobierno de México.

Consejo de Cuenca de la Península [@enriquearaizarodriguez8637] (2025, 19 de junio). *Conversatorio Megaproyectos en la península de Yucatán: su impacto en la deforestación y calidad de agua*. [Video]. YouTube. https://www.youtube.com/watch?v=IHAhEBuCXcE

Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social-CONEVAL (s.f.). *Base de datos de cohesión social municipios* [Archivo en Excel]. Gobierno de México.

García, Rolando (2006). *Sistemas complejos: Conceptos, método y fundamentación epistemológica de la investigación interdisciplinaria*. Gedisa.

De la Torre, Augusto; Fajnzylber, Pablo y Nash, John (2009). *Desarrollo con menos carbono: Respuestas latinoamericanas al desafío del cambio climático*. Banco Mundial.

El Colegio de México A.C. [@VideosColmex] (2021, 19 de agosto). *Seminario Permanente sobre dimensiones sociodemográficas, territoriales y ambientales del sureste de México* [Video]. YouTube. https://www.youtube.com/watch?v=0uFL6nEQmwc

Giddings, Bob; Hopwood, Bill y O'Brien, Geoff (2002). Environment, economy and society: Fitting them together into sustainable development. *Sustainable Development*, *10*(4), 187-196. https://doi.org/10.1002/sd.199

Goinheix, Sebastián (2023). El análisis de redes sociales aplicado a los estudios socio territoriales. *QUID 16*, (19).

Henríquez, Cristián y Azócar García, Gerardo (2007). Propuesta de modelos predictivos en la planificación territorial y evaluación de impacto ambiental. *Scripta Nova: Revista electrónica de geografía y ciencias sociales*, *11*(245).

Hiernaux, Daniel y Lindón, Alicia (1997, abril). ¿En qué sentido las desigualdades regionales? *EURE, XXII*(68), 29-43.

Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática-INEGI (2019). *Marco Geoestadístico Nacional*. Gobierno de México.

Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática-INEGI (2021). *Censo de Población y Vivienda 2020*. Gobierno de México.

Lascoumes, Pierre y Le Galès, Patrick (2007). Understanding public policy through its instruments. *Governance, 20*(1), 1-21.

Lavorel, Sandra; Colloff, Matthew J.; Locatelli, Bruno; Gorddard, Russell; Prober, Suzanne M.; Gabillet, Marine; Devaux, Caroline; Laforgue, Denis y Peyrache-Gadeau, Véronique (2019, febrero). Mustering the power of ecosystems for adaptation to climate change. *Environmental Science & Policy*, *92*, 87-97.

Lefebvre, Henri (1976). *Espacio y política. El derecho a la ciudad, II*. Edicions 62.

Levin, Simon (1998). Ecosystems and the Biosphere as Complex Adaptive Systems. *Ecosystems, 1*, 431-436.

Levin, Simon; Xepapadeas, Tasos; Crépin, Anne-Sophie; Norberg, Jon; de Zeeuw, Aart; Folke, Carl; Hughes, Terry; Arrow, Kenneth; Barrett, Scott; Daily, Gretchen; Ehrlich, Paul; Kautsky, Nils; Mäler, Karl-Göran; Polasky, Steve; Troell, Max; Vincent, Jeffrey R. y Walker, Brian (2012). Social-ecological systems as complex adaptive systems: Modeling and policy implications. *Environment and Development Economics, 18*(2), 111-132.

Ley General de Asentamientos Humanos, Ordenamiento Territorial y Desarrollo Urbano-LGAHOTDU (2024, 1 de abril). *Diario Oficial de la Federación*. Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión. https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LGAHOTDU.pdf

Liu, Fang; Dai, Erfu y Yin, Jun (2023). A review of social-ecological system research and geographical applications. *Sustainability, 15*(8), 6930. https://doi.org/10.3390/su15086930

López, Omar y Graizbord, Boris (2025). ¿Por qué el rezago de México en los ODS de la Agenda 2030? *Escala Legal, 5*(31), 6-8.

© SI-FADU-UBA | DOSSIER

Madanipour, Ali; Shucksmith, Mark y Brooks, Elizabeth (2022). The concept of spatial justice and the European Union's territorial cohesion. *European Planning Studies*, *30*(5), 807-824. https://doi.org/10.1080/09654313.2021.1928040

Maass, Manuel (2018). Los sistemas socio-ecológicos desde el enfoque socioecosistémico (SES) [pp. 19-67]. En Véronique Sophie Ávila Foucat y María Perevochtchikova (coords.). *Sistemas socio-ecológicos: marcos analíticos y estudios de caso en Oaxaca, México.* UNAM/Instituto de Investigaciones Económicas.

Massiris Cabeza, Ángel (2015). *Gestión territorial y desarrollo: Hacia una política de desarrollo sostenible en América Latina*. Editorial UPTC.

Morales Díaz Covarrubias, René Rodrigo; Ramírez Reyes Brito, Lorelei; Nava García, Emelina y Ramírez Muñoz, Jaime (2020). *Sistema de evaluación exante de los impactos generados por la estrategia de desarrollo integral de la región sureste.* ONU-Habitat.

Nystuen, John D. y Dacey, Michael F. (1961). A graph theory interpretation of nodal regions. *Papers in Regional Science, 7*(1), 29-42.

O'Sullivan, David; Bergmann, Luke y Thatcher, Jim E. (2018). Spatiality, Maps, and Mathematics in Critical Human Geography: Toward a Repetition with Difference. *The Professional Geographer*, *70*(1), 129-139. https://doi.org/10.1080/00330124.2017.1326081

Pacheco Ávila, Julia y Cabrera Sansores, Armando (2003, mayo-agosto). Fuentes principales de nitrógeno de nitratos en aguas subterráneas. *Ingeniería*, *7*(2), 47-54.

Pebesma, Edzer y Graeler, Benedikt (2025). gstat: Spatial and spatio-temporal geostatistical modelling, prediction and simulation (Versión 2.1-3) [Paquete de R]. CRAN.

Preiser, Rika; Biggs, Reinette; De Vos, Alta y Folke, Carl (2018, diciembre). Social-ecological systems as complex adaptive systems: Organizing principles for advancing research methods and approaches. *Ecology and Society, 23*(4), 1-15.

Rico Galeana, Óscar Armando (2004). *Análisis espacial del Transporte aéreo de carga en México* [Publicación técnica Nro. 264]. Instituto Mexicano del Transporte.

Scott, John (2000). *Social network analysis: A handbook*. SAGE Publications.

Secretaría de Desarrollo Agrario, Territorial y Urbano-SEDATU (2021). *Estrategia Nacional de Ordenamiento Territorial: versión extensa*, Gobierno de México.

Secretaría de Desarrollo Agrario, Territorial y Urbano y Consejo Nacional de Población-SEDATU y CONAPO (2024). *Sistema Urbano Nacional 2020*. Gobierno de México.

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales-SEMARNAT (2016). *Sistema Nacional de Información Ambiental y de Recursos Naturales: Informe del Medio Ambiente*. Gobierno de México.

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales-SEMARNAT (s.f.). *Servicio de generación KML: Tren Maya (MapServer).* Gobierno de México. https://geomatica.semarnat.gob.mx/arcgis/rest/services/APLICACIONES/TrenMaya/MapServer/generateKml

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales y Comisión Nacional del Agua-SEMARNAT y CONAGUA (2022). *Programa Hídrico Regional 2021-2024: Región Hidrológico-Administrativa XII Península de Yucatán*. Gobierno de México.

Trejo Nieto, Alejandra (2024). Place-based strategies for sustainable and inclusive regional development in the south of Mexico. *Review of Regional Research*, *44*, 1-25.

Turismo Tren Maya (s.f.). *Estaciones y Paraderos del Tren Maya*. https://www.turismotrenmaya.mx/estaciones-paraderos/